



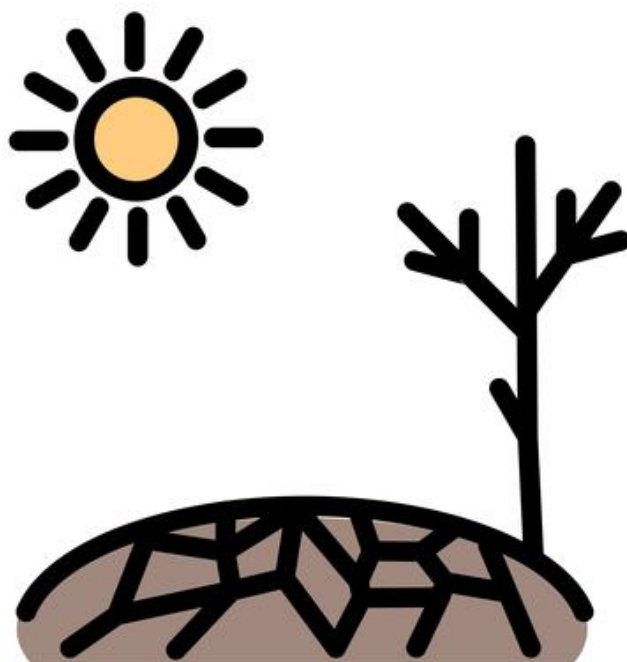
Servei Meteorològic
de Catalunya



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

ESCENARIS CLIMÀTICS REGIONALITZATS A CATALUNYA (ESCAT-2020)

Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km
de resolució espacial (1971-2050)



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

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

Barcelona, creat el 17 de juliol de 2020. Última revisió 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)*. Informe tècnic. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 169 pp.

1	Introducció	5
1.1	Objectiu genèric	6
1.2	Objectius específics	6
1.3	Antecedents	7
2	L'àrea d'estudi	9
2.1	Zonificació	9
2.2	Orografia	11
2.3	Sèries climàtiques	13
3	Bases de dades	17
3.1	Variables predictores: simulacions dels MCCG	18
3.2	Variables predictands: històric d'observacions de l'SMC	20
4	Metodologia	29
4.1	Selecció dels camps predictors	31
4.2	Establiment de l'analogia meteorològica	32
4.3	Limitacions i correccions	34
5	Resultats	37
5.1	Període de control (1971-2000)	38
5.1.1	Temperatura Mitjana (TM)	45
5.1.2	Temperatura Mínima (TN)	50
5.1.3	Temperatura Màxima (TX)	55
5.1.4	Precipitació acumulada (PPT)	60
5.1.5	Dies de Calor (DC)	65
5.1.6	Dies Tòrrids (DT)	66
5.1.7	Dies de Glaçada (DG)	67
5.1.8	Dies de Fredor (DFR)	68

5.1.9	Dies Lliures de Glaçada (DLG)	69
5.1.10	Nits Tropicals (TR)	70
5.1.11	Nits Tòrrides (TO)	71
5.1.12	Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)	72
5.1.13	Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)	73
5.1.14	Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)	74
5.1.15	Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)	75
5.2	Evolucions temporals projectades (1971-2050)	76
5.2.1	Temperatura Mitjana (TM)	80
5.2.2	Temperatura Mínima (TN)	85
5.2.3	Temperatura màxima (TX)	90
5.2.4	Precipitació acumulada (PPT)	95
5.2.5	Dies de Calor (DC)	100
5.2.6	Dies Tòrrids (DT)	101
5.2.7	Dies de Glaçada (DG)	102
5.2.8	Dies de Fredor (DFR)	103
5.2.9	Dies Lliures de Glaçada (DLG)	104
5.2.10	Nits Tropicals (TR)	105
5.2.11	Nits Tòrrides (TO)	106
5.2.12	Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)	107
5.2.13	Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)	108
5.2.14	Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)	109
5.2.15	Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)	110
5.3	Variacions projectades (2021-2050)	111
5.3.1	Temperatura mitjana (TM)	116
5.3.2	Temperatura mínima (TN)	121
5.3.3	Temperatura màxima (TX)	126
5.3.4	Precipitació acumulada (PPT)	131
5.3.5	Dies de Calor (DC)	136
5.3.6	Dies Tòrrids (DT)	137
5.3.7	Dies de Glaçada (DG)	138
5.3.8	Dies de Fredor (DFR)	139
5.3.9	Dies Lliures de Glaçada (DLG)	140
5.3.10	Nits Tropicals (TR)	141
5.3.11	Nits Tòrrides (TO)	142
5.3.12	Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)	143
5.3.13	Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)	144
5.3.14	Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)	145
5.3.15	Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)	146
6	Discussió i conclusions	147
	Bibliografia	159
	Acrònims i abreviatures	167

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 temps¹, 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.

D'altra banda, les fonts d'incertesa presents en el procés d'elaboració de projeccions climàtiques regionalitzades són moltes. Les principals causes d'aquesta incertesa són les simulacions dels MCCG, el grau de forçament antropogènic aplicat i l'habilitat climàtica de la regionalització. Aleshores, com s'ha indicat, per a una correcta descripció de les característiques del clima a una resolució elevada en zones complexes cal aconseguir una bona captura tant dels forçaments sinòptics com sobretot dels mesoescalars que afecten a una variable meteorològica d'interès, i és clar, a mesura que es tenen en compte més forçaments, la incertesa també s'incrementa.

Com a resultat d'aquesta incertesa, en el procés d'elaboració de projeccions climàtiques futures és recomanable partir d'un ventall de simulacions del clima futur provinents de diferents models i amb diferent grau de forçament antròpic sobre les quals aplicar tècniques estadístiques o dinàmiques de regionalització. Ambdues tècniques són complementàries si es té en compte el conjunt d'avantatges i desavantatges que presenten. A grans trets, els mètodes de regionalització dinàmica tenen un grau molt elevat d'exhaustivitat en modelitzar la física dels processos involucrats, però són molt costoses computacionalment i estan afectats per biaixos apreciables.

¹Bona 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.

En canvi, els mètodes estadístics són computacionalment poc exigents i les seves sortides tendeixen a minimitzar els biaixos amb un bon grau de versemblança si es disposa d'una base de dades àmplia, tot i que són molt menys exhaustius i poden estar afectats per les no-linealitats del sistema climàtic. Per a més informació s'emplaça a la consulta del treball presentat per *Fowler et al.* (2007). A major diversificació més garanties al repte de la projecció a elevada resolució.

A requeriment de l'Oficina Catalana del Canvi Climàtic (OCCC), el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) va rebre l'encàrrec d'elaborar el present informe i 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).

1.1 Objectiu genèric

L'objectiu de l'informe 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 1971-2050²

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:

²Tot 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.

- 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).
- 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).

Es donarà per a cada variable el percentil 50 de cadascuna de les tres simulacions desenvolupades per als camps espacials de totes les variables considerades amitjanats en tres períodes temporals: període control o de referència (1971-2000) i dos períodes futurs, el proper decenni (2021-2030) i el proper trentenni (2021-2050). També es donaran les evolucions temporals amitjanades a tota l'àrea d'estudi per al període 1971-2050 així com per a les tres grans àrees geogràfiques en les quals es pot dividir el país: zona pirinenca, zona interior i zona litoral i prelitoral (veure Capítol 2).

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 (Roeckner *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.

Malgrat el notable pas endavant que van representar aquests projectes respecte a resultats previs a resolució més grollera, com serien els projectes europeus PRUDENCE (*Christensen*, 2005) a 50 km, i ENSEMBLES (*Van der Linden i Mitchell*, 2009) a 25 km, o als projectes espanyols ESCENA (*Jiménez-Guerrero et al.*, 2013) a 25 km i ESTCENA (*Gutiérrez et al.*, 2012) a 20 km, les característiques d'aquestes simulacions encara no permeten realitzar un estudi d'impactes acurat a zones amb una complexa orografia com és el cas de Catalunya. En els últims anys, des de diversos centres d'investigació, s'han desenvolupat i es continuen desenvolupant un conjunt important de simulacions regionalitzades, fins a 0,11° de resolució espacial (~12,5 km), en el marc del projecte de coordinació internacional CORDEX³ (*CO*ordinated *R*egional *C*limate *D*ownscaling *EX*periment, Experiment Coordinat de Regionalització Climàtica Regional; *Giorgi et al.*, 2009, *Giorgi i Gutowski Jr*, 2015). Aquest projecte marc va ser iniciat pel *World Climate Research Programme* (Programa Mundial d'Investigació del Clima, WCRP) de l'OMM el 2009, en resposta a la necessitat d'un marc coordinat per tal d'avaluar i millorar les tècniques de regionalització dinàmica del clima, i produir una nova generació de projeccions climàtiques regionalitzades a gran escala per a diferents zones del món, entre les quals destaquen per als nostres interessos: Europa (Regió 5, EURO-CORDEX⁴; *Jacob et al.*, 2020) i el Mediterrani (Regió 12, Med-CORDEX⁵; *Ruti et al.*, 2016). S'ha de destacar que recentment dins del subprojecte Med-CORDEX ja s'estan realitzant algunes simulacions fins a 0,088° de resolució espacial (~10 km).

Les simulacions desenvolupades dins del marc del projecte CORDEX, tot i representar una molt important base de dades per a l'avaluació de les tendències futures de les variables meteorològiques segons diferents escenaris d'emissions i les corresponents incerteses associades, així com un gran avanç qualitatiu respecte de les simulacions disponibles prèviament, encara no presenten el suficient detall espacial per tal d'avaluar els impactes que precisen territoris amb una complexa orografia, com és el cas de Catalunya.

Per tal de solucionar aquesta mancança, 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*, 2013b) 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. En el Capítol 4 s'explica amb més detall aquesta tècnica de regionalització.

³Més informació sobre el projecte CORDEX es pot trobar a: <https://cordex.org/>

⁴Més informació sobre el subprojecte EURO-CORDEX es pot trobar a: <https://www.euro-cordex.net/>

⁵Més informació sobre el subprojecte EURO-CORDEX es pot trobar a: <https://www.medcordex.eu/>

En aquest capítol es defineix l'àrea d'estudi del present informe, Catalunya, la seva zonificació en tres grans àmbits geogràfics així com una sèrie de consideracions sobre la complexa orografia del país i la disponibilitat de sèries climàtiques per tal de poder analitzar amb detall les tendències observades en el clima de Catalunya d'una manera homogènia i sense artefactes o bé per la manca de dades disponibles en certs períodes o bé pel fet de la gran quantitat de dades disponibles d'estacions meteorològiques automàtiques els darrers dos decennis.

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**¹:

¹Les 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 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.
- **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 Orografia

L'orografia de Catalunya, tot i ser un territori relativament petit d'uns 32.000 km², és molt complexa així com irregular (veure Figura 2.3). Aquesta ve caracteritzada per dues serralades muntanyoses, amb una alternança d'elevacions i planes, paral·leles a la línia de la costa: les serralades Litoral (amb altituds màximes properes als 750-800 m) i Prelitoral (amb altituds màximes superiors als 1.200-1.700 m). Aquest sistema, anomenat sistema Mediterrani Català o serralades Costaneres Catalanes, afecta la influència de la mar Mediterrània sobre la meteorologia i la climatologia de les terres de l'interior, zona dominada per la depressió Central Catalana, extensa plana situada entre el Pirineu i la serralada Prelitoral amb altituds que oscil·len entre els 200-600 m. A més, la presència del Pirineu, formació muntanyosa que connecta la península Ibèrica amb el territori continental europeu al nord del territori amb pics de més de 3.000 m d'altura, té una marcada influència sobre la dinàmica atmosfèrica de la zona. La gamma d'altituds existents produeix uns pisos climàtics, en especial tèrmics, que donen valors anuals de temperatura mitjana des dels 17 °C a la costa sud del país fins als 0 °C del Pirineu (*Martín-Vide*, 1992).

L'orografia del territori alhora es troba molt compartimentada en serres i depressions o valls. Aquest factor, junt amb diferents orientacions en les seves unitats de relleu, produeix grans contrastos climàtics i meteorològics entre unes comarques i les seves veïnes, amb una gran variabilitat tan espacial com temporal (*Martín-Vide*, 1992). Amb la qual cosa, la diversitat de tipus de climes de clima a Catalunya és elevada (veure Figura 2.2).

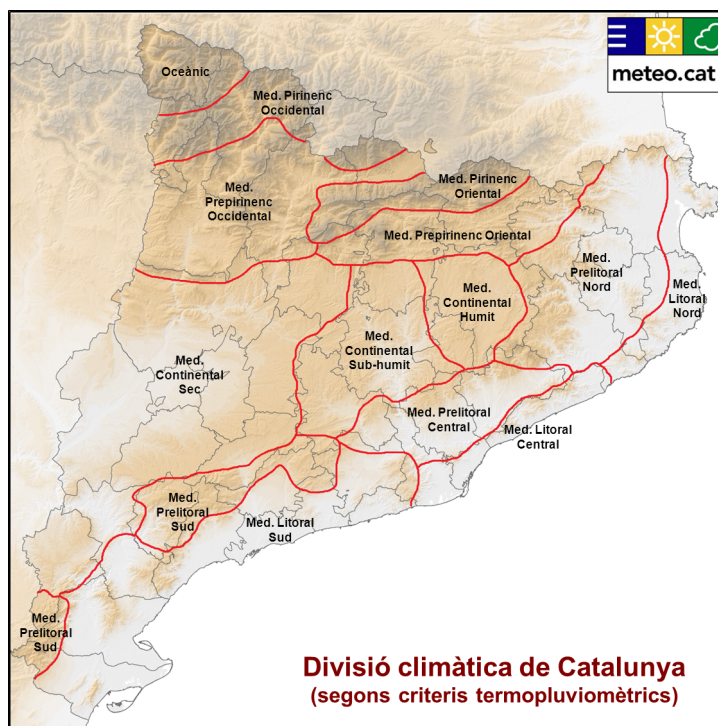


Figura 2.2: Divisió climàtica de Catalunya seguint criteris termopluviomètrics.

Per tant, tenint en compte la seva complexa orografia, qualsevol anàlisi de l'evolució climàtica futura a Catalunya s'ha de desenvolupar amb projeccions realitzades a molt elevada resolució espacial per tal de poder reproduir tota aquesta gran irregularitat i variabilitat climàtica, tan espacial com temporal.

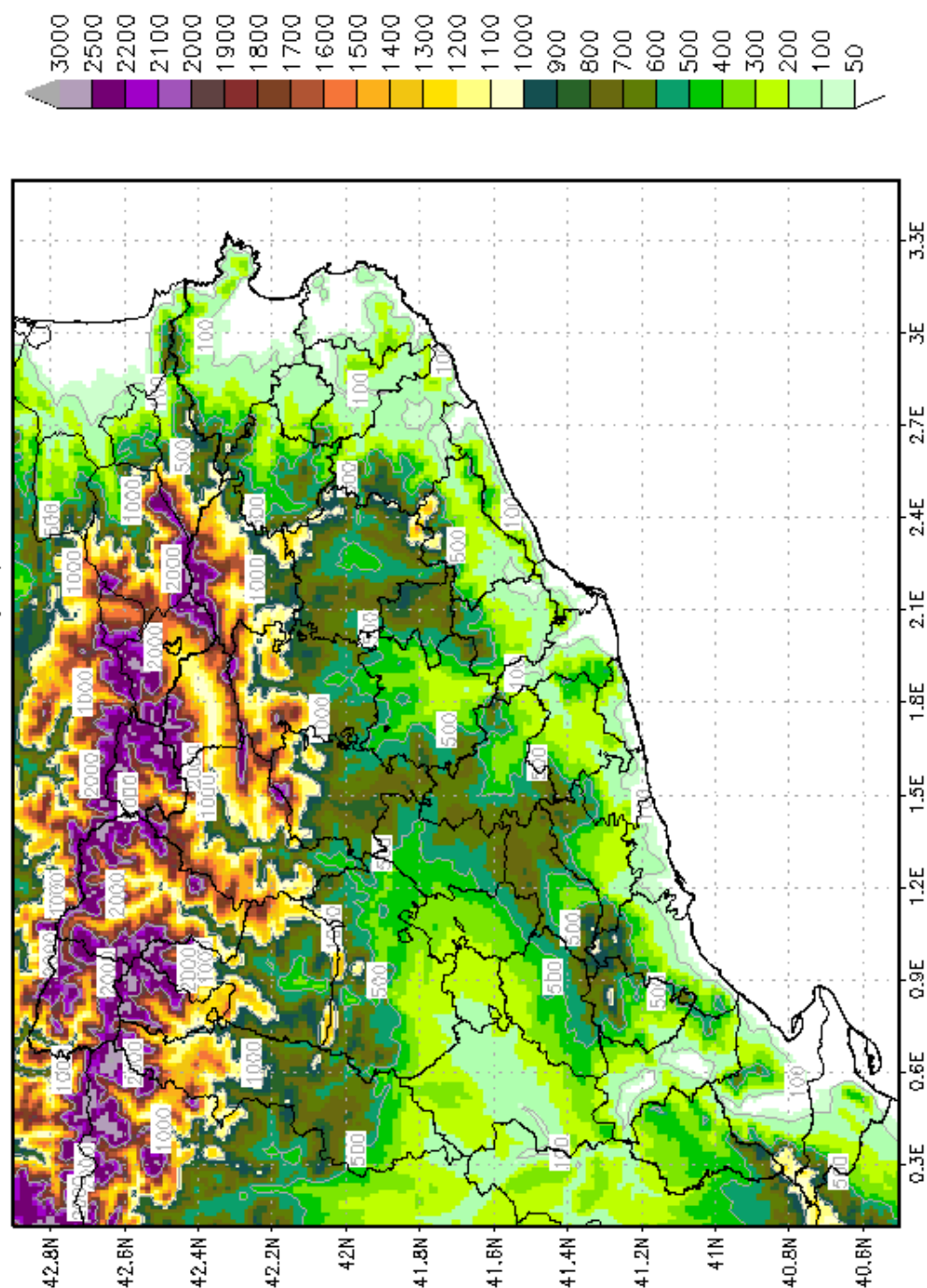


Figura 2.3: Mapa de l'altura del terreny (en metres sobre el nivell del mar) a 1 km de resolució per a Catalunya, mostrant la complexa orografia del territori.

2.3 Sèries climàtiques

Les sèries climàtiques són sèries de dades meteorològiques homogènies i representatives d'una localitat, sovint són el resultat de la fusió en única sèrie de diferents sèries de dades meteorològiques d'un indret determinat, a les quals se'ls aplica un test d'homogeneïtzació. Per tant, són sèries vitals a l'hora d'avaluar tendències en el temps per a les variables meteorològiques així com són aquelles que s'han d'emprar a l'hora de poder comparar les dades de les projeccions climàtiques amb les observacions en el període de solapament entre ambdues.

Definides en el *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC) de l'SMC (SMC, 2019b), existeixen **23 sèries climàtiques de temperatura i 70 de precipitació** segons l'últim butlletí disponible, el BAIC 2018 (SMC, 2019b). Les principals característiques d'aquestes sèries es troben resumides a la Taula 2.1. Aquestes són les sèries climàtiques² 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. A la Figura 2.4 (temperatura) i a la Figura 2.5 (precipitació) es mostren les sèries climàtiques del BAIC amb les quals es poden elaborar sèries mitjanes d'aquestes variables anualment i estacional amb dades observacionals representatives de Catalunya, així com dels tres àmbits geogràfics en els quals s'ha dividit el territori català: zones pirinenca, interior i litoral-prelitoral.

Segons l'últim BAIC (SMC, 2019b) la temperatura mitjana a Catalunya és actualment 1,6 °C més elevada que a mitjans de segle XX (des de 1950), a un ritme de creixement de +0,25 °C per decenni. La temperatura diürna s'ha incrementat a un ritme molt més elevat que no pas ho ha fet la nocturna: +0,31 vs. +0,19 °C per decenni (1950-2018). L'estiu és l'època de l'any en què més s'ha incrementat la temperatura, +0,37 °C per decenni, és a dir, actualment la temperatura a l'estiu és 2,5 °C més alta que a mitjan segle XX. L'increment tèrmic des de 1950 és força uniforme geogràficament, i no s'identifiquen patrons espacials clars.

En valor mitjà la precipitació anual a Catalunya actualment ha disminuït uns 57 mm respecte de la de mitjan segle XX (ritme de decreixement de -1,4 % per decenni). La precipitació d'estiu és l'única que presenta una tendència clara i robusta a tot el país, disminuint en mitjana una mica més d'un 5 % per decenni en els darrers 70 anys. Finalment, dues zones concretes de Catalunya donen un lleuger augment de la precipitació anual des de 1950: al litoral Nord i la zona entre la Conca de Barberà, l'Urgell i les Garrigues.

Els índexs climàtics d'extrems càlids de temperatura, tant diürns com nocturns, presenten una tendència estadísticament significativa a tot el país. Augmenten el nombre de dies càlids, d'estiu i de calor, el nombre de nits tropicals i càlides, així com l'amplitud tèrmica anual i la durada de ratxa càlida. Per una altra banda disminueixen els dies freds. En canvi, els índexs extrems associats a la precipitació no mostren una tendència uniforme a tot el territori, així com una manca de significació estadística a la majoria de sèries analitzades. La magnitud de les tendències sol ser més important per als índexs extrems que es donen durant la part càlida de l'any, que no pas durant la part freda de l'any. El sector nord-occidental del país és el que sol mostrar un major nombre d'índexs d'extrems amb valors de tendència significatius estadísticament. Finalment, la intensitat i durada de les sequeres ha anat augmentat durant els últims decennis en el conjunt de Catalunya. En canvi, els períodes humits són menys extensos i intensos espacialment i temporal.

²les 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/>.

Taula 2.1: Sèries climàtiques definides en el Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics (BAIC) per al període 1950-2018. Coordenades de les estacions (x, y i z) en el fus UTM31 (ETRS89).

Emplaçament	Comarca	x (m)	y (m)	z (m)	Variables (*)
Valls	Alt Camp	354.383	4.572.742	232	PPT
Cadaqués	Alt Empordà	522.741	4.681.973	10	PPT
Figueres ³	Alt Empordà	496.369	4.684.011	31	TX, TN i PPT
Castellví de la Marca	Alt Penedès	384.413	4.575.898	190	PPT
Canaletes ⁴	Alt Penedès	391.013	4.593.647	325	PPT
Vilafranca del Penedès	Alt Penedès	389.362	4.576.479	176	TX, TN i PPT
Oliana	Alt Urgell	360.703	4.659.884	490	TX, TN i PPT
Organyà	Alt Urgell	362.364	4.675.337	566	PPT
el Pont de Suert	Alta Ribagorça	314.390	4.696.649	823	TX, TN i PPT
Ransol	ANDORRA	388.463	4.715.122	1.645	TX, TN i PPT
el Pont de Suert	Alta Ribagorça	314.390	4.696.649	823	TX, TN i PPT
el Bruc	Anoia	398.436	4.604.131	480	PPT
Igualada ⁵	Anoia	387.729	4.604.734	333	TX, TN i PPT
Balsareny	Bages	406.695	4.635.223	327	PPT
Aeroport de Reus	Baix Camp	345.585	4.556.658	73	TX, TN i PPT
Montbrió del Camp	Baix Camp	333.231	4.554.804	120	PPT
Reus – Centre de Lectura	Baix Camp	341.290	4.557.644	139	PPT
l'Ametlla de Mar	Baix Ebre	312.141	4.531.061	93	PPT
Observatori de l'Ebre	Baix Ebre	288.703	4.52.2022	48	TX, TN i PPT
Palafrugell	Baix Empordà	513.412	4.640.472	81	PPT
la Tallada d'Empordà	Baix Empordà	505.220	4.655.976	16	PPT
l'Estartit ⁶	Baix Empordà	516.619	4.655.892	2	PPT
Aeroport de Barcelona	Baix Llobregat	419.544	4.572.631	3	TX, TN i PPT
Begues	Baix Llobregat	410.021	4.576.500	355	PPT
Esparreguera	Baix Llobregat	405.663	4.599.385	206	PPT
Cunit ⁷	Baix Penedès	385.422	4.562.067	17	PPT
Observatori Fabra	Barcelonès	426.879	4.585.783	420	TX, TN i PPT
Berga	Berguedà	404.297	4.661.856	711	PPT
Puig-reig	Berguedà	406.912	4.647.666	420	PPT
Puigcerdà	Cerdanya	412.488	4.699.403	1.214	PPT
Montblanc	Conca de Barberà	346.700	4.583.014	340	PPT
Rocafort de Queralt	Conca de Barberà	356.551	4.593.424	560	PPT
Saral	Conca de Barberà	353.692	4.589.838	473	PPT
Vimbodí ⁸	Conca de Barberà	336.986	4.585.078	480	PPT
Castellfollit de la Roca	Garrotxa	462.696	4.674.628	296	PPT
Girona	Gironès	484.094	4.648.026	72	TX, TN i PPT
la Granadella	Garrigues	305.102	4.580.678	532	PPT
Omellons, els	Garrigues	329.872	4.596.848	400	PPT

(*) TX = Temperatura màxima, TN = Temperatura mínima i PPT = Precipitació.

³unió de les sèries de Figueres i Cabanes

⁴unió de les sèries de Sant Quintí de Mediona i Canaletes

⁵unió de les sèries d'Igualada i Òdena

⁶unió de les sèries de Torroella de Montgrí i l'Estartit

⁷unió de les sèries de Cubelles i Cunit

⁸unió de les sèries de Vimbodí i l'Espluga de Francolí

Taula 2.1 – *continua de la pàgina anterior*

Emplaçament	Comarca	x (m)	y (m)	z (m)	Variables (*)
Malgrat de Mar ⁹	Maresme	479.823	4.610.825	2	PPT
Moià	Moianès	424.938	4.629.639	735	TX, TN i PPT
Amposta	Montsià	295.531	4.508.716	12	PPT
Godall	Montsià	285.896	4.503.484	180	PPT
Mas de Barberans	Montsià	280.481	4.510.936	240	PPT
Borgonyà	Osona	437.113	4.657.349	521	PPT
Malla – Torrellebreia	Osona	438.458	4.634.027	570	TX, TN i PPT
Prats de Lluçanès	Osona	419.493	4.651.231	701	PPT
Vic	Osona	437.077	4.643.040	499	TX, TN i PPT
la Pobla de Segur	Pallars Jussà	332.357	4.678.853	508	PPT
Tremp ¹⁰	Pallars Jussà	325.636	4.670.183	461	TX, TN i PPT
Esterri d'Àneu	Pallars Sobirà	346.435	4.721.089	950	PPT
Cabacés	Priorat	310.331	4.569.107	357	PPT
Benissanet	Ribera d'Ebre	301.310	4.547.901	30	PPT
Flix ¹¹	Ribera d'Ebre	298.285	4.562.288	53	TX, TN i PPT
Miravet	Ribera d'Ebre	298.238	4.550.034	28	PPT
Riba-roja d'Ebre	Ribera d'Ebre	289.267	4.569.620	88	PPT
Tivissa	Ribera d'Ebre	309.325	4.546.042	313	TX, TN i PPT
Campdevàrol	Ripollès	431.372	4.675.038	761	PPT
Cervera	Segarra	356.563	4.614.759	540	PPT
Lleida	Segrià	299.694	4.611.309	192	TX, TN i PPT
Breda	Selva	463.204	4.622.015	169	PPT
Riner	Solsonès	384.138	4.645.149	610	PPT
Vilalba dels Arcs	Terra Alta	282.544	4.555.526	442	PPT
Agramunt	Urgell	341.937	4.628.122	342	PPT
Rocallaura	Urgell	345.382	4.596.855	645	PPT
Tàrraga	Urgell	347.109	4.614.634	380	TX, TN i PPT
Vielha	Val d'Aran	319.403	4.729.904	975	TX, TN i PPT
Terrassa	Vallès Occidental	418.467	4.601.807	290	PPT
Caldes de Montbui	Vallès Oriental	430.803	4.607.309	176	TX, TN i PPT
Cardedeu	Vallès Oriental	446.743	4.609.608	193	TX, TN i PPT
Granollers	Vallès Oriental	441.629	4.606.726	202	TX, TN i PPT
Llinars del Vallès	Vallès Oriental	449.900	4.610.413	194	PPT
Turó de l'Home ¹²	Vallès Oriental	453.364	4.624.999	1.668	TX, TN i PPT

(*) TX = Temperatura màxima, TN = Temperatura mínima i PPT = Precipitació.

⁹unió de les sèries de Tordera i Malgrat de Mar

¹⁰unió de les sèries de Nerets i Tremp

¹¹unió de les sèries de Flix i Vinebre

¹²unió de les sèries del Turó de l'Home i Puig Sesolles

En una regionalització climàtica a partir de tècniques estadístiques s'han de diferenciar dos grups de dades: les dades predictores (independents, x) i les predictands (dependents, y), $y = f(x)$. Mentre que les primeres provenen directament dels MCGG, les darreres acostumen a ser observacions relacionades amb l'interès concret de la nostra projecció climàtica (Figura 3.1).

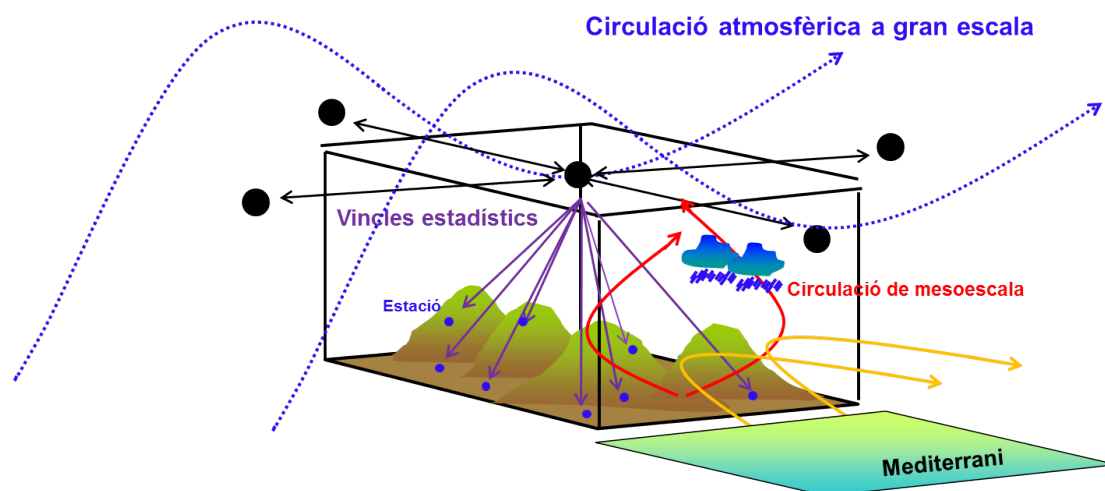


Figura 3.1: Vincle que s'estableix entre les dades predictores (cercles negres), provinents dels MCGG, i les predictands (cercles blaus), corresponents a observacions en superfície per aquella situació meteorològica en l'àmbit de Catalunya. Aquesta relació entre variables predictands i predictores ens permet estimar els valors de temperatura i precipitació previstos a partir de les simulacions futures dels MCGG (Altava-Ortiz et al., 2017).

A continuació es passen a descriure amb detall els dos bancs de dades que s'han utilitzat en el present treball:

3.1 Variables predictores: simulacions dels MCGG

Els camps predictors provenen dels MCGG: 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). La tria d'aquests models s'ha basat en la relativament bona simulació de les característiques principals de la circulació general que han realitzat versions prèvies d'aquests models a la zona de l'Atlàntic Nord o Europa en particular (*Van Ulden i Van Oldenborgh*, 2006). És el cas de les versions ECHAM5/MPI-OM (*Roeckner et al.*, 2003; *Marsland et al.*, 2003), GFDL-CM2.1 (*Anderson et al.*, 2004) i CGCM3 (*Flato*, 2005) dels models alemany, americà i canadenc, respectivament. En aquest estudi s'han emprat les versions més actualitzades disponibles d'aquests models. A la taula 3.1 s'enumeren aquests models i els períodes de control i les simulacions forçades al s. XXI que s'han utilitzat.

Taula 3.1: 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 ¹	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 ₂ observat

Les diferències principals entre les versions prèvies d'aquests models i les utilitzades en aquest informe resideixen en un millor acoblament entre els components principals que conformen el sistema climàtic (sòl-terra-ocèa) així com en l'increment del nombre de nivells verticals i de la resolució horitzontal² en molts casos. Així, el model alemany passa de 31 a 95 nivells, l'americà no canvia i el canadenc passa de 31 a 35. També hi ha diferències pel que fa al forçament antròpic que se'ls hi aplica. Així com al CMIP3 (*Meehl et al.*, 2007) es parlava d'escenaris d'emissions (*Nakićenović et al.*, 2000), en el CMIP5 (*Taylor et al.*, 2012) es força als MCGG amb RCPs (*Representative Concentration Pathways* o Trajectòries Representatives de Concentracions; *van Vuuren et al.*, 2011).

L'habilitat de la metodologia estadística es va comprovar amb una simulació basada amb les dades de les reanàlisis de l'NCEP-NCAR (dades reals de l'atmosfera) que es va fer servir per a la generació d'escenaris climàtics regionalitzats a 1 km per a l'Àrea Metropolitana de Barcelona (consultar l'informe d'*Altava-Ortiz et al.* (2017) sobre el projecte ESAMB per a més informació).

Per tal de poder comparar una i altra manera de determinar el forçament antròpic futur, la figura 3.2 mostra l'evolució de la concentració de CO₂ 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,

¹Els 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.

²La resolució horitzontal i el número de nivells verticals d'un model global són punts essencials, junt amb les parametritzacions físiques, a l'hora de poder reproduir el comportament real de l'atmosfera en totes les seves escales espacials. En un principi a major resolució espacial i vertical s'aconsegueix tenir en compte un major número de detalls, encara que s'augmenta considerablement el temps d'execució dels models.

la més intensiva és la donada per l'RCP8.5 mentre que la més continguda seria la de l'RCP2.6.

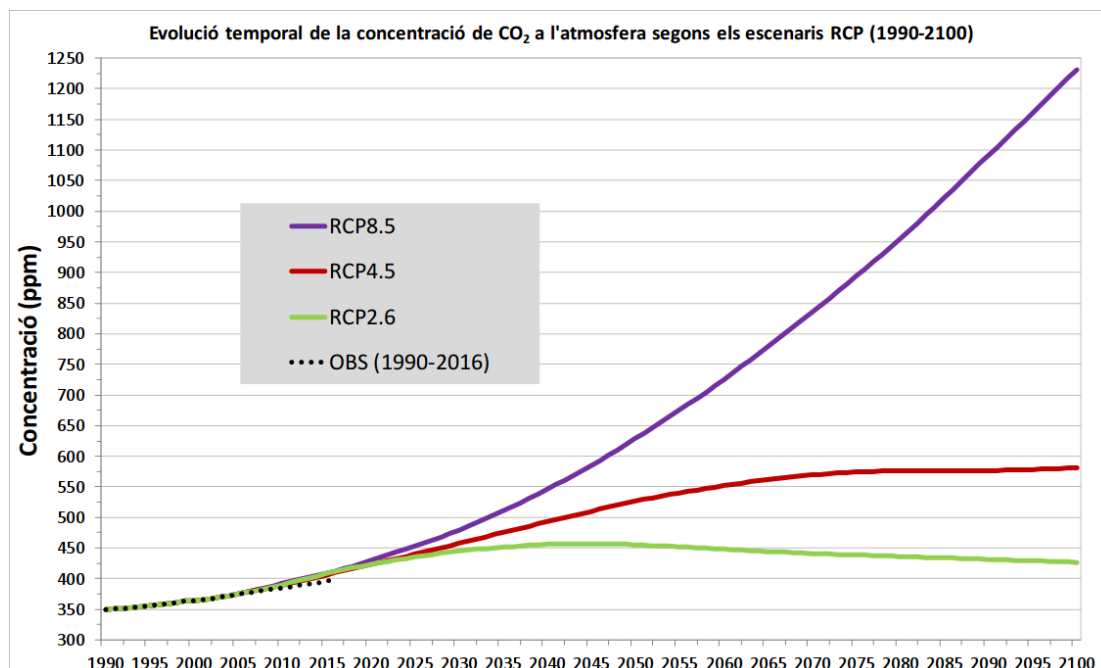


Figura 3.2: Evolució de la concentració de CO_2 al llarg del període 1990-2100 segons els RCP2.6, RCP4.5 i RCP8.5 (van Vuuren et al., 2011).

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_2 no serien gaire més elevades a les actuals (**416,39 ppm de valor mitjà per al juny de 2020³**) al final del s. XXI. Vindria a ser aproximadament l'escenari d'emissions que s'obtindria 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'aplica el recent **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.

³Dada extreta de l'*ESRL Global Monitoring Division* en el seu observatori de mesura del CO_2 atmosfèric a Mauna Loa (Hawaii, EUA): <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>.

3.2 Variables predictands: històric d'observacions de l'SMC

Les variables predictands que es fan servir, tenen diferents procedències. Segons si són dades de temperatura o de precipitació, aquestes procedències poden ser les següents (tenint en compte tot Catalunya):

- 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**⁴ (1971-2015).

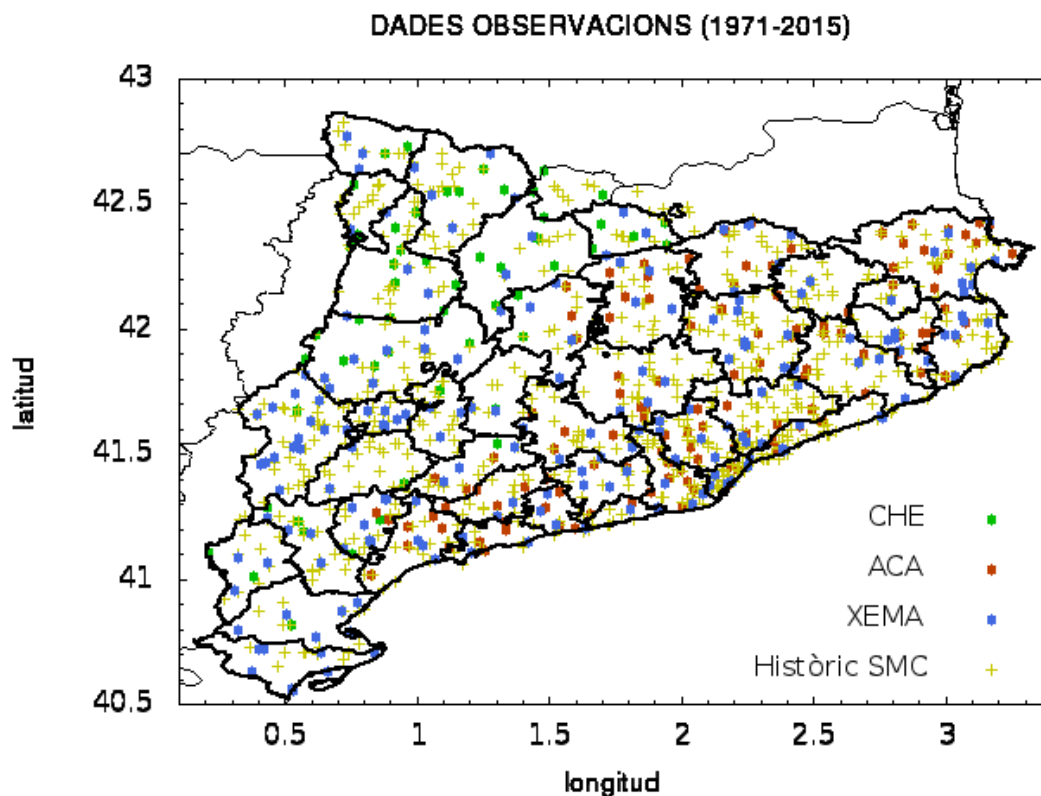


Figura 3.3: Conjunt d'estacions de precipitació i/o temperatura disponibles durant el període 1971-2015 a Catalunya. La xarxa es compon de dades provinents del BAIC, el fons històric de l'SMC, l'ACA i la CHE.

⁴ 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.

La figura 3.3 mostra tot el conjunt d'estacions, ja siguin de temperatura o de precipitació, que s'han utilitzat per al conjunt de tot Catalunya. Aquestes són el punt de partida per tal de crear el banc de dades diari de les variables predictands de precipitació, temperatura màxima i mínima, així com les seves variables climàtiques derivades. S'ha de fer notar que no totes les estacions estan disponibles al llarg de tot el període, sinó que tenen sèries de durada molt variable.

El procés de construcció de la malla d'observacions diàries de temperatura i precipitació s'inspira en treballs previs *Ninyerola et al.* (2000, 2005) i pot descriure's de manera resumida en els següents passos (per a més informació consulteu el treball d'*Altava-Ortiz et al.*, 2016):

- Eliminació de dades sospitoses de contenir heterogeneïtats a partir de la comparació amb les sèries BAIC⁵.
- Tria dels camps estàtics més rellevants.
- Establiment de zones o agrupaments d'estacions.
- Càlcul dels paràmetres de les regressions entre variables dinàmiques i estàtiques per a cadascun dels agrupaments calculats.
- Càlcul i interpolació dels residus calculats entre observacions i resultats de les regressions.
- Càlcul del valor final de la regressió a partir d'una mètrica ponderada de cada punt de malla amb cadascun dels agrupaments de referència.

Com a resultat d'aquest procés de regressió de les observacions diàries, s'ha obtingut una malla diària durant el període 1996-2015 que serà la nostra climatologia de referència. Aquest és el període on les dades presenten una qualitat òptima. En el període anterior (1971-1995) no es pot garantir aquesta qualitat òptima. Les dades d'aquest període són de bona qualitat, però no es pot descartar que hi hagi un nombre no menyspreable de dades disperses dubtoses o dolentes, les quals són molt difícils de detectar automàticament per tal de corregir-les o eliminar-les. Així doncs, a l'hora de desenvolupar la regionalització estadística a escala diària s'ha pres com a referència per a les observacions el període 1996-2015 (període de qualitat òptima).

A les Figures 3.4, 3.5 i 3.6 es presenta la climatologia estacional per a les variables de temperatura màxima, temperatura mínima i precipitació, respectivament, per al període 1996-2015.

Les principals característiques termomètriques a Catalunya són les següents:

- Hivern (DGF): La mitjana de les màximes (Figura 3.4a) és troba entre 10-14 °C a la gran majoria del territori, amb un clar gradient d'augment terra-mar i de disminució amb l'altitud. El valors més elevats es donen a la franja litoral, sobretot la costa Central i el delta de l'Ebre, amb valors mitjans propers als 15 °C, amb algunes excepcions, i els valors més baixos es donen als cims del Pirineu occidental, amb valors mitjans inferiors als 2 °C. Respecte a la mitjana de les mínimes (Figura 3.5b), la distribució és similar a la de les màximes. Uns dos terços del país es troben amb valors mitjans entre els 0 i 5 °C i el terç restant es troba amb valors mitjans per sota dels 0 °C. Els valors mínims es troben als cims

⁵A les sèries que formen el Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics (BAIC) s'ha aplicat un procés d'homogeneïtzació i correcció i poden fer-se servir com a dades de referència climàtica.

del Pirineu occidental amb valors mitjans per davall dels -6°C , mentre els valors màxims es troben a la façana litoral per damunt dels 6°C . Cal destacar, també, les fondalades de les conques altes del Segre i el Llobregat, així com altres zones fondes de la plana de Vic i el Bages, amb valors mitjans per davall dels 0°C .

- **Primavera (MAM):** Distribució especial de la mitjana de les mínimes (Figura 3.4b) molt semblant a la mostrada per a l'hivern amb la diferència que les zones més càlides no es troben a la façana litoral sinó a les fondalades de la vall de l'Ebre i la depressió Central, amb uns valors mitjans de les màximes de $21-23^{\circ}\text{C}$. El gradient d'augment terra-mar no és tan clar com a l'hivern. Respecte a la mitjana de les mínimes (Figura 3.5b), la distribució és parella a la de l'hivern però amb valors mitjans més elevats: Els valors més baixos es registren als cims del Pirineu occidental (valors per davall de 0°C) i els valors més elevats a la façana litoral (valors per damunt dels 12°C).
- **Estiu (JJA):** Distribució especial similar a la mostrada per a la primavera amb el valors de les màximes (Figura 3.4c) més elevades a les fondalades de la vall de l'Ebre (la cubeta de Flix, a la Ribera d'Ebre) i de la depressió Central (Segrià) així com la cubeta de Tremp (Pallars Jussà), amb valors mitjans superiors als 32°C . També són de destacar altres zones càlides amb valors mitjans superiors als 30°C a les valls prepirinenques i gran part de la depressió Central així com moltes valls i fondalades interiors o prelitorals (Baix Ebre, Priorat, Bages, Anoia, Vallès, Selva, Gironès i Pla de l'Estany). Els valors mínims de les màximes es tornen a donar als cims més alts del Pirineu occidental. Respecte als valors mitjans de les mínimes (Figura 3.5c) la configuració és semblant, amb els valors més baixos als cims del Pirineu occidental, al voltant de 5°C i els més elevats a la façana litoral amb valors superiors als 20°C a la costa Central i el delta de l'Ebre.
- **Tardor (SON):** Presenta una distribució dels valors mitjans de les màximes (Figura 3.4d) prou semblant als de l'estiu, amb els valors més elevats a les fondalades de la vall de l'Ebre, amb valors superiors als 22°C , i els valors mínims de nou als cims del Pirineu occidental, amb valors mitjans inferiors als 10°C . En referència als valors mitjans de les mínimes (Figura 3.5d) presenten una distribució espacial semblant a les estacions anteriors, amb els valors mitjans més baixos als cims del Pirineu occidental (valors inferiors als 0°C) i els valors mitjans més elevats a la façana litoral, sobretot la costa Central i el delta de l'Ebre (valors superiors als $13-14^{\circ}\text{C}$).
- **Anual:** En la mitjana de les màximes (Figura 3.4e) existeix un clar gradient de disminució en funció de l'altitud del terreny, trobant-se els valors mitjans més baixos en el cims del Pirineu occidental amb valors per davall dels 6°C . Destaquen després diversos mínims locals en els principals cims de les serralades Prelitoral i Transversal. Gairebé dos terços del país té un valor mitjà de les màximes superior als 20°C . Per una altra banda, els valors mitjans més elevats es registren en les fondalades de la vall de l'Ebre i depressió Central, així com altres valls prelitorals (Baix Llobregat, Vallès, Selva i Gironès, principalment) amb valors superiors propers als 23°C . En la mitjana de les mínimes (Figura 3.5e) la distribució espacial ve caracteritzada per un clar gradient d'augment terra-mar i de disminució amb l'altitud. Els valors mitjans més baixos es troben als cims del Pirineu occidental amb valors propers als -2°C mentre que els valors mitjans més elevats es registren a la façana litoral, sobretot a la costa Central i punts del delta de l'Ebre amb valors superiors als 14°C .

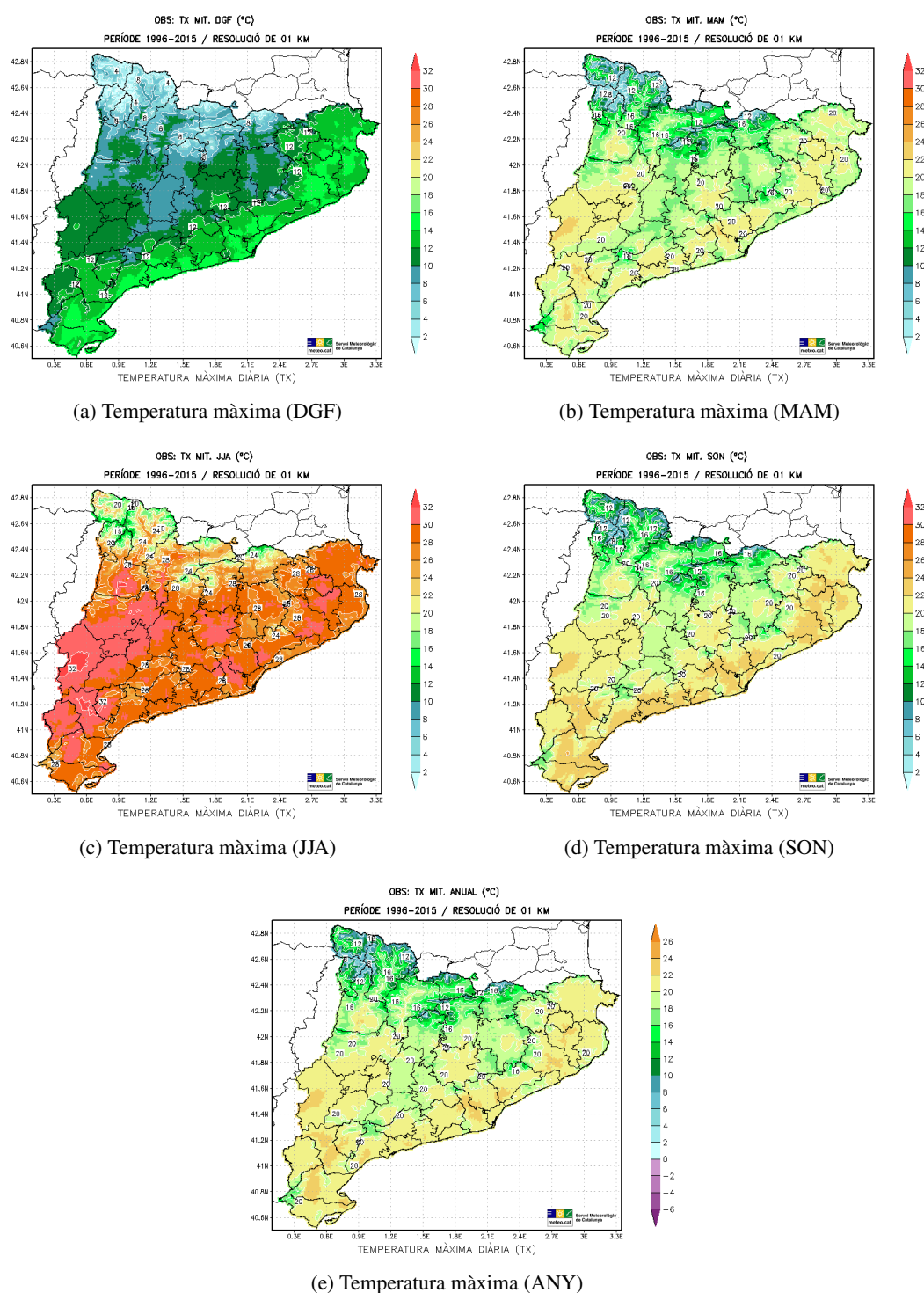


Figura 3.4: Climatologia de la temperatura màxima (TX) mitjana d'hivern (DGF), primavera (MAM), estiu (JJA), tardor (SON) i anual (ANY) per al període 1996-2015 segons la multiregressió de les observacions a 1 km.

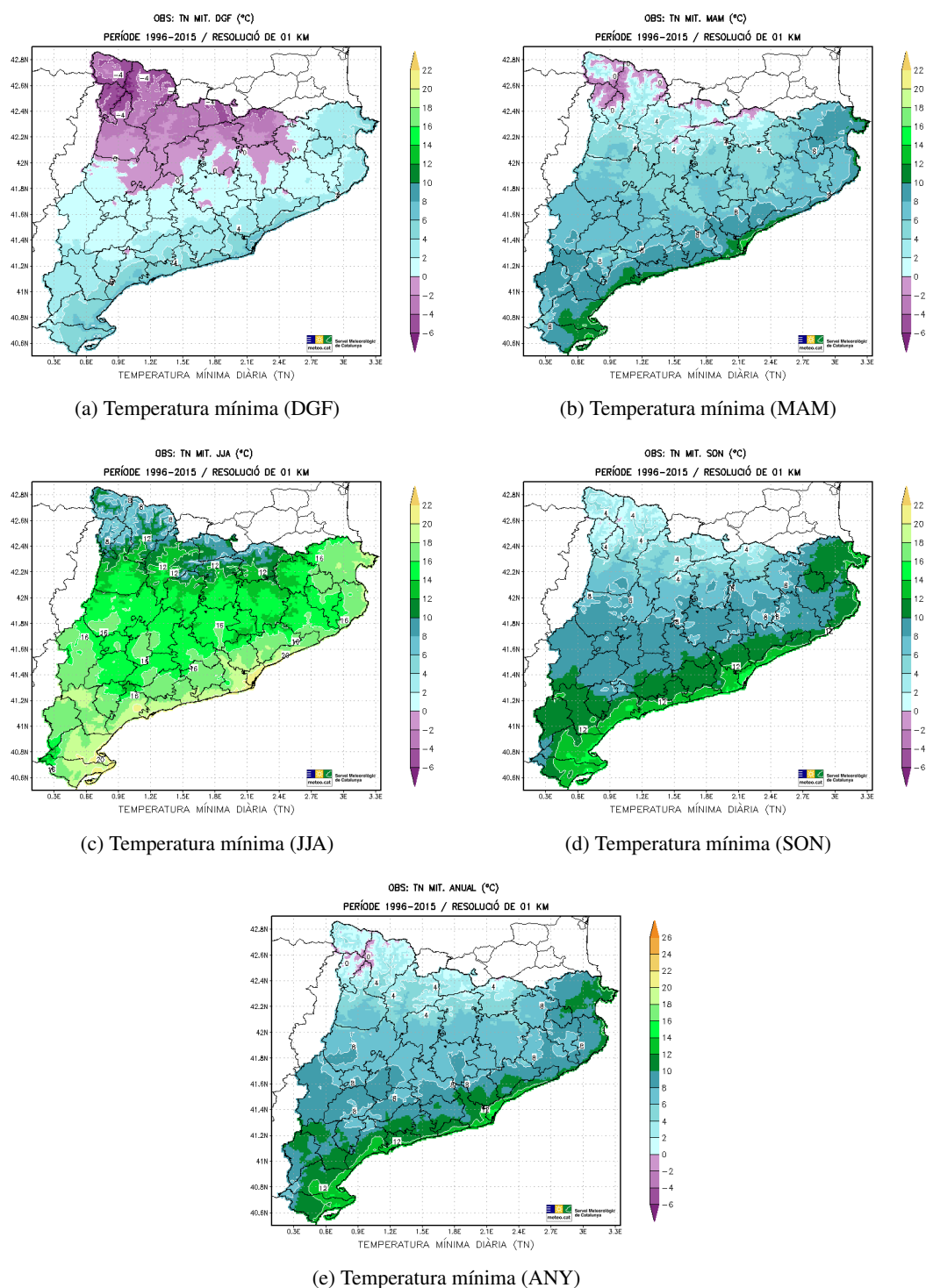


Figura 3.5: Climatologia de la temperatura mínima (TN) mitjana d'hivern (DGF), primavera (MAM), estiu (JJA), tardor (SON) i anual (ANY) per al període 1996-2015 segons la multiregressió de les observacions a 1 km.

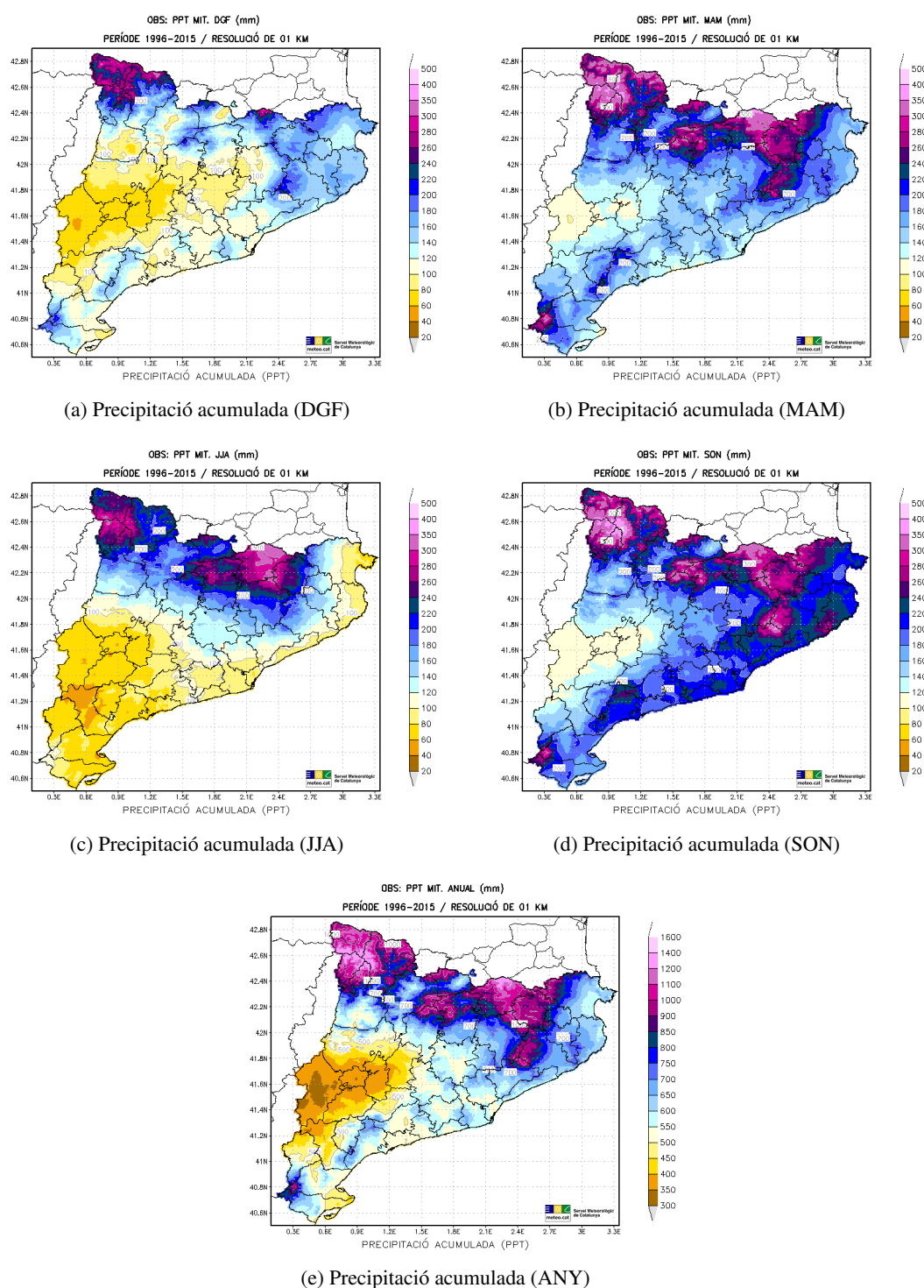


Figura 3.6: Climatologia de la precipitació acumulada (PPT) mitjana d'hivern (DGF), primavera (MAM), estiu (JJA), tardor (SON) i anual (ANY) per al període 1996-2015 segons la multiregressió de les observacions a 1 km.

Les principals característiques pluviomètriques a Catalunya són les següents:

- **Hivern (DJF):** És la segona estació més seca després de l'estiu com a conseqüència del domini de situacions anticiclòniques amb estabilitat atmosfèrica durant molts dies. Més d'un terç del país es troba amb valors mitjans per davall dels 100 mm i per sota dels 60 mm a punts del Segrià. Els valors màxims estan restringits a la cara nord del Pirineu, a conseqüència del domini dels fluxos de nord i nord-oest durant aquesta època de l'any, amb valors mitjans superiors als 260 mm. Destaquen també alguns màxims secundaris a conseqüència de la influència del relleu com el massís del Port i del Montseny, amb valors superiors als 200 mm de mitjana (Figura 3.6a).
- **Primavera (MAM):** És la segona estació més plujosa després de la tardor a gran part del territori. En aquest cas es veu un clar gradient de la precipitació, incrementant-se amb l'altitud, registrant-se els valors màxims en els principals relleus com les serres del Pirineu i Prepirineu, amb valors superiors als 300 mm de mitjanam, així com el massís del Port, el massís del Montseny i la serralada Transversal, amb valors superiors als 260 mm de mitjana, i finalment en menor mesura les muntanyes de Prades. Els valors mínims es localitzen al Segrià, amb valors inferiors al 100 mm de mitjana, però una gran extensió de la depressió Central es troba per sota dels 120 mm (Figura 3.6b).
- **Estiu (JJA):** És l'estació més seca a gran part del territori tret de la Garrotxa i del Ripollès en les quals és de les més plujoses gràcies a les nombroses tempestes que solen tenir lloc en aquesta època. El territori es divideix clarament en un corredor per on solen formar-se les tempestes d'estiu que abastaria tot el Pirineu i Prepirineu així com algunes zones del nord-est del país, més o menys un terç del territori. A la resta del territori, sobre un dos terços del total, els valors de precipitació són força baixos, per davall dels 100 mm de mitjana, però sobretot són molt baixos a les fondalades de la vall de l'Ebre i especialment la cubeta de Flix (Ribera d'Ebre), que es troben per sota dels 60 mm de mitjana en tres mesos (Figura 3.6c).
- **Tardor (SON):** És l'estació més plujosa a gran part del territori, on gairebé dos terços del país superen els 200 mm de mitjana. Els valors màxims de precipitació es troben en els relleus ben orientats o bé als fluxos superficials marítims del Mediterrani, com el massís del Montseny i la serralada Transversal i en menor mesura el massís del Port i les muntanyes de Prades; o bé als fluxos marítims en altura de l'Atlàntic com als contraforts del Pirineu occidental, on se superen els 400 mm de mitjana. És de destacar també un màxim secundari de precipitació al voltant de les Gavarres a la Costa Brava, amb valors superiors als 260 mm de mitjana. Per una altra banda els valors mínims, amb valors inferiors als 120 mm, es troben a la zona de la depressió Central aïllada de la influència dels fluxos marítims dominants en els temporals de pluja propis de la tardor o del pas dels fronts freds atlàntics associats a la major freqüència de pas de borrasques per la nostra latitud o la zona del Cantàbric i Occitània (Figura 3.6d).
- **Anual:** els valors anuals de precipitació oscil·len entre els poc més de 300 mm de mitjana a zones deprimides del Segrià i superiors als 1300 mm en punts del nord del Ripollès i la zona del Parc Nacional de d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici, a cavall de les comarques de l'Alta Ribagorça i la Val d'Aran amb el Pallars. Gairebé la meitat del territori es troba entre els 500 i 700 mm de precipitació mitjana anual, quedant només la depressió Central i part de la vall de l'Ebre per sota dels 500 mm. Existeix una clara

relació d'augment de la 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. Per una altra banda, són de destacar els mínims secundaris de precipitació de diverses valls pirinenques i prepirinenques que queden força aïllades del seu entorn, com són les valls d'Àneu, la vall Fosca, les valls de la Valira així com la plana de la Cerdanya i la conca del Segre a l'Alt Urgell (Figura 3.6e).

Els escenaris climàtics regionalitzats obtinguts en aquest estudi s'han elaborat segons una regionalització estadística a partir del concepte d'analogia meteorològica¹. Aquesta tècnica s'en-globa en la categoria de mètodes sobre tipus classificadors de temps, basada en la classificació i simplificació de la variabilitat espacial i temporal dels camps predictors (esquema a la Figura 4.1).

Els mètodes estadístics tenen l'avantatge de ser molt eficients en termes computacionals, però requereixen disposar d'una base de dades molt àmplia i amb una gran cobertura temporal i espacial. Aquest fet però, no serà un inconvenient en el nostre cas, doncs s'ha creat un banc de dades d'observacions molt complet, com s'ha presentat a la secció 3.2.

El principal avantatge d'aquesta metodologia és el fet que minimitza els biaixos i optimitza el rang de variabilitat entre les simulacions i les observacions. Aquest era un dels principals inconvenients de les simulacions climàtiques dinàmiques a partir de models meteorològics de mesoescala.

En un principi, la metodologia emprada també té un bon grau de versemblança, doncs no és agosarat suposar que en el futur succeiran situacions meteorològiques que ja s'estan donant en l'actualitat, si bé molt possiblement amb una freqüència diferent. Això no obstant, hi ha dos punts problemàtics sobre els quals cal fer esment i que poden representar dues febleses de la metodologia utilitzada. Amb més detall:

¹El concepte d'analogia aplicat a la predicció de variables meteorològiques s'inicia als anys 1950 amb els treballs de *Baur et al.* (1951) i *Namias* (1951) que realitzen les primeres prediccions meteorològiques amb aquesta metodologia.

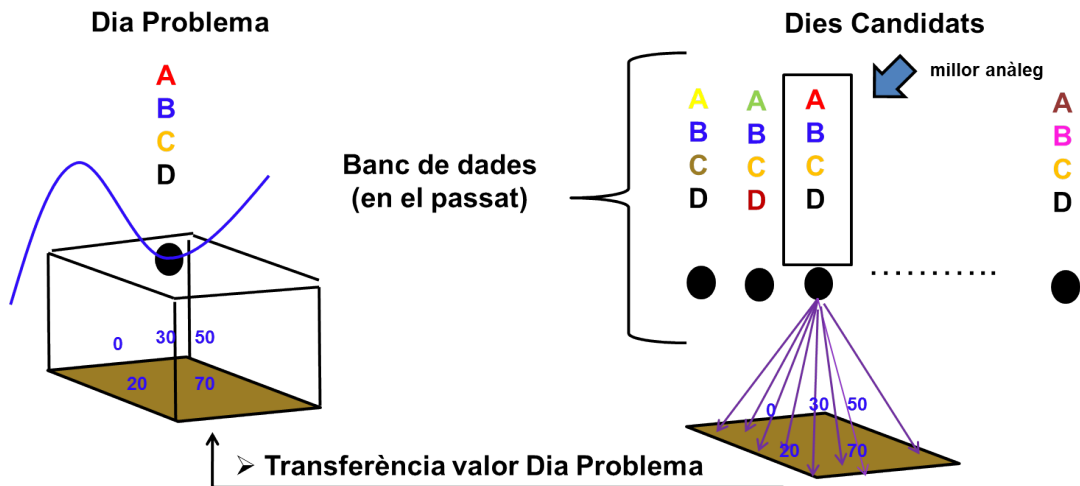


Figura 4.1: El mètode estadístic de regionalització basat en l'analogia entre estats meteorològics consisteix en la cerca del conjunt de dies passats amb dades predictores de major similitud amb el Dia Problema futur (Dies Candidats), per tal de transferir els valors (predictands) del millor anàleg (Altava-Ortiz et al., 2017).

- És possible que en el futur es puguin donar configuracions meteorològiques i/o combinacions de variables predictores que no tinguin referents amb suficient grau d'analogia en l'actualitat. Un exemple seria una temperatura a 850 hPa de 32 °C, sense cap referent contemporani comparable.
- La no estacionarietat entre camps predictors i predictands en el futur. Aquest punt té certa connexió amb el punt anterior, si bé pot ser que la relació física entre variables canviï pel fet de produir-se alguna retroacció que no s'ha produït encara en l'actualitat i, per tant, no pot ser capturada i reproduïda per un model basat en la relació actual entre camps predictors i predictands.

És necessari remarcar que el primer punt implica una limitació en els resultats. En cas de donar-se una situació que no s'hagi produït prèviament, la metodologia transferirà els valors del millor anàleg que trobi en el seu banc de dades i que no necessàriament serien els valors que correspondrien en el cas d'haver-se donat un dia problema similar en el passat. Aquesta limitació serà més evident quan s'analitzen variables extremes on es projectin increments o decreixements fins ara no observats. Tenint en compte la importància d'aquest punt, es tractarà amb més detall a la secció 4.3 (limitacions i correccions).

En relació al segon punt anterior, la majoria de treballs que utilitzen tècniques estadístiques de regionalització climàtica fan referència a la problemàtica de l'estacionarietat, no obstant el seu estudi no és trivial i pocs treballs ho tracten en profunditat. Hi ha però, els referents de Benestad et al. (2007) i Altava-Ortiz (2010) a Escandinàvia i al nord-est de la península Ibèrica, respectivament. Ambdós treballs, analitzen l'estacionarietat amb el model global ECHAM5 (Roeckner et al., 2003) arribant a la conclusió que pot considerar-se que les relacions entre camps predictors i predictands són temporalment invariants².

²La demostració d'aquesta estacionarietat té la limitació de la pròpia física del model. És possible que ni el model pugui reproduir futures retroaccions que facin que els vincles estadístics actuals s'alterin en un futur.

A continuació es passa a descriure el mètode que s'ha desenvolupat. El primer pas és l'elecció de les variables predictores.

4.1 Selecció dels camps predictors

A cada domini implicat en l'establiment de l'analogia meteorològica prenen partit variables predictores relacionades amb les característiques de la circulació atmosfèrica a l'escala característica del domini. Les variables que s'han triat són: les alçades del geopotencial a 500, 700 i 850 hPa (*hgt500*, *hgt850* i *hgt700*); la pressió a nivell del mar (*slp*), la temperatura i la humitat relativa als nivells de 500 i 850 hPa (*tmp500*, *tmp850*, *hr500* i *hr850*), i les components zonal i meridional així com el mòdul del vent a 850 hPa (*u850*, *v850* i *mod850*).

Els criteris de selecció d'aquestes variables es basen en la seva idoneïtat per a la caracterització del clima a la zona climàtica temperada de la Terra (latituds mitjanes) o en la seva importància en un escenari d'escalfament futur acusat. Més concretament:

- **hgt500, hgt850 i hgt700:** s'usen per tal de caracteritzar dinàmicament l'atmosfera a escala sinòptica, i s'utilitzaran les unes independentment de les altres.
- **slp:** es fa servir com a complement de les anteriors, amb la mateixa funció, només que actua en el domini més petit.
- **hr500 i hr850:** la humitat relativa permet retenir informació sobre el contingut d'aigua a l'atmosfera (Hewitson, 1999). Així mateix dona informació sobre el possible escalfament adiabàtic per efecte fogony d'una massa d'aire advectada. També és una variable que pot ser important en el futur sobre possibles retroaccions amb els gradients mar-terra (Rowell i Jones, 2006 i Joshi et al., 2008).
- **tmp500 i tmp850:** aquestes variables són importants com a predictores de la precipitació segons els estudis de Buishand i Brandsma (1999) i Goodess i Jones (2002) i sobretot, és clar, de la temperatura en superfície (amb permís de la cobertura nuvolosa). A més a més, com que els models climàtics globals projecten escalfaments importants, a l'hora d'establir analogies futures la temperatura serà una variable essencial en el futur. Aquesta variable a nivells baixos també pot incorporar informació de l'escalfament radiatiu i de processos convectius.
- **u850 i v850:** el vent zonal i meridional, conjuntament amb l'**hr850**, donen compte de l'advecció d'humitat a nivells baixos atmosfèrics. De la mateixa manera, de l'advecció de masses d'aire càlides i eixutes.
- **mod850:** el mòdul del vent mitjà dona compte dels gradients de pressió al domini d'estudi i, per tant, pot donar informació de la magnitud de l'advecció d'humitat en situacions favorables o desfavorables a la precipitació.

4.2 Establiment de l'analogia meteorològica

Per a l'establiment de l'analogia es faran servir tres dominis, que es troben representats a la figura 4.2. El domini D1 comprèn la zona [30°N, 60°N; 30°W, 30°E], el domini D2 [35°N, 50°N; 15°W, 10°E] i finalment el més petit, D3, [40°N, 43°N; 0°E, 3,5°E]. Aquests dominis fan el paper equivalent que farien en una simulació meteorològica a partir de models numèrics els dominis niats, en els quals es procedeix a l'activació de la física involucrada en la simulació dels processos meteorològics propis de l'escala d'estudi. Per tant, aquí també es busca aquesta semblança.

En els dominis més grans prendran el protagonisme les variables dinàmiques (*hgt* i *slp*) mentre que als dominis més petits, el protagonisme serà més de les variables termodinàmiques i advectiones (*tmp*, *hr*, *u/v* i *mod*).

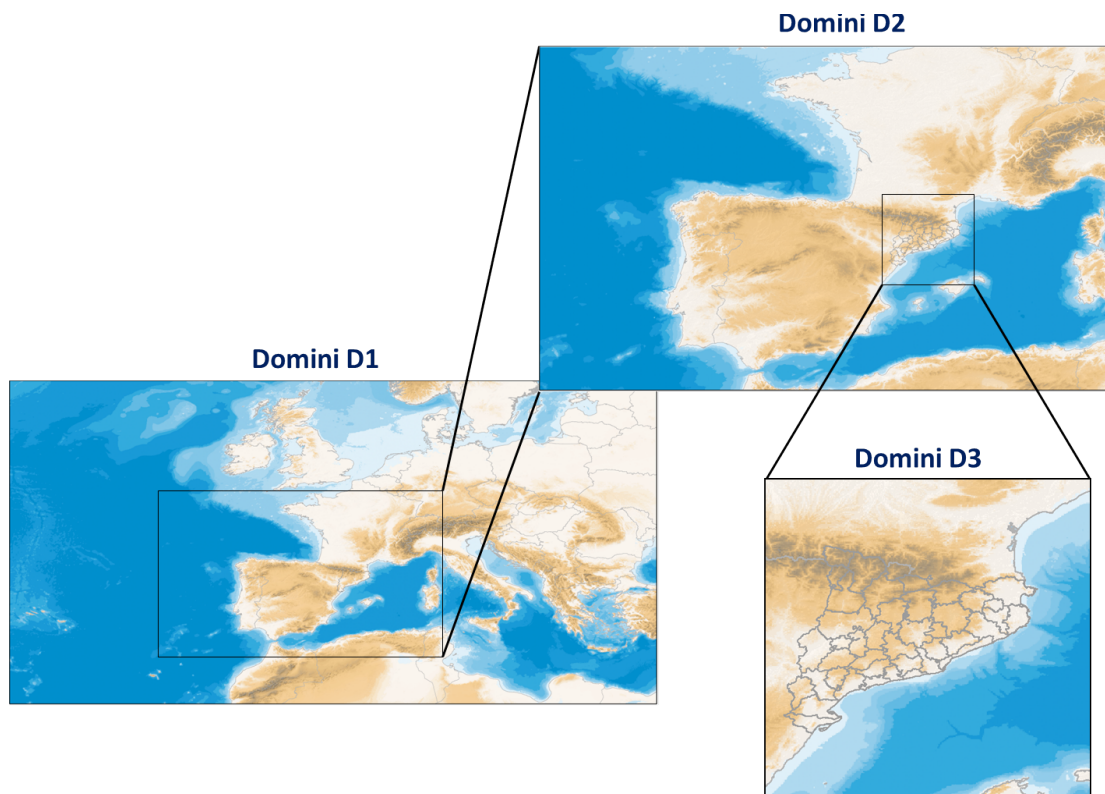


Figura 4.2: *Dominis involucrats en l'establiment d'analogies entre situacions meteorològiques* (Altava-Ortiz, 2010).

Els criteris d'analogia que s'han fet servir als diferents dominis són els següents:

DOMINI D1: Mètrica entre les components principals que retenen el 70% de la variabilitat de la mostra inicial de les variables *hgt500*, *hgt700* i *hgt850*. Se seleccionen aquelles situacions que tenen una mètrica inferior a 1,5 unitats de la desviació estàndard (σ) de la mostra comparada.

DOMINI D2: Correlacions espacials dels camps de geopotencial i temperatura a tots els nivells. Segons si es tracta de futurs anàlegs de temperatura o precipitació s'utilitzen més o menys nivells de temperatura o geopotencial, respectivament. Se seleccionen aquelles situacions amb una suma de correlacions (Σr) majors que $0,5\sigma$ d'entre el conjunt de situacions seleccionades amb anterioritat³. També es produeix una repesca si una situació té una Σr major que $1,5\sigma$ i no

³S'usa la desviació estàndard (σ) perquè no s'ha estudiat el grau de normalitat de la distribució de les diferents

ha sigut seleccionada en el domini D1.

DOMINI D3: Minimització de les diferències estandarditzades i selecció de les situacions amb un valor menor al percentil 90 del conjunt de diferències. Segons si es tracta d'anàlegs de temperatura o precipitació es fan servir els conjunts de variables [hgt850,tmp500, tmp850, hr850 i mod850] o [hgt850 hgt500, tmp500, hr500, hr700,hr850 i mod850], respectivament.

Aquest engranatge actua tant sobre els períodes de control de cada MCCG com sobre els conjunt de simulacions al s. XXI forçades pel conjunt d'RCPs seleccionats. Quan actua sobre camps del període de control, aquests es confronten amb els camps de les reanàlisis NCEP-NCAR, mentre que quan participen les simulacions futures, aquestes es confronten amb els períodes de control. D'aquesta manera, en el primer cas es construeix una climatologia de referència (tant pel que fa referència a valors mitjans com al rang de variabilitat de la mateixa), i en el segon cas es construeix la variació futura d'aquesta climatologia de referència de cada MCCG. La Figura 4.3 mostra esquemàticament aquest procés. Els resultats obtinguts en la construcció d'un clima de referència per a cada model es presentaran en la secció 5.1, mentre que les variacions o escenaris futurs en les seccions 5.2 i 5.3.

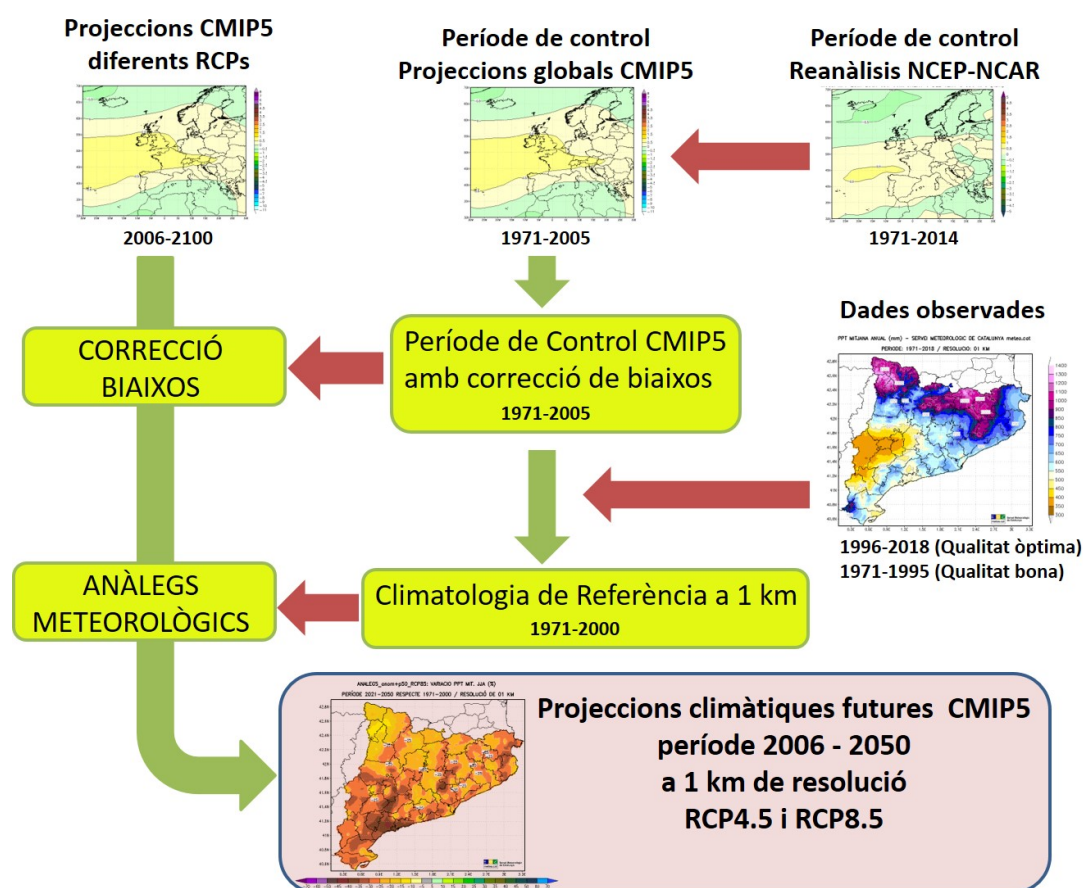


Figura 4.3: Esquema on es mostren les diferents bases de dades utilitzades i la seva participació en la metodologia per tal d'obtenir la climatologia de referència i les projeccions climàtiques futures. Les fletxes en vermell indiquen informació que s'incorpora al procés i les fletxes en verd traslladen als resultats de cada pas.

correlacions que es tenen en compte.

4.3 Limitacions i correccions

A la tècnica estadística de regionalització climàtica existeix una fita superior per a la projecció d'extrems diaris de PPT, TX i TN, com s'ha comentat prèviament. Aquest topall és el màxim observat durant el període de referència per a establir les analogies meteorològiques. Aquest fet no representaria un desavantatge en el cas que els camps predictors no variessin massa al llarg del s. XXI i existissin precedents extrems al s. XX anàlegs als futuribles del s. XXI. És evident, que en un escenari de canvi climàtic amb un important forçament radiatiu, són molt probables combinacions futures entre camps predictors, inèdites al s. XX i, per tant, l'enregistrament de valors extrems de temperatura i precipitació també poden ser inèdits. Per tal d'inferir fins a quin punt aquest fet és possible, es va realitzar al projecte ESAMB (*Altava-Ortiz et al.*, 2017) la representació de les anomalies de temperatura i geopotencial a 850 hPa (tmp850 i hgt850) a Catalunya durant els segles XX i XXI a partir de les simulacions de tres MCGG forçats amb diferents patrons d'emissions. Les anomalies es van calcular respecte a la climatologia de referència del període de control 1971-2000 de cada model.

Els resultats obtinguts mostren combinacions d'anomalies inèdites durant el període de control del respectiu model, encara que aquestes combinacions no quedaven desertes de precedents propers al període 1971-2000 en els casos dels escenaris RCP2.6 i RCP4.5. En canvi, no passava el mateix en les simulacions forçades amb l'RCP8.5, on la manca de precedents durant el període de control pot considerar-se com un factor limitant a l'hora de simular futurs escalfaments.

Pel que fa referència a la temperatura, no és agosarat pensar que a l'hora de realitzar la seva projecció al s. XXI, la limitació de la metodologia estadística abans comentada podria tenir més conseqüències durant l'estiu que no pas durant cap altra estació ⁴. En conseqüència, en els casos sense antecedents d'evident analogia al s. XX (aquells en els quals l'anomalia fos superior a 1,0 °C) s'hauria de forçar prèviament un increment termomètric. Aquest increment es pot realitzar de diverses maneres. El més senzill seria afegir un increment logarítmic addicional als valors de temperatura en superfície, tenint en compte que en terme mitjà la temperatura en funció de l'alçada segueix un perfil logarítmic. Tot i així, a causa de la complexa orografia d'un territori (en aquest cas Catalunya) i de la configuració de la situació meteorològica donada, la temperatura no segueix un perfil logarítmic ni un perfil únic extrapolable a totes les zones d'un territori. Per exemple, en situacions anticiclòniques amb una forta inversió tèrmica en els primers centenars de metres de la troposfera. Per tant, en aquelles situacions meteorològiques propenses a produir valors extrems de temperatura ⁵, aquesta primera correcció senzilla no seria gaire òptima.

Per tal de poder resoldre l'inconvenient principal de la correcció citada anteriorment, en el projecte ESAMB (*Altava-Ortiz et al.*, 2017) es va analitzar la matriu de covariància (mes a mes per tal de disgregar els efectes estacionals) de les anomalies diàries de la TX i la TN observades amb les anomalies de tmp850 de les reanàlisis NCEP-NCAR. Amb aquest càlcul es pot veure com responen la TX i TN en superfície en unitats de la temperatura a 850 hPa (un dels camps predictors en la metodologia estadística aplicada).

Els resultats obtinguts en el projecte ESAMB mostren com al juliol el canvi en la TX és

⁴Situacions futures amb anomalies sense precedents fora de l'estiu sempre poden ser cobertes per altres precedents a l'estiu o períodes càlids. Com a exemple, una temperatura de 25 °C a 850 hPa un mes de maig o setembre sempre pot ser associada a un dia el més similar possible a l'estiu als mesos de juny, juliol i agost.

⁵Les situacions meteorològiques que provoquen fortes inversions tèrmiques o calorades, amb el registre de valors extrems de temperatura, són les que tenen un major impacte en llocs situats en zones enclotades, i per tant és de vital importància poder-los avaluar de la millor manera possible, així com projectar correctament el seu canvi futur amb la metodologia aplicada.

menor quan la t_{p850} varia en una desviació estàndard ($\sigma \sim 3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$) que no pas a l'octubre o, sobretot, al maig ⁶. La diferència es dona sobretot a les zones més litorals i d'alta muntanya i també es veu amb la TN, sobretot a zones baixes i amb una major influència marítima. Si es quantifiquen les diferències, s'obté que mentre que una desviació estàndard de la temperatura de l'aire a 850 hPa té una repercussió mitjana d'1,0 $^{\circ}\text{C}$ a les zones litorals al juliol, aquesta passa a ser de vora 2,0 $^{\circ}\text{C}$ a les zones més interiors i a l'alta muntanya.

És precisament la diferent resposta que mostra la matriu de covariància de la TX i TN segons si ens trobem en una zona fonda o elevada, més marítima o interior, i també depenent de l'època de l'any, que fa tenir uns impactes força diferents a l'hora d'aplicar la correcció per a aquelles situacions futures que no tenen un anàleg en el període de control. Per exemple, la TN té una magnitud de canvi menor en zones fondes que no pas en d'altres de més elevades per a un mateix increment de la temperatura de l'aire a 850 hPa. Les diferències són més evidents durant l'hivern i l'estiu. La TX però, mostra un comportament diferent, amb una resposta altament condicionada per la distància a la mar des de maig a setembre, i amb una resposta més altitudinal durant l'hivern. Aquestes característiques espacials es troben ben marcades en la distribució espacials d'ambdues variables en analitzar els seus camps mitjans estacionals per al període 1996-2015 (Figura 3.5, per a la TN; i Figura 3.4, per a la TX) i que s'han comentat en la secció 3.2.

Així doncs, a l'hora de realitzar projeccions futures de la temperatura de l'aire en superfície a Catalunya a partir d'una tècnica estadística de regionalització climàtica basada en l'analogia meteorològica per a aquells dies futurs que no tinguin cap anàleg en el període de control, s'ha d'aplicar un increment termomètric en el camp de la temperatura del dia anàleg més proper, el qual s'ha de basar en la matriu de covariàncies calculada anteriorment. El valor amb què s'haurà d'aplicar l'increment termomètric depèn de la diferència, en desviacions estàndards, per al camp de temperatura de l'aire a 850 hPa entre el dia futur i l'anàleg més proper en el període de control.

Pel que fa a la precipitació, la projecció dels extrems també es veu afectada per la mateixa limitació que en el cas de la temperatura; la impossibilitat de projectar valors diaris superiors als observats durant el període de control. En aquest cas, i a diferència de la temperatura, no existeix cap correcció senzilla a priori, i per tant no se n'ha aplicat cap en el present treball. Mentre que la temperatura té una relació coneguda amb el forçament radiatiu, la precipitació és el producte final de tots els processos que tenen lloc a l'atmosfera i, per tal de poder aplicar una correcció similar, caldrien variables que no són disponibles lliurement a priori amb les dades dels models del CMIP5 (Taylor *et al.*, 2012). El fet de no aplicar cap correcció en el cas de situacions anàlogues inèdites en el futur té un impacte important en la variable més extrema relacionada amb la precipitació, com és el cas de la precipitació màxima diària. Per aquest motiu, en aquest estudi no s'analitzen els extrems absoluts diaris de precipitació. Per tal de compensar aquesta debilitat, s'analitzen índexs extrems de precipitació com podrien ser el nombre anual de dies amb precipitació abundant (dies amb una $PPT \geq 50\text{ mm}$) o el percentil 95 anual dels dies amb precipitació apreciable ($PPT \geq 0,1\text{ mm}$).

⁶Les diferències no poden ser atribuïdes a causa del diferent valor de σ , que és aproximadament igual durant tots els mesos.

En aquest capítol es presenten els resultats principals de les projeccions regionalitzades estadísticament a 1 km de resolució per al conjunt de Catalunya així com per a les tres grans àrees geogràfiques definides: zona pirinenca, zona interior i zona litoral-prelitoral. Les variables analitzades han estat les següents:

- Temperatura mitjana (**TM**) a escala anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor).
- Temperatura mínima (**TN**) mitjana a escala anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor).
- Temperatura màxima (**TX**) mitjana a escala anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor).
- Precipitació acumulada (**PPT**) mitjana a escala anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor).
- Nombre de dies de calor (**DC**, dies amb $TX \geq 30\text{ °C}$) a escala anual.
- Nombre de dies tòrrids (**DT**, dies amb $TX \geq 35\text{ °C}$) a escala anual.
- Nombre de dies de glaçada (**DG**, dies amb $TN \leq 0\text{ °C}$) a escala anual.
- Nombre de dies lliures de glaçada (**DLG**, dies amb $TN \geq 2\text{ °C}$) a escala anual.
- Nombre de nits tropicals (**TR**, dies amb $TN \geq 20\text{ °C}$) a escala anual.

- Nombre de nits tòrrides (**TO**, dies amb $TN \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) a escala anual.
- Nombre de dies de fredor (**DFR**, dies amb $TM \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) a escala anual.
- Nombre de dies amb precipitació feble (**n5PPT**, dies amb $PPT \leq 5\text{ mm}$) a escala anual.
- Nombre de dies amb precipitació abundant (**n50PPT**, dies amb $PPT \geq 50\text{ mm}$) a escala anual.
- Longitud màxima de la ratxa seca (dies amb $PPT < 1\text{ mm}$) (**LMRS**) a escala anual.
- Percentil 95 de la precipitació apreciable ($PPT \geq 0,1\text{ mm}$) (**p95PPT**) a escala anual.

Primer de tot, es presenta una anàlisi senzilla de la verificació de la metodologia emprada a l'hora de reproduir les característiques termopluviomètriques principals del clima de la zona d'estudi per al període de control en referència als valors mitjans climàtics i a la seva distribució geogràfica (1971-2000).

Després es presenten les evolucions temporals projectades amitjanades per al conjunt de tot Catalunya així com a les tres grans zones geogràfiques definides, per tal de tenir una idea general de les futures tendències en les principals variables analitzades.

Finalment, es presenten els mapes amb les variacions projectades en els valors mitjans de les principals variables analitzades per a dos períodes del s. XXI: decenni immediat (2021-2030) i proper trentenni (2021-2050).

5.1 Període de control (1971-2000)

En aquest apartat s'avalua l'habilitat de la metodologia emprada per a desenvolupar la regionalització estadística. Allò que s'avalua és la capacitat de les simulacions obtingudes en representar les característiques climàtiques principals de les variables analitzades per al període de control (1971-2000): mitjanes climàtiques i la seva distribució mitjana climàtica tant espacialment com anual. Per a les variables de TM, TN, TX i PPT també s'analitza la seva distribució mitjana estacional.

A les Taules 5.1, 5.2, 5.3 i 5.4 es representen els valors mitjans climàtics per al període 1971-2000 de totes les variables analitzades obtingudes per a les tres simulacions de control amb els models alemany, americà i canadenc, així com la simulació amb les reanàlisis de l'NCEP-NCAR, comparant-los amb els obtinguts a partir de la malla d'observacions a 1 km de resolució per al conjunt de Catalunya i les zones geogràfiques del Pirineu, Interior i Litoral-Prelitoral, respectivament. A grans trets que en comparació amb la malla d'observacions a 1 km:

- Per al conjunt de Catalunya, totes les simulacions tendeixen a sobreestimar la temperatura mitjana a escala anual i a la tardor i l'hivern, entre 0 i 1,1 $^{\circ}\text{C}$, sent en general gairebé inapreciable aquesta diferència per al model alemany (MPI-ESM) i les reanàlisis de l'NCEP-NCAR. En canvi a l'estiu els valors mitjans són molt semblants i a la primavera solen subestimar entre 0,1 i 0,9 $^{\circ}\text{C}$. Per a la TX i la TN s'observa un comportament molt semblant, amb alguns matisos i amb un rang de sobreestimació o subestimació un pèl superior o inferior, arribant a diferències màximes de l'ordre d'1 $^{\circ}\text{C}$, tot i que els valors mitjans de la TN estan més propers a les observacions que no pas els de la TX.

Taula 5.1: Valors mitjans per al conjunt de **Catalunya** per al període de referència 1971-2000 de totes les variables calculades a partir de cadascuna de les simulacions regionalitzades, així com de la malla d'observacions a 1 km.

Variable (període)	OBS	NCEP-NCAR	MPI-ESM	GFDL-ESM2G	CanESM2
TM (Anual)	12,9 °C	13,1 °C	12,9 °C	13,0 °C	13,0 °C
TM (Hivern: DGF)	5,7 °C	6,8 °C	6,5 °C	6,6 °C	6,6 °C
TM (Primavera: MAM)	11,2 °C	11,1 °C	10,9 °C	10,6 °C	10,3 °C
TM (Estiu: JJA)	20,8 °C	20,7 °C	20,5 °C	20,5 °C	20,7 °C
TM (Tardor: SON)	13,6 °C	13,6 °C	13,5 °C	14,2 °C	14,2 °C
TN (Anual)	7,3 °C	7,5 °C	7,4 °C	7,4 °C	7,4 °C
TN (Hivern: DGF)	1,0 °C	1,7 °C	1,5 °C	1,6 °C	1,5 °C
TN (Primavera: MAM)	5,5 °C	5,5 °C	5,4 °C	4,9 °C	4,6 °C
TN (Estiu: JJA)	14,4 °C	14,3 °C	14,2 °C	14,1 °C	14,3 °C
TN (Tardor: SON)	8,3 °C	8,4 °C	8,2 °C	8,9 °C	8,9 °C
TX (Anual)	18,4 °C	18,6 °C	18,4 °C	18,6 °C	18,6 °C
TX (Hivern: DGF)	10,4 °C	11,7 °C	11,4 °C	11,7 °C	11,6 °C
TX (Primavera: MAM)	17,0 °C	16,6 °C	16,5 °C	16,2 °C	16,0 °C
TX (Estiu: JJA)	27,1 °C	27,0 °C	26,8 °C	26,8 °C	27,1 °C
TX (Tardor: SON)	18,9 °C	18,9 °C	18,7 °C	19,7 °C	19,5 °C
DG (Anual)	55,0 dies	55,5 dies	55,3 dies	55,1 dies	57,2 dies
DFR (Anual)	138,4 dies	139,6 dies	138,4 dies	134,4 dies	139,2 dies
DLG (Anual)	277,6 dies	278,5 dies	277,8 dies	278,8 dies	275,3 dies
TR (Anual)	7,2 dies	6,5 dies	7,8 dies	8,5 dies	9,1 dies
TO (Anual)	0,05 dies	0,03 dies	0,04 dies	0,04 dies	0,05 dies
DC (Anual)	30,4 dies	30,0 dies	33,9 dies	34,1 dies	38,4 dies
DT (Anual)	2,9 dies	2,9 dies	4,6 dies	3,6 dies	5,2 dies
PPT (Anual)	693,9 mm	788,8 mm	763,2 mm	608,2 mm	705,3 mm
PPT (Hivern: DGF)	141,7 mm	219,0 mm	173,4 mm	137,8 mm	143,6 mm
PPT (Primavera: MAM)	185,6 mm	211,8 mm	203,7 mm	163,6 mm	177,9 mm
PPT (Estiu: JJA)	155,9 mm	145,6 mm	155,4 mm	130,0 mm	152,9 mm
PPT (Tardor: SON)	207,5 mm	212,4 mm	229,8 mm	174,4 mm	228,1 mm
LMRS (Anual)	37,8 dies	29,7 dies	29,2 dies	30,8 dies	31,6 dies
n5PPT (Anual)	86,9 dies	96,2 dies	95,0 dies	92,6 dies	92,2 dies
n50PPT (Anual)	1,0 dies	1,2 dies	1,3 dies	0,7 dies	0,9 dies
p95PPT (Anual)	23,2 mm	12,4 mm	11,9 mm	9,5 mm	11,1 mm

Si analitzem les tres àrees geogràfiques en què hem dividit el territori català, trobem un comportament semblant per a les zones interior i litoral-prelitoral. En canvi per a la zona pirinenca, les simulacions tenen una certa tendència a subestimar els valors mitjans anuals així com els estacionals, sobretot la primavera amb diferències de $-1,4$ °C.

- Totes les simulacions tendeixen, per al conjunt de Catalunya, a sobreestimar un poquet en general els índexs climàtics de temperatura que s'han analitzat excepte els DC i DT, en què la sobreestimació és un poc més apreciable i les TO, en què els valors són molt lleugerament subestimats. D'aquest últim índex s'ha de comentar que és un índex molt extrem per la banda alta de la temperatura mínima i que bàsicament el seu registre només s'observa d'una manera apreciable just a zones càlides de la façana litoral com són la costa Central, especialment el pla de Barcelona, i el delta de l'Ebre, així com trams de la costa del Garraf i de la Costa Daurada. Per tant, aquest índex només és d'interès per a aquests sectors i sobretot és útil analitzar-lo perquè està altament relacionat amb les nits d'estiu de molt mal dormir o d'insomni per la combinació de l'elevada temperatura nocturna amb

l'elevada humitat relativa ambiental.

Per a les tres àrees geogràfiques s'observa un comportament similar, tot i que a la zona pirinenca les simulacions sobreestimen de manera força apreciable els DG (amb diferències superiors als +15 dies) i en menor mesura en els DLG (diferències inferiors als -9 dies), ja que les simulacions per a aquesta àrea subestimen els valors mitjans en general de la TN, sobretot a la primavera.

- Per al conjunt de Catalunya, gairebé totes les simulacions tendeixen a sobreestimar la precipitació, tan anual com estacional, encara que aquesta sobreestimació és molt variable en funció del model global emprat: mínima per al model canadenc (CanESM2), apreciable per al model alemany (MPI-ESM) i força apreciable per a les reanàlisis (NCEP-NCAR). En canvi el model americà (GFDL-ESM2G) es queda per sota dels valors mitjans observats.

Per al Pirineu i les zones interior i litoral-prelitoral, s'observa un comportament gairebé idèntic tot i que amb alguns matisos, com per exemple entre els valors simulats pel model alemany i les reanàlisis els quals s'intercanvien la importància de la sobreestimació per al Pirineu. A la zona interior a part del model americà, el canadenc també reproduïx valors més baixos que els observats, tot i que molt lleugerament.

- En relació amb els índexs climàtics de la precipitació analitzats, el comportament és molt divers, es queden curtes les simulacions en el valor mitjà de la LMRS i el p95PPT. En aquest últim cas hi ha una relació amb el fet que les simulacions donen un valor per als n5PPT més elevat que l'observat, amb valors superiors als 10 dies en mitjana, i per tant les simulacions estan donant molt més dies de pluja feble que aleshores fan baixar el valor del percentil 95 dels dies amb precipitació apreciable (dies amb $PPT \geq 0,1$ mm). En canvi, el valor mitjà per als n50PPT està força ben capturat per la majoria de simulacions.

Per a les tres àrees geogràfiques del país, tenim un comportament gairebé idèntic.

En els següents apartats es presenten els camps mitjans del període 1971-2000 per a les principals variables analitzades, comparant els obtinguts a partir de la malla d'observacions a 1 km de resolució amb els obtinguts a partir del percentil 50 de les tres simulacions de control desenvolupades amb els models alemany, americà i canadenc així com el camp de diferència entre els valors simulats i els observats, per tal de veure quines zones del territori són millor o pitjor reproduïdes per la regionalització estadística desenvolupada.

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, excepte al Pirineu on clarament és queda per davall dels valors observats. Aquest fet, 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, de manera que es consideren acceptables. Aquests biaixos s'han mantingut pràcticament constants durant els darrers decennis i han mostrat ser difícils d'eliminar, tot i que l'habilitat dels models globals ha millorat notablement amb els anys, sobretot per a les variables de nivells alts de la troposfera. Aquests biaixos en la temperatura estan estretament relacionats per exemple amb l'acoblament entre l'atmosfera i la superfície terrestre com en el model meteorològic global IFS (*Integrated Forecasting System*) del Centre Europeu de Predicció a Mitjà Termini (ECMWF, *European Centre for Medium-range*

Taula 5.2: *Valors mitjans a la zona geogràfica del Pirineu per al període de referència 1971-2000 de totes les variables calculades a partir de cadascuna de les simulacions regionalitzades, així com de la malla d'observacions a 1 km.*

Variable (període)	OBS	NCEP-NCAR	MPI-ESM	GFDL-ESM2G	CanESM2
TM (Anual)	9,8 °C	9,1 °C	9,2 °C	9,4 °C	9,3 °C
TM (Hivern: DGF)	2,9 °C	3,0 °C	2,8 °C	3,1 °C	3,0 °C
TM (Primavera: MAM)	8,1 °C	7,0 °C	7,2 °C	6,9 °C	6,7 °C
TM (Estiu: JJA)	17,7 °C	16,7 °C	16,9 °C	16,9 °C	17,1 °C
TM (Tardor: SON)	10,4 °C	9,6 °C	9,9 °C	10,6 °C	10,6 °C
TN (Anual)	4,1 °C	3,7 °C	3,8 °C	3,8 °C	3,8 °C
TN (Hivern: DGF)	-2,0 °C	-2,0 °C	-2,1 °C	-1,9 °C	-2,0 °C
TN (Primavera: MAM)	2,3 °C	1,6 °C	1,7 °C	1,3 °C	1,1 °C
TN (Estiu: JJA)	11,0 °C	10,5 °C	10,6 °C	10,5 °C	10,8 °C
TN (Tardor: SON)	4,9 °C	4,5 °C	4,7 °C	5,3 °C	5,3 °C
TX (Anual)	15,6 °C	14,5 °C	14,7 °C	15,0 °C	15,0 °C
TX (Hivern: DGF)	7,9 °C	7,9 °C	7,8 °C	8,2 °C	8,1 °C
TX (Primavera: MAM)	13,9 °C	12,4 °C	12,6 °C	12,4 °C	12,3 °C
TX (Estiu: JJA)	24,4 °C	22,9 °C	23,2 °C	23,2 °C	23,4 °C
TX (Tardor: SON)	16,0 °C	14,8 °C	15,1 °C	16,0 °C	16,0 °C
DG (Anual)	95,1 dies	108,0 dies	108,7 dies	106,8 dies	110,2 dies
DFR (Anual)	196,2 dies	207,1 dies	205,9 dies	201,9 dies	204,3 dies
DLG (Anual)	214,0 dies	207,4 dies	206,5 dies	209,6 dies	205,0 dies
TR (Anual)	0,2 dies	0,1 dies	0,2 dies	0,2 dies	0,3 dies
TO (Anual)	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies
DC (Anual)	16,1 dies	13,1 dies	16,2 dies	15,4 dies	18,4 dies
DT (Anual)	0,9 dies	0,8 dies	1,5 dies	1,0 dies	1,6 dies
PPT (Anual)	886,5 mm	997,8 mm	1020,2 mm	853,8 mm	953,3 mm
PPT (Hivern: DGF)	173,3 mm	256,6 mm	239,6 mm	194,7 mm	201,7 mm
PPT (Primavera: MAM)	233,5 mm	264,4 mm	272,1 mm	235,9 mm	242,6 mm
PPT (Estiu: JJA)	233,9 mm	214,0 mm	217,4 mm	189,9 mm	231,7 mm
PPT (Tardor: SON)	241,6 mm	256,3 mm	289,4 mm	229,5 mm	274,0 mm
LMRS (Anual)	31,0 dies	21,9 dies	21,9 dies	22,2 dies	22,3 dies
n5PPT (Anual)	104,8 dies	116,5 dies	115,5 dies	116,0 dies	112,6 dies
n50PPT (Anual)	0,6 dies	0,6 dies	0,6 dies	0,3 dies	0,4 dies
p95PPT (Anual)	23,1 mm	14,7 mm	15,3 mm	12,7 mm	14,4 mm

Weather Forecasts) (Haiden et al., 2018).

En detall es té segons l'escala temporal considerada el següent:

- Anual: Les diferències per a la TM es troben entre els -3,0 °C dels cims del Pirineu occidental i els +2,0 °C del Montseny (Figura 5.1), tot i que la majoria del territori es troba entre -0,5 i +0,5 °C. Per a la TN, de -2,5 °C al Pirineu occidental fins a +1,5 °C al Montseny i nord de l'Alt Empordà i la Ribera d'Ebre (Figura 5.6). Per a la TX, de -3,5 °C al Pirineu occidental fins a +2,5 °C al Montseny (Figura 5.11).

- Hivern (DGF): Les diferències per a la TM van de -3,0 °C als cims del Pirineu occidental fins a +2,5 del Montseny i el Montsec (Figura 5.2), amb uns dos terços aproximadament del país amb diferències entre els 0 i +1,0 °C. Per a la TN, de -3,0 °C del Pirineu occidental fins a +2,5 °C al nord-oest de la Ribera d'Ebre °C (Figura 5.7). Per a la TX, de -3,5 °C del Pirineu occidental fins a +3,5 °C del Montsec (Figura 5.12).

Taula 5.3: Valors mitjans a la zona geogràfica **Interior** per al període de referència 1971-2000 de totes les variables calculades a partir de cadascuna de les simulacions regionalitzades, així com de la malla d'observacions a 1 km.

Variable (període)	OBS	NCEP-NCAR	MPI-ESM	GFDL-ESM2G	CanESM2
TM (Anual)	13,2 °C	13,4 °C	13,5 °C	13,7 °C	13,6 °C
TM (Hivern: DGF)	5,3 °C	6,6 °C	6,6 °C	6,7 °C	6,7 °C
TM (Primavera: MAM)	11,8 °C	11,5 °C	11,6 °C	11,4 °C	11,0 °C
TM (Estiu: JJA)	21,8 °C	21,5 °C	21,7 °C	21,6 °C	21,9 °C
TM (Tardor: SON)	13,8 °C	13,8 °C	13,9 °C	14,8 °C	14,7 °C
TN (Anual)	7,4 °C	7,5 °C	7,6 °C	7,6 °C	7,6 °C
TN (Hivern: DGF)	0,7 °C	1,6 °C	1,6 °C	1,6 °C	1,5 °C
TN (Primavera: MAM)	5,5 °C	5,5 °C	5,6 °C	5,2 °C	4,9 °C
TN (Estiu: JJA)	14,8 °C	14,6 °C	14,7 °C	14,6 °C	14,8 °C
TN (Tardor: SON)	8,3 °C	8,3 °C	8,4 °C	9,1 °C	9,1 °C
TX (Anual)	19,1 °C	19,2 °C	19,4 °C	19,7 °C	19,6 °C
TX (Hivern: DGF)	10,0 °C	11,6 °C	11,7 °C	11,9 °C	11,9 °C
TX (Primavera: MAM)	18,2 °C	17,4 °C	17,6 °C	17,4 °C	17,2 °C
TX (Estiu: JJA)	28,8 °C	28,4 °C	28,7 °C	28,7 °C	29,0 °C
TX (Tardor: SON)	19,3 °C	19,2 °C	19,5 °C	20,5 °C	20,4 °C
DG (Anual)	44,8 dies	42,0 dies	41,7 dies	42,5 dies	43,9 dies
DFR (Anual)	138,6 dies	136,6 dies	135,7 dies	131,2 dies	137,0 dies
DLG (Anual)	278,2 dies	283,8 dies	282,4 dies	283,9 dies	279,2 dies
TR (Anual)	1,7 dies	1,2 dies	1,9 dies	2,0 dies	2,3 dies
TO (Anual)	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies	0,00 dies
DC (Anual)	34,3 dies	31,5 dies	36,7 dies	36,1 dies	40,8 dies
DT (Anual)	2,6 dies	2,5 dies	4,2 dies	3,1 dies	4,8 dies
PPT (Anual)	551,6 mm	607,3 mm	567,9 mm	453,1 mm	535,4 mm
PPT (Hivern: DGF)	104,4 mm	161,6 mm	117,3 mm	95,4 mm	100,3 mm
PPT (Primavera: MAM)	155,6 mm	164,1 mm	155,2 mm	123,5 mm	135,2 mm
PPT (Estiu: JJA)	123,3 mm	113,8 mm	123,4 mm	100,8 mm	119,7 mm
PPT (Tardor: SON)	165,8 mm	166,2 mm	171,4 mm	131,5 mm	178,1 mm
LMRS (Anual)	41,1 dies	33,7 dies	32,8 dies	34,4 dies	36,0 dies
n5PPT (Anual)	78,7 dies	88,2 dies	87,1 dies	83,0 dies	84,4 dies
n50PPT (Anual)	0,3 dies	0,3 dies	0,4 dies	0,2 dies	0,3 dies
p95PPT (Anual)	20,7 mm	10,0 mm	9,4 mm	7,5 mm	8,8 mm

- Primavera (MAM): Les diferències per a la TM es troben entre $-4,0\text{ °C}$ (cims del Pirineu occidental) i $+1,5\text{ °C}$ al Montseny, amb gairebé dos terços del territori amb una diferència per davall dels $-0,5\text{ °C}$ (Figura 5.3). Per a la TN són entre $-3,5\text{ °C}$ dels cims del Pirineu occidental i $+1,0\text{ °C}$ al Montseny, nord de l'Alt Empordà i nord-oest de la Ribera d'Ebre (Figura 5.8). Finalment per a la TX les diferències són molt importants, arribant a valors propers als $-5,5\text{ °C}$ cap a les muntanyes entre Andorra i Catalunya i per l'altra banda s'arriben a diferències superiors als $+1,0\text{ °C}$ al Montseny (Figura 5.13).

- Estiu (JJA): Les diferències per a la TM són entre $-3,0\text{ °C}$ dels cims del Pirineu occidental fins a valors superiors a $+1,5\text{ °C}$ al Montseny (Figura 5.4), amb els valors negatius dominant gairebé dos terços del país. Per a la TN, de $-2,0\text{ °C}$ a punts de la Cerdanya fins a per damunt de $+1,0\text{ °C}$ al Montseny i punts de l'Alt Empordà, el Vallès Occidental i la Ribera d'Ebre (Figura 5.9). Per a la TX les diferències són més importants assolint valors propers als $-5,5\text{ °C}$ a les muntanyes entre Andorra i Catalunya i per una altra banda amb valors superiors als $+2,0\text{ °C}$ a la

Taula 5.4: *Valors mitjans a la zona geogràfica **Litoral-Prelitoral** per al període de referència 1971-2000 de totes les variables calculades a partir de cadascuna de les simulacions regionalitzades, així com de la malla d'observacions a 1 km.*

Variable (període)	OBS	NCEP-NCAR	MPI-ESM	GFDL-ESM2G	CanESM2
TM (Anual)	14,9 °C	15,0 °C	15,1 °C	15,3 °C	15,2 °C
TM (Hivern: DGF)	8,1 °C	9,0 °C	9,1 °C	9,2 °C	9,1 °C
TM (Primavera: MAM)	13,1 °C	13,2 °C	13,2 °C	12,9 °C	12,5 °C
TM (Estiu: JJA)	22,3 °C	22,2 °C	22,4 °C	22,3 °C	22,5 °C
TM (Tardor: SON)	15,8 °C	15,7 °C	15,8 °C	16,6 °C	16,5 °C
TN (Anual)	9,7 °C	9,8 °C	9,8 °C	9,9 °C	9,8 °C
TN (Hivern: DGF)	3,5 °C	4,2 °C	4,2 °C	4,2 °C	4,2 °C
TN (Primavera: MAM)	7,7 °C	7,7 °C	7,8 °C	7,4 °C	7,1 °C
TN (Estiu: JJA)	16,7 °C	16,4 °C	16,5 °C	16,4 °C	16,5 °C
TN (Tardor: SON)	10,8 °C	10,7 °C	10,7 °C	11,5 °C	10,8 °C
TX (Anual)	20,0 °C	20,2 °C	20,4 °C	20,6 °C	20,6 °C
TX (Hivern: DGF)	12,7 °C	13,8 °C	13,9 °C	14,1 °C	14,1 °C
TX (Primavera: MAM)	18,5 °C	18,2 °C	18,6 °C	18,3 °C	18,0 °C
TX (Estiu: JJA)	28,0 °C	28,0 °C	28,2 °C	28,2 °C	28,5 °C
TX (Tardor: SON)	20,7 °C	20,7 °C	20,9 °C	21,8 °C	21,6 °C
DG (Anual)	17,8 dies	16,5 dies	15,9 dies	17,1 dies	17,2 dies
DFR (Anual)	95,8 dies	91,8 dies	90,4 dies	86,6 dies	92,5 dies
DLG (Anual)	324,5 dies	327,6 dies	327,7 dies	326,7 dies	324,9 dies
TR (Anual)	7,5 dies	7,0 dies	8,5 dies	9,1 dies	9,9 dies
TO (Anual)	0,04 dies	0,02 dies	0,03 dies	0,03 dies	0,04 dies
DC (Anual)	27,1 dies	27,8 dies	32,5 dies	31,5 dies	36,9 dies
DT (Anual)	1,1 dies	1,5 dies	2,5 dies	1,8 dies	3,0 dies
PPT (Anual)	657,6 mm	770,0 mm	726,8 mm	549,3 mm	656,4 mm
PPT (Hivern: DGF)	146,3 mm	229,6 mm	167,8 mm	129,0 mm	134,1 mm
PPT (Primavera: MAM)	172,6 mm	205,6 mm	191,2 mm	141,4 mm	163,6 mm
PPT (Estiu: JJA)	122,2 mm	118,3 mm	135,6 mm	109,4 mm	121,5 mm
PPT (Tardor: SON)	213,2 mm	214,4 mm	231,6 mm	167,9 mm	234,2 mm
LMRS (Anual)	40,0 dies	32,6 dies	32,0 dies	34,4 dies	35,4 dies
n5PPT (Anual)	78,9 dies	86,6 dies	85,0 dies	81,6 dies	82,1 dies
n50PPT (Anual)	0,7 dies	0,9 dies	1,0 dies	0,5 dies	0,7 dies
p95PPT (Anual)	25,1 mm	12,3 mm	11,2 mm	8,6 mm	10,4 mm

zona de Sant Llorenç del Munt (Vallès Occidental) i molt a prop d'aquest llindar al Montseny i el Montsec (Figura 5.14).

- Tardor (SON): Les diferències per a la TM són gairebé totes positives per al conjunt de Catalunya, exceptuant els cims del Pirineu així com el massís del Port i les muntanyes de Prades. Així les diferències es troben entre $-2,5$ °C d'alguns cims del Pirineu occidental i superiors a $+2,5$ °C del Montseny (Figura 5.5). Per a la TN, es troben entre $-2,0$ °C cap a les muntanyes que separen Andorra de Catalunya i superiors a $+2,0$ °C al Montseny, nord de l'Alt Empordà i nord-oest de la Ribera d'Ebre (Figura 5.10). Per a la TX, entre $-4,0$ °C als cims del Pirineu occidental i $+3,0$ °C al Montseny (Figura 5.15).

Per a la precipitació pot concloure's que existeix una tendència clara a sobreestimar la precipitació a tota la zona pirinenca, especialment al Pirineu occidental i sobretot als seus cims. 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 va-

riables d'unes zones a unes altres. En detall es té segons l'escala temporal considerada el següent:

- Anual: Les diferències es troben entre valors per davall dels -150 mm al Montsec, sud del Ripollès i punts de la Cerdanya i el Berguedà, i valors superiors als $+600$ mm al nord del Pallars Sobirà i nord del Ripollès, amb errors relatius en aquestes zones propers al $+50$ % del valor mitjà anual. Gairebé a dos terços del país els valors mitjans estan subestimats i per a prop d'un 80 % del territori les diferències es troben entre -100 i $+100$ mm (Figura 5.16).

- Hivern (DGF): Destaca el comportament oposat entre la meitat occidental del país, amb una sobreestimació gairebé general dels valors mitjans i la meitat oriental amb una subestimació gairebé general. De nou les diferències positives més importants es troben al Pirineu occidental amb valors superiors a $+200$ mm al nord del Pallars Sobirà, i per l'altra banda, valors inferiors als -50 mm a la zona de la serralada Transversal (Figura 5.17).

- Primavera (MAM): Per a gran part del territori, uns dos terços, es produeixen diferències negatives amb valors entre -50 i 0 mm. Les diferències negatives més importants es donen al Prepirineu oriental, amb valors inferiors a -50 mm mentre que les positives es tornen a donar al Pirineu occidental amb valors superiors a $+200$ mm al nord del Pallars Sobirà (Figura 5.18).

- Estiu (JJA): Sobreestimacions apreciables dels valors mitjans a gran part del litoral i prelitoral, sobretot de la meitat sud i destacades al Pirineu occidental i cims del Pirineu oriental. En canvi tot el Prepirineu i sobretot el triangle format per les comarques del Berguedà, el Ripollès i Osona. Així les diferències se situen entre els més de $+100$ mm al nord del Ripollès i fins per davall de -75 mm puntualment a la vall del Freser (Figura 5.19).

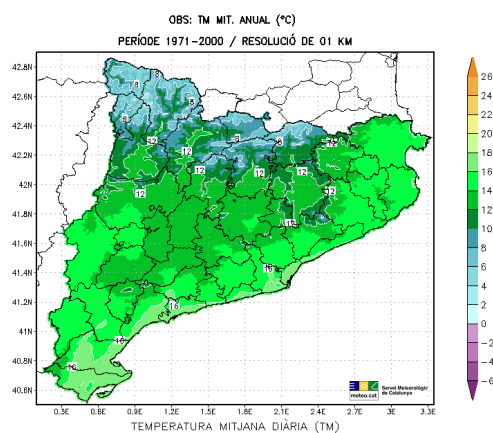
- Tardor (SON): En general els valors mitjans estan sobreestimats a més de dos terços del territori, destacant valors per damunt de $+150$ mm al nord del Ripollès i per l'altra banda valors per davall de -50 mm a la plana Ceretana, a la Cerdanya (Figura 5.20).

Per als diferents índexs climàtics de temperatura calculats es pot concloure que les sobreestimacions i subestimacions 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 (Figura 5.21) i els DT (Figura 5.22) o valors elevats de la TN, com són les TR (Figura 5.26) o les TO (Figura 5.27), tot i que en aquest últim cas és un índex que per ara té interès només per a la façana litoral. Un cas important a destacar és la sobreestimació significativa dels DG (Figura 5.23) i DFR (Figura 5.24) 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.

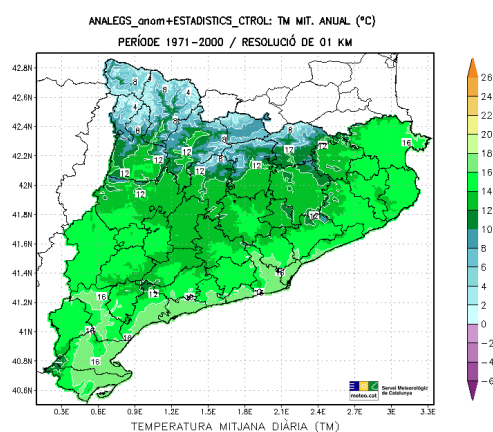
Finalment, per als índexs climàtics pluviomètrics es té un comportament molt heterogeni per a cadascun dels índexs analitzats, la qual cosa molt segurament com a conseqüència de la gran variabilitat temporal i espacial de la precipitació. Així, es té un comportament un pèl caòtic en les diferències entre els valors observats i els simulats per als n5PPT (Figura 5.28), una lleugera subestimació dels n50PPT (Figura 5.29) a gran part del territori, exceptuant una part important de la zona prelitoral i de la cantonada nord-est del país, amb sobreestimacions superiors als $+1,5$ dies. Per a la LMRS (Figura 5.30), s'observa que les simulacions regionalitzades es queden curtes a l'hora de reproduir el seu valor general i per al p95PPT (Figura 5.31), la subestimació és pràcticament general a tot el domini d'estudi.

5.1.1 Temperatura Mitjana (TM)

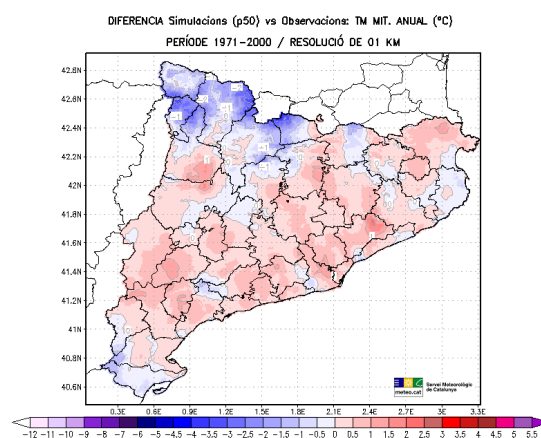
Temperatura mitjana anual



(a) Malla d'observacions a 1 km



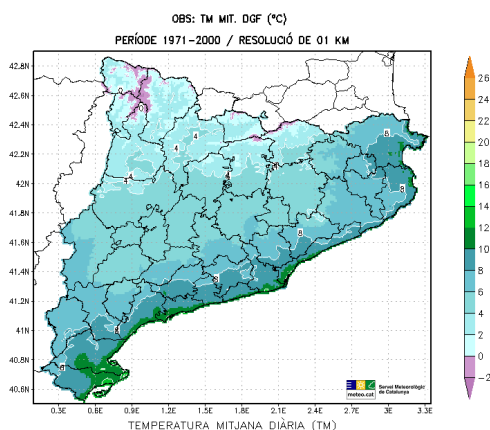
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



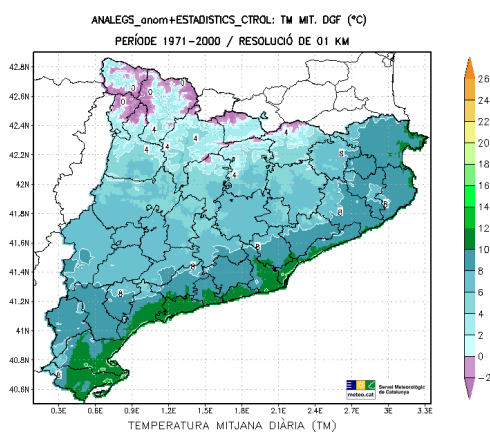
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.1: Camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

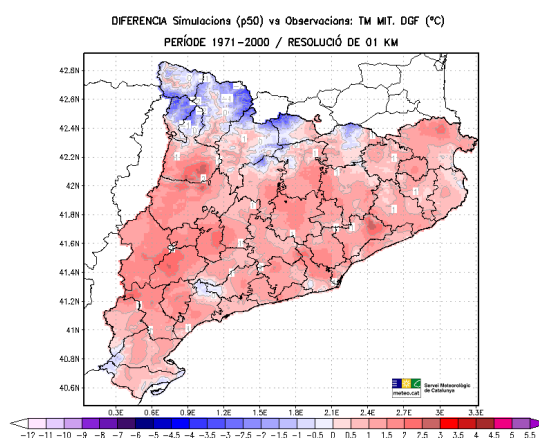
Temperatura mitjana d'hivern



(a) Malla d'observacions a 1 km



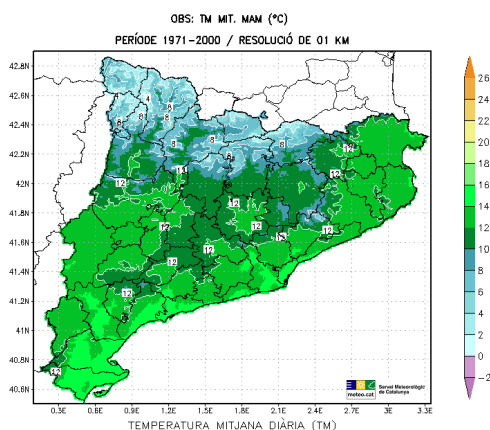
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



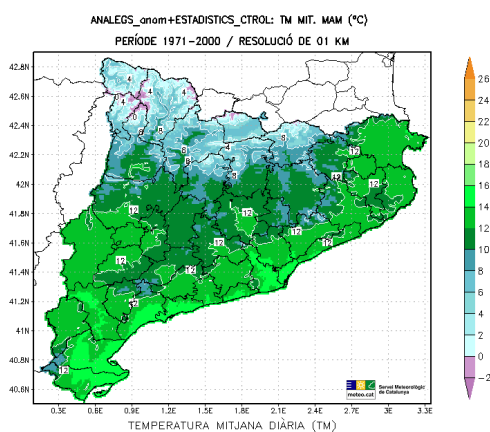
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.2: Camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) d'hivern (DGF) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

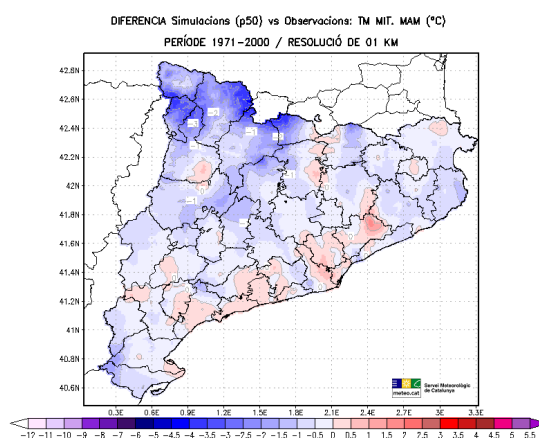
Temperatura mitjana de primavera



(a) Malla d'observacions a 1 km



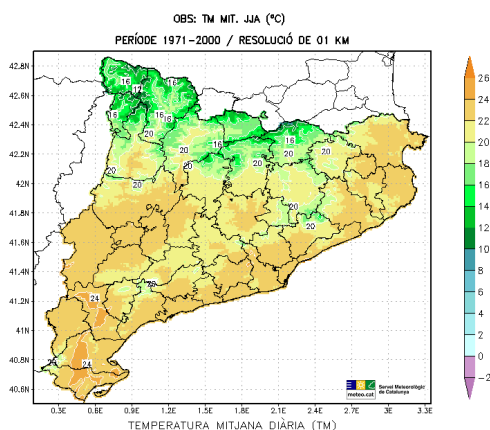
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



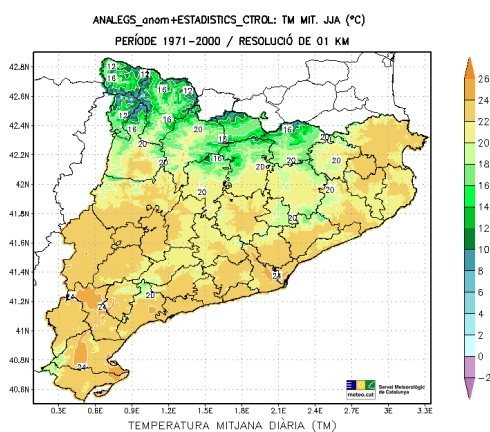
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.3: Camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) de primavera (MAM) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

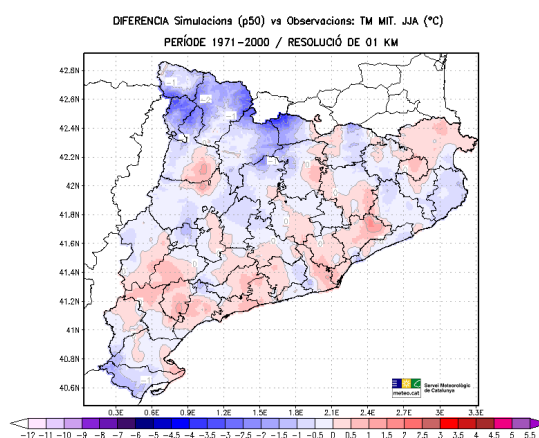
Temperatura mitjana d'estiu



(a) Malla d'observacions a 1 km



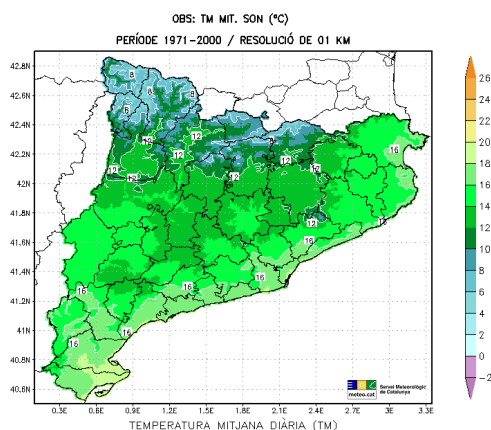
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



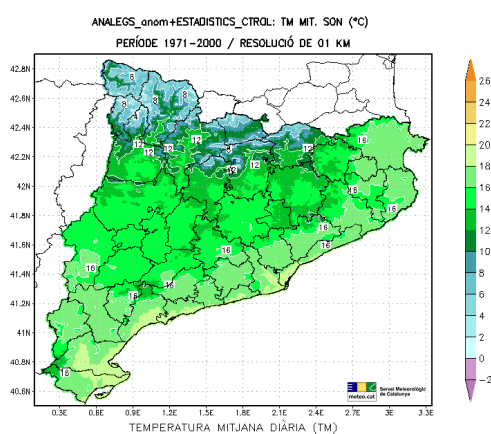
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.4: Camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) d'estiu (JJA) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

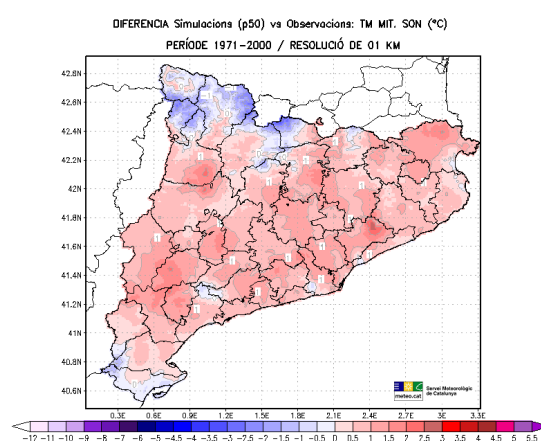
Temperatura mitjana de tardor



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

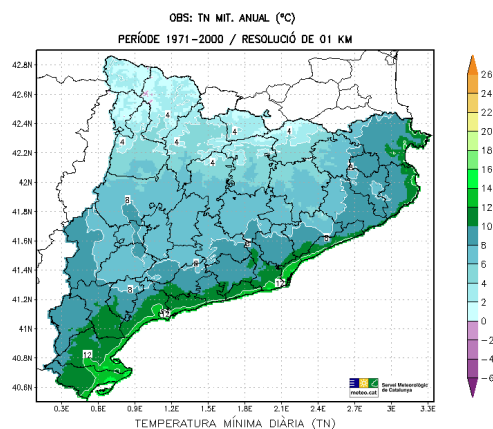


(c) Diferència entre simulacions i observacions

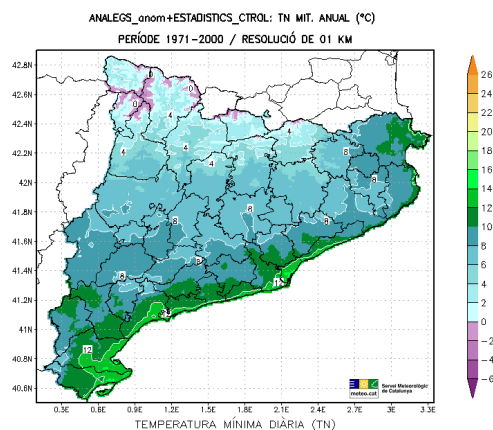
Figura 5.5: Camps espacials (en °C) de la temperatura mitjana (TM) de tardor (SON) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.2 Temperatura Mínima (TN)

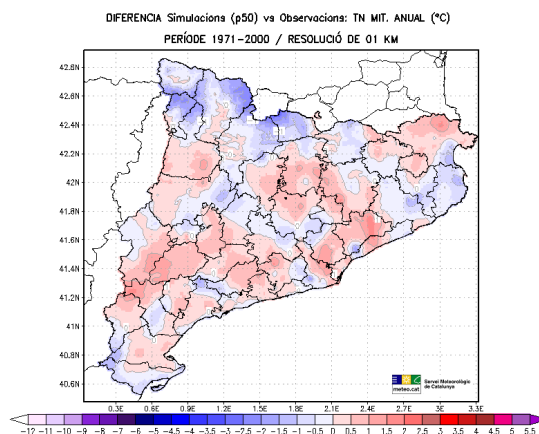
Temperatura mínima mitjana anual



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.6: Camps espacials (en °C) de la temperatura mínima (TN) mitjana anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura mínima mitjana d'hivern

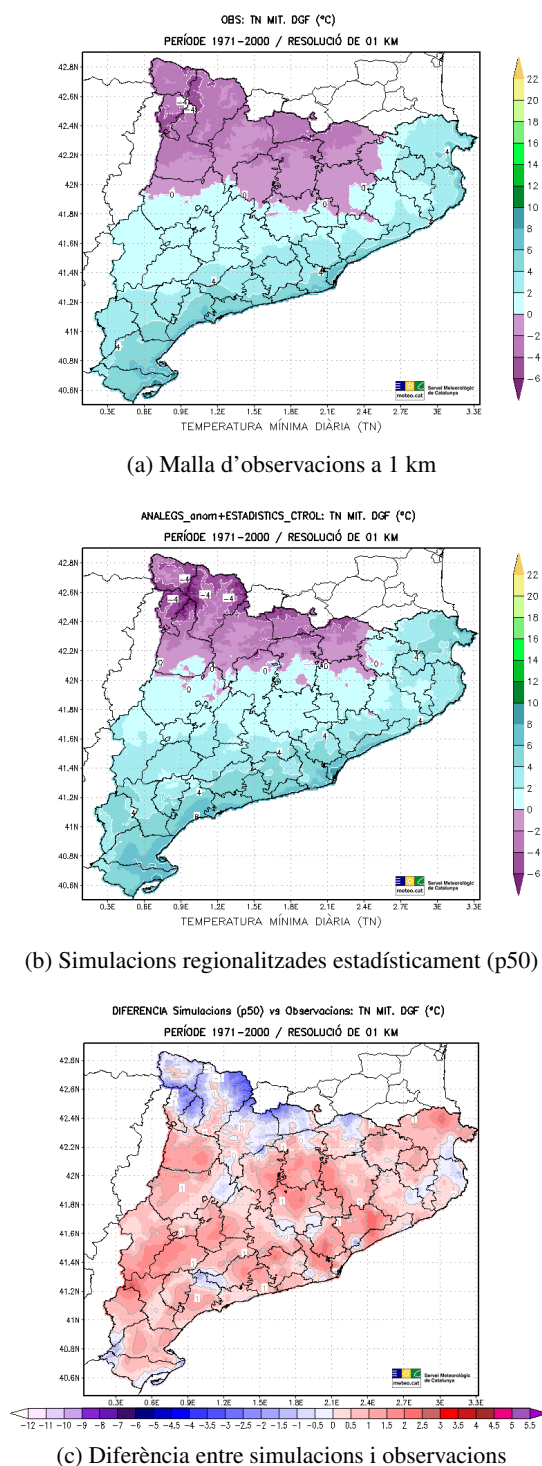


Figura 5.7: Camps espacials (en °C) de la temperatura mínima (TN) mitjana d'hivern (DGF) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura mínima mitjana de primavera

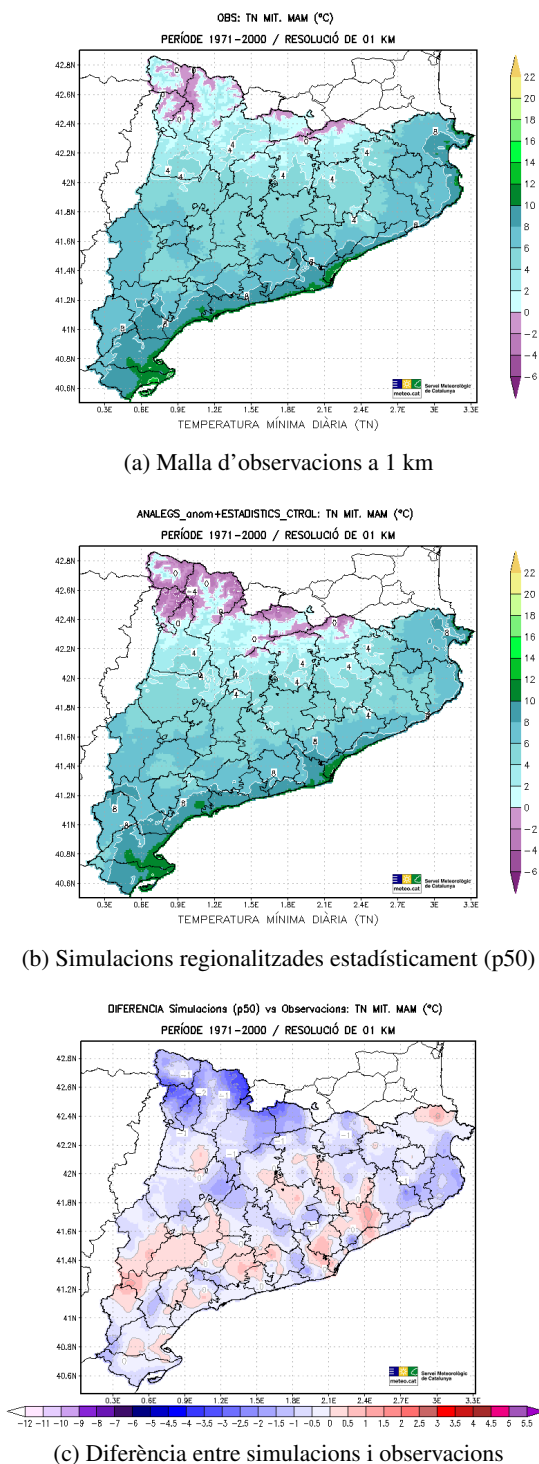
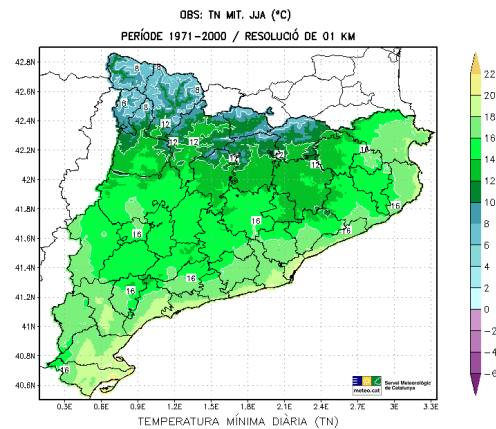
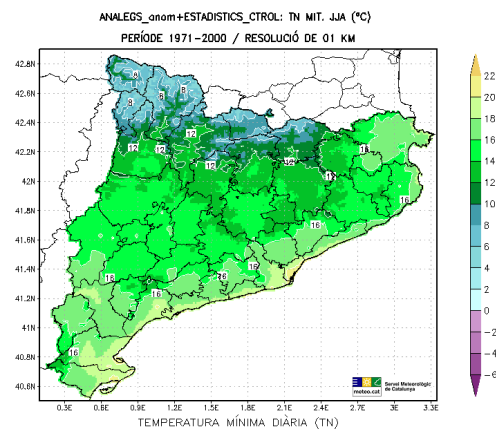


Figura 5.8: Camps espacials (en °C) de la temperatura mínima (TN) mitjana de primavera (MAM) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

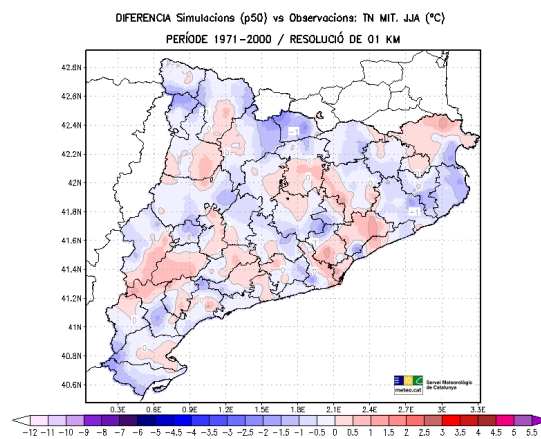
Temperatura mínima mitjana d'estiu



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.9: Camps espacials (en °C) de la temperatura mínima (TN) mitjana d'estiu (JJA) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura mínima mitjana de tardor

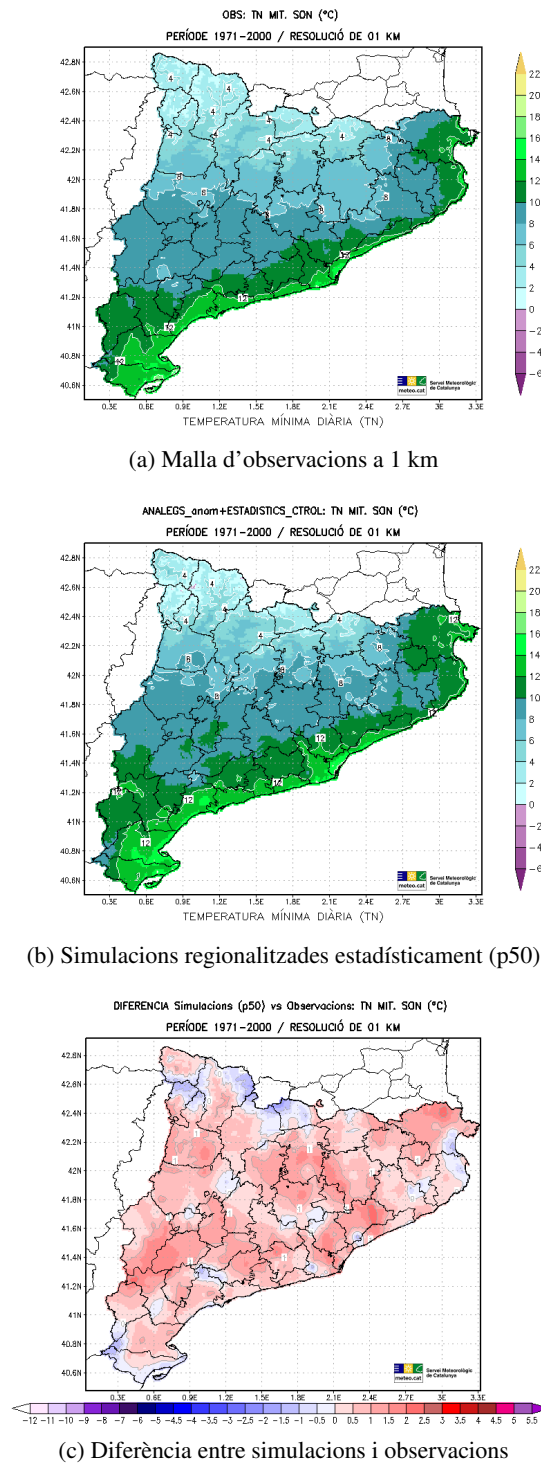
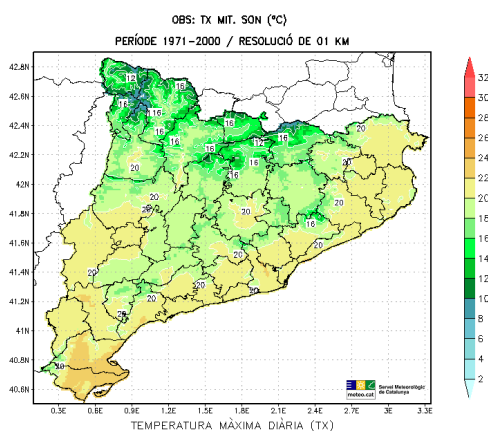


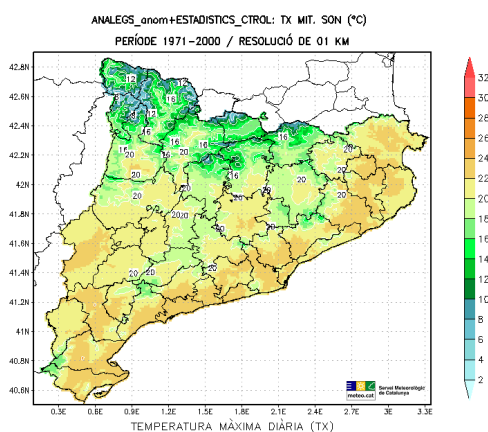
Figura 5.10: Camps espacials (en °C) de la temperatura mínima (TN) mitjana d'estiu (JJA) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.3 Temperatura Màxima (TX)

Temperatura màxima mitjana anual



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

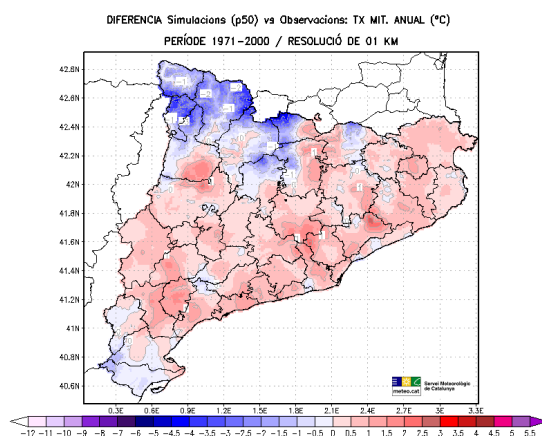


Figura 5.11: Camps espacials (en °C) de la temperatura màxima (TX) mitjana anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura màxima mitjana d'hivern

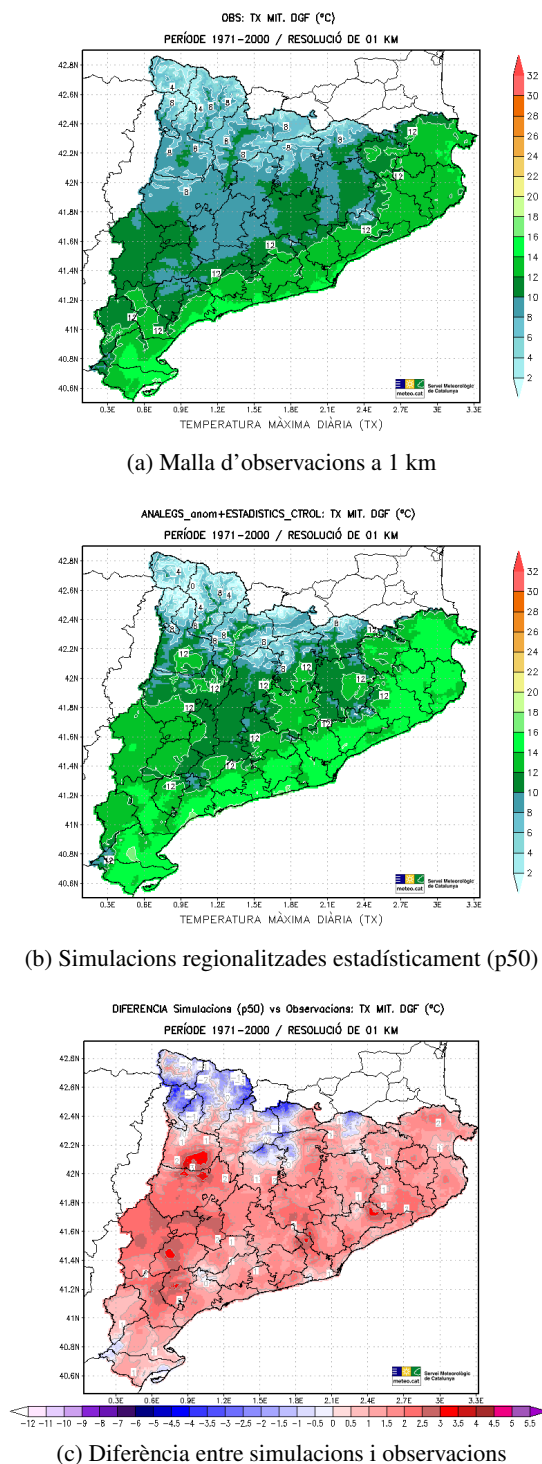


Figura 5.12: Camps espacials (en °C) de la temperatura màxima (TX) mitjana d'hivern (DGF) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura màxima mitjana de primavera

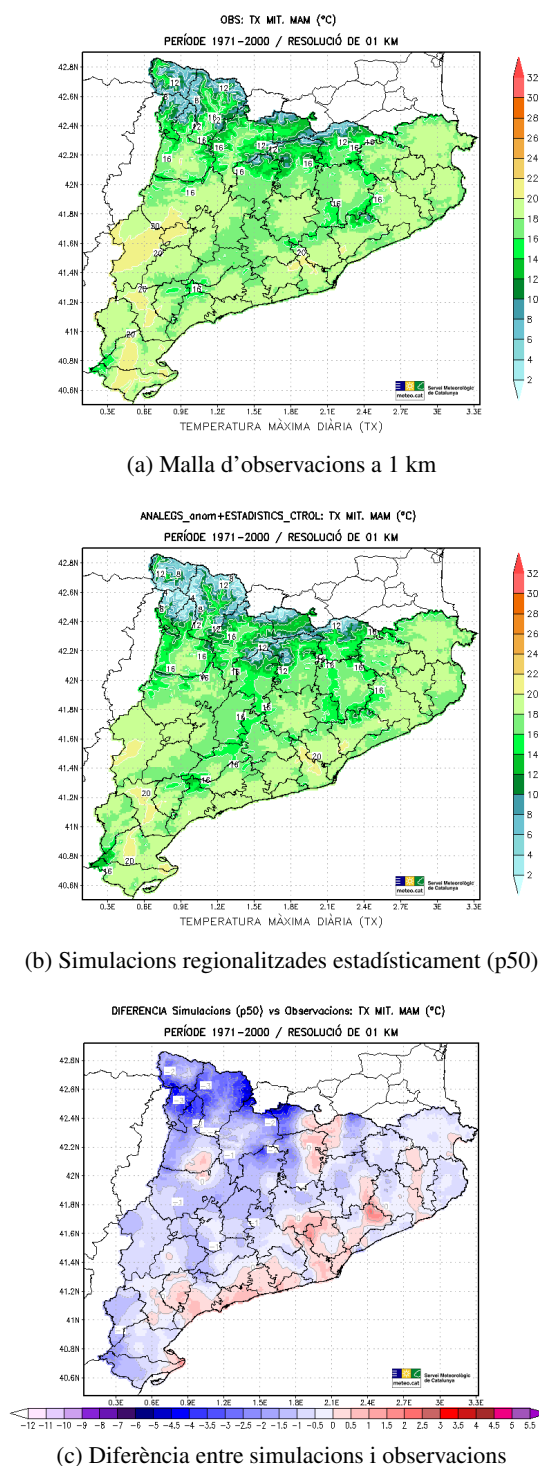
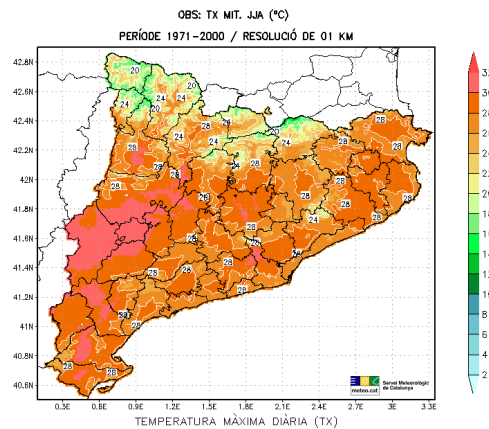
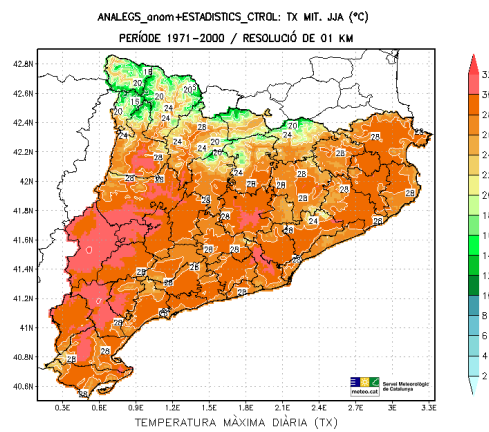


Figura 5.13: Camps espacials (en °C) de la temperatura màxima (TX) mitjana de primavera (MAM) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

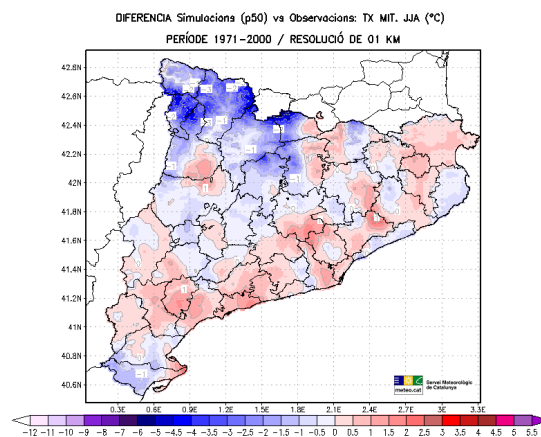
Temperatura màxima mitjana d'estiu



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.14: Camps espacials (en °C) de la temperatura màxima (TX) mitjana d'estiu (JJA) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

Temperatura màxima mitjana de tardor

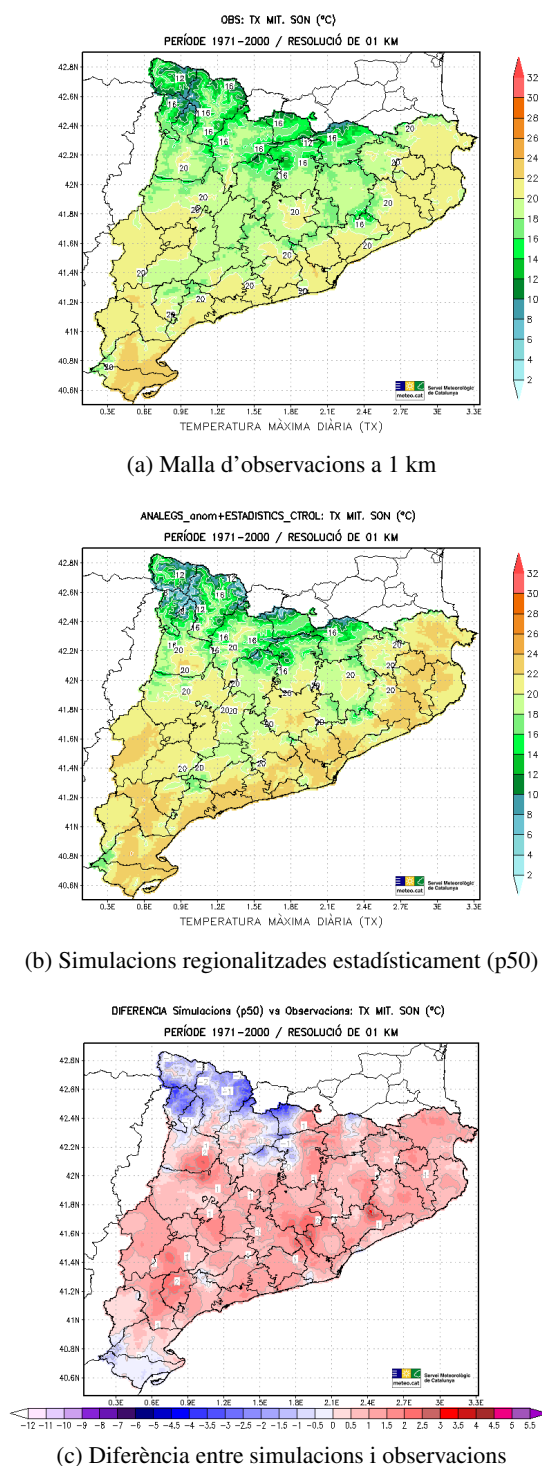
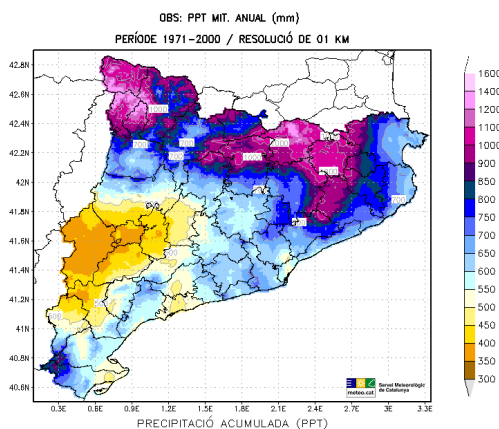


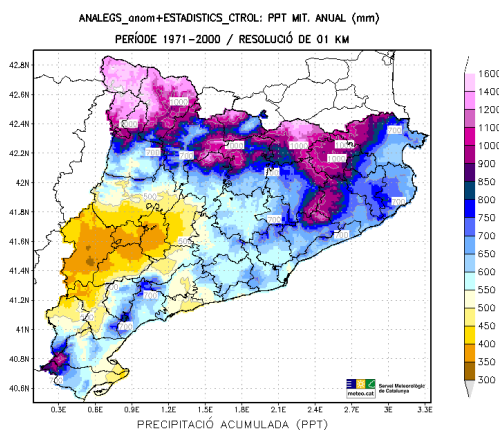
Figura 5.15: Camps espacials (en °C) de la temperatura màxima (TX) mitjana de tardor (SON) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.4 Precipitació acumulada (PPT)

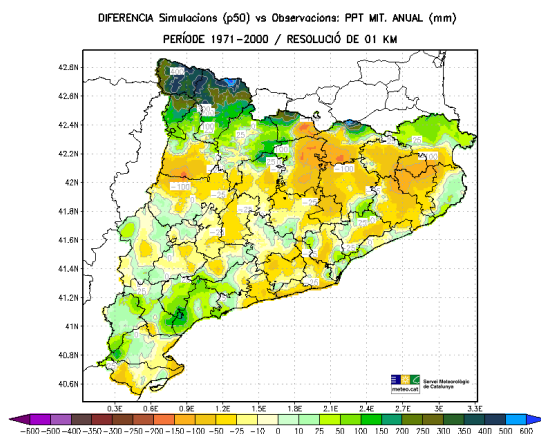
Precipitació mitjana anual



(a) Malla d'observacions a 1 km



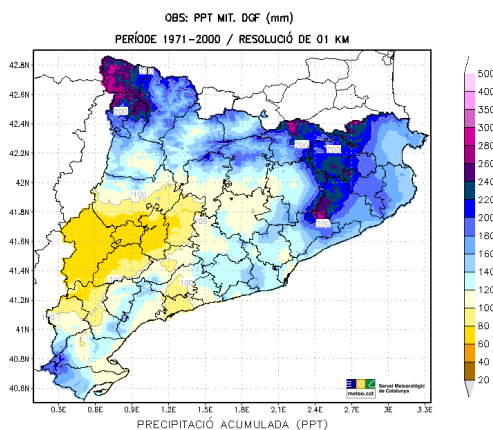
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



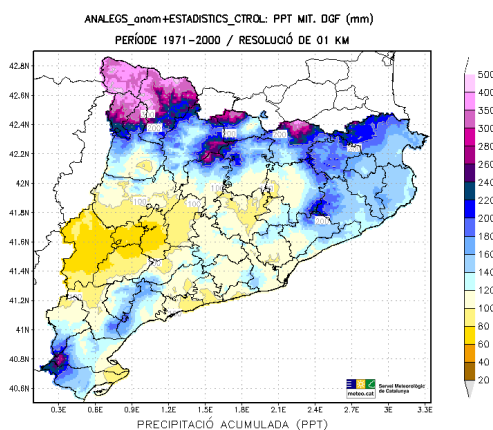
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.16: Camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana anual per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

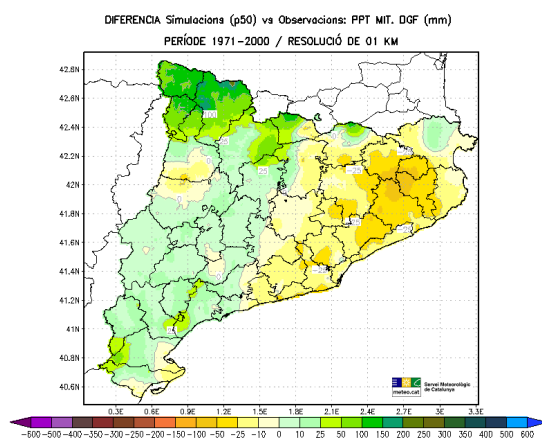
Precipitació mitjana d'hivern



(a) Malla d'observacions a 1 km



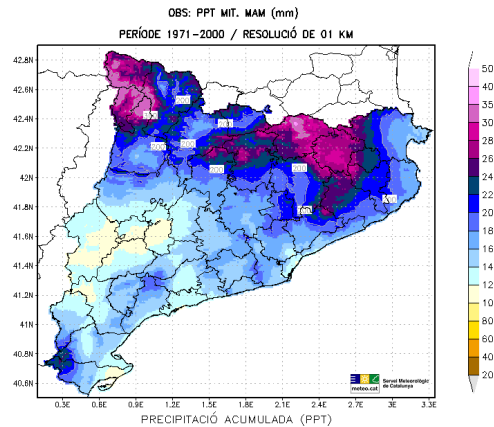
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



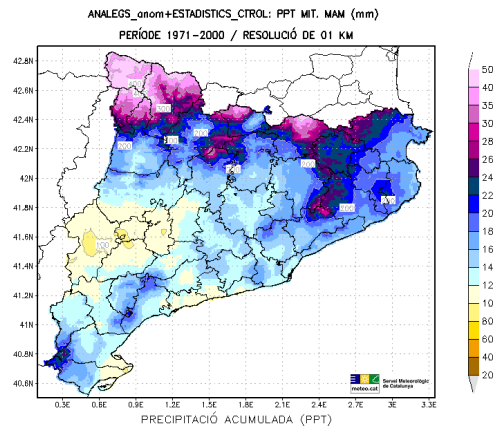
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.17: Camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana d'hivern (DGF) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

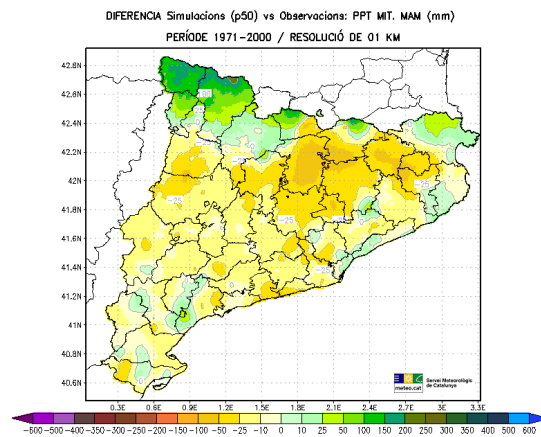
Precipitació mitjana de primavera



(a) Malla d'observacions a 1 km



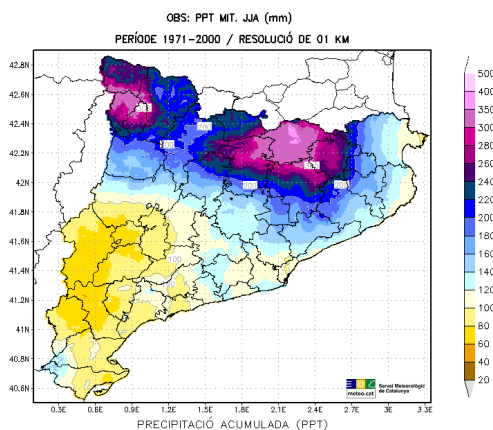
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



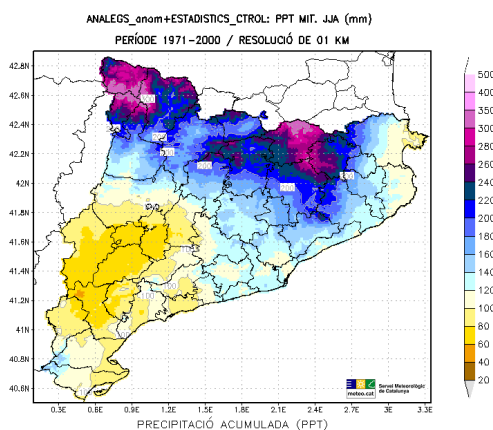
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.18: Camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana de primavera (MAM) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

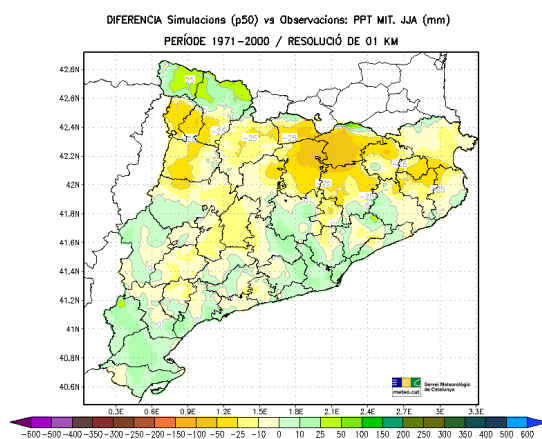
Precipitació mitjana d'estiu



(a) Malla d'observacions a 1 km



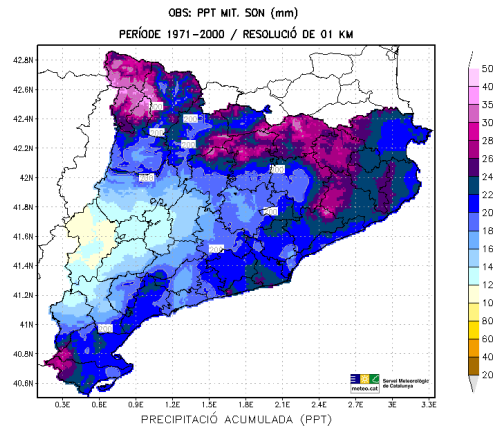
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



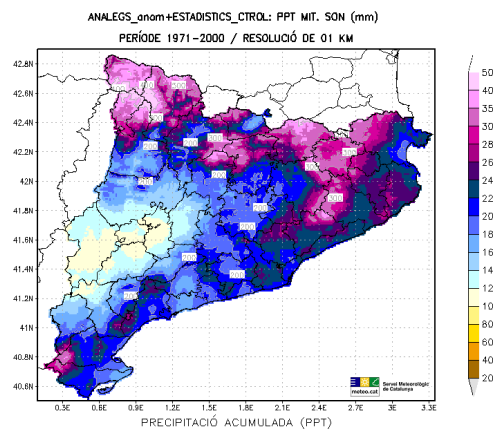
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.19: Camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana d'estiu (JJA) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

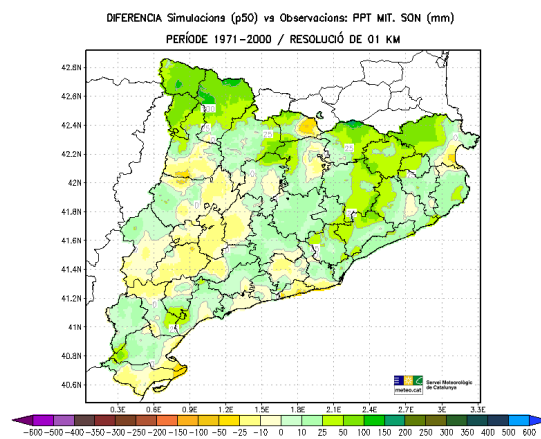
Precipitació mitjana de tardor



(a) Malla d'observacions a 1 km



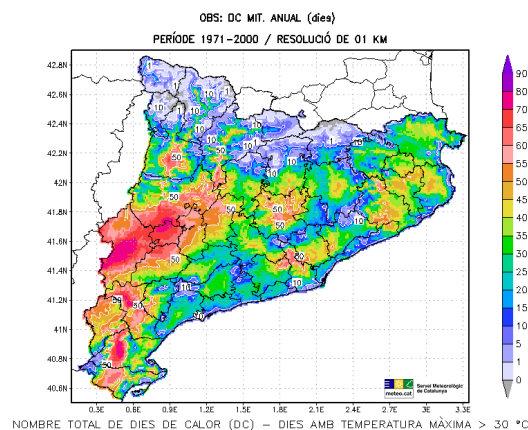
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



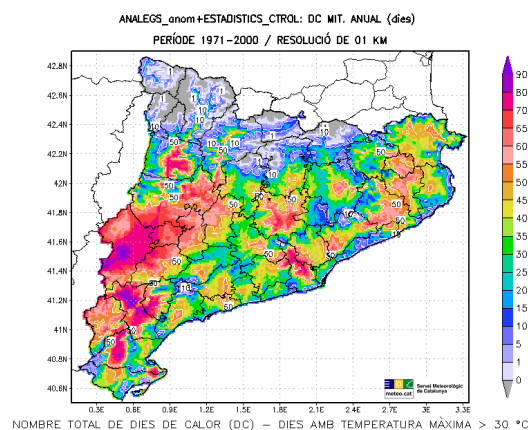
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.20: Camps espacials (en mm) de la precipitació (PPT) mitjana de tardor (SON) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

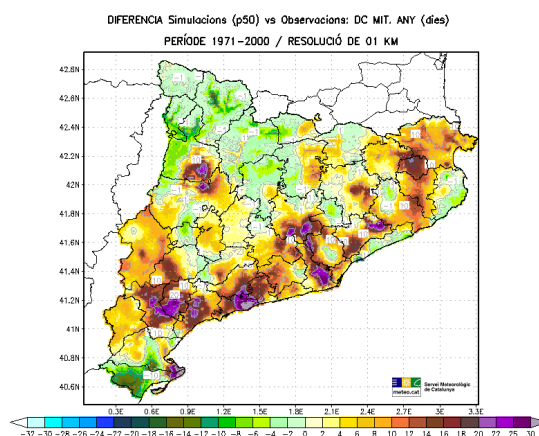
5.1.5 Dies de Calor (DC)



(a) Malla d'observacions a 1 km



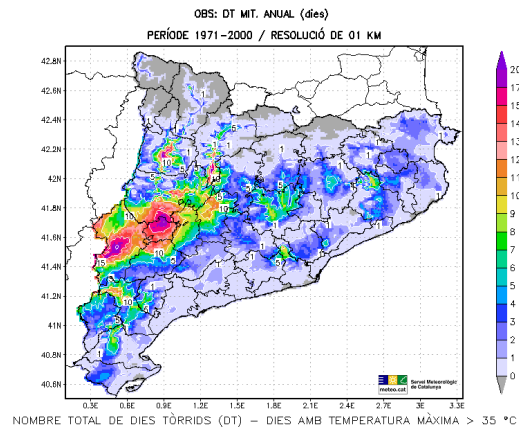
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



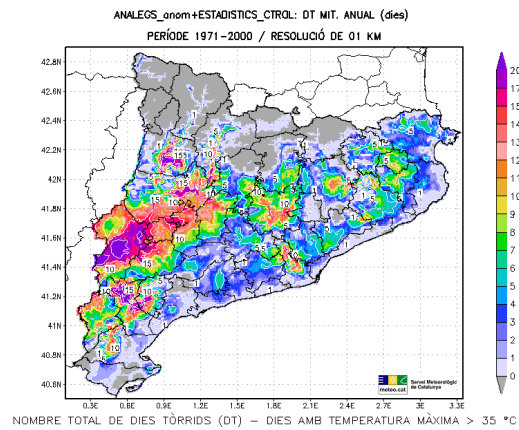
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.21: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies de calor (DC, dies amb $T_X \geq 30^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.6 Dies Tòrrids (DT)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

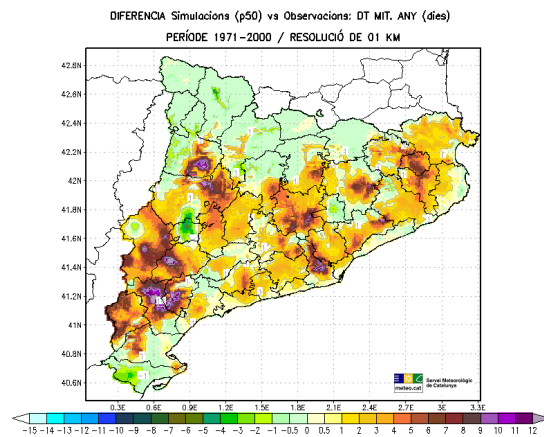
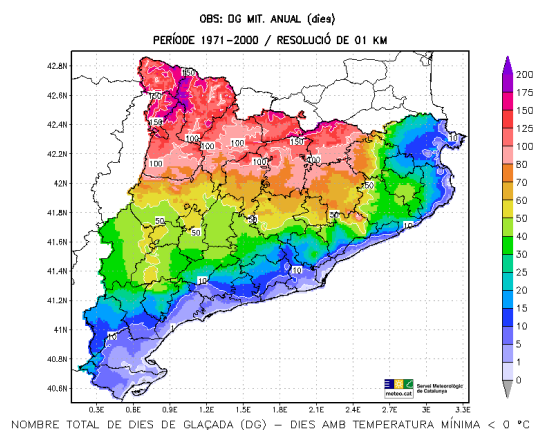
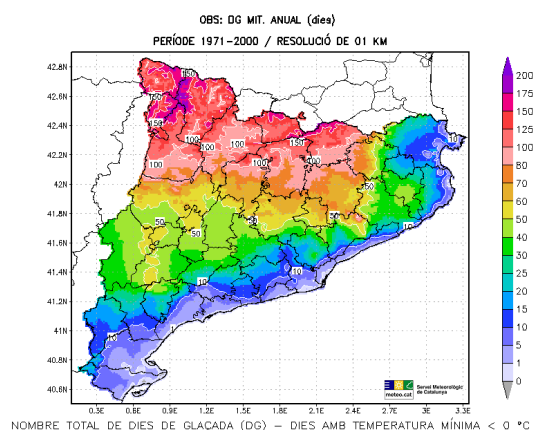


Figura 5.22: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies tòrrids (DT, dies amb $T_X \geq 35^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.7 Dies de Glaçada (DG)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

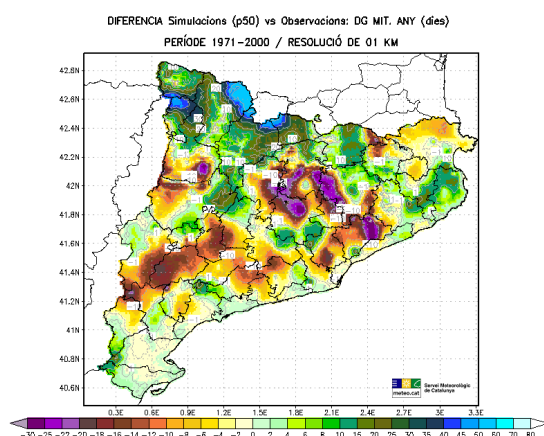
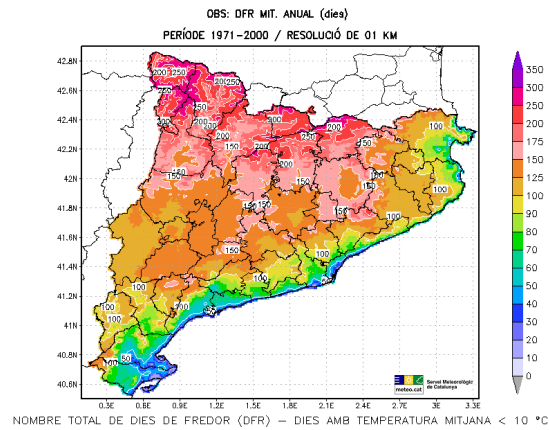
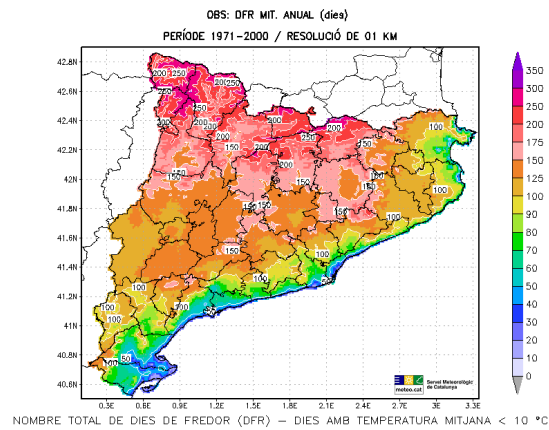


Figura 5.23: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies de glaçada (DG, dies amb $TN \leq 0^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.8 Dies de Fredor (DFR)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

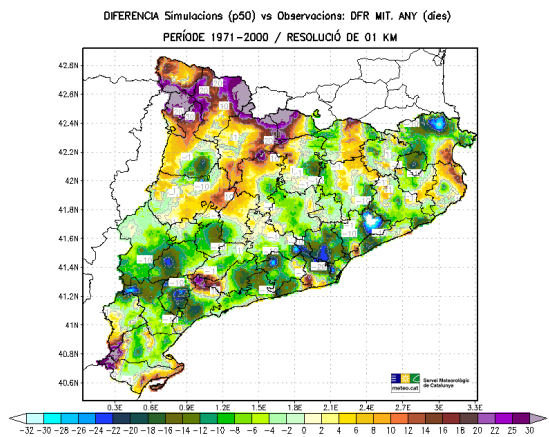
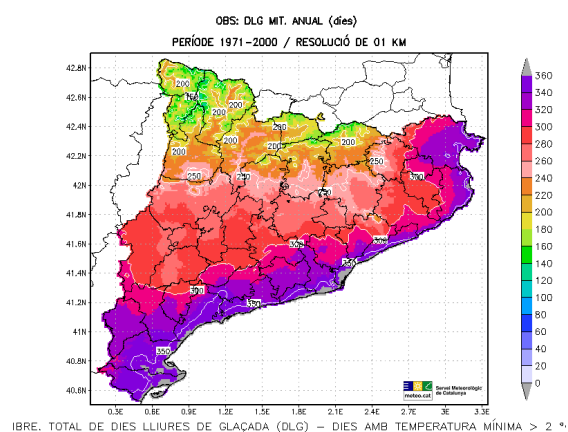
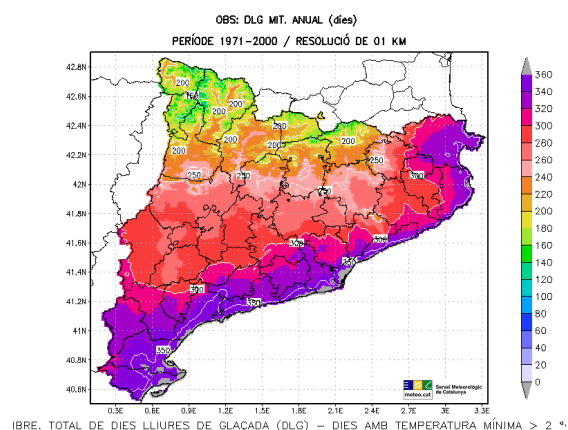


Figura 5.24: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies de fredor (DFR, dies amb $TM \leq 10$ °C) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

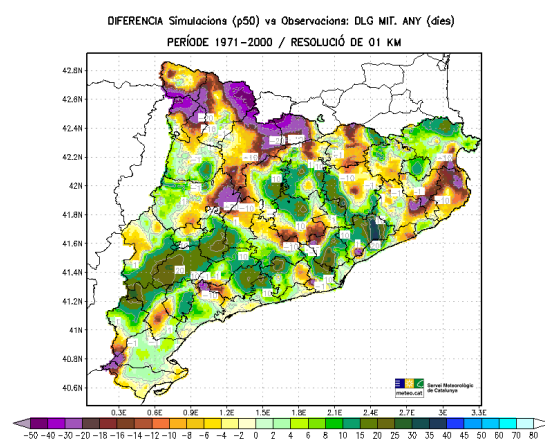
5.1.9 Dies Lliures de Glaçada (DLG)



(a) Malla d'observacions a 1 km



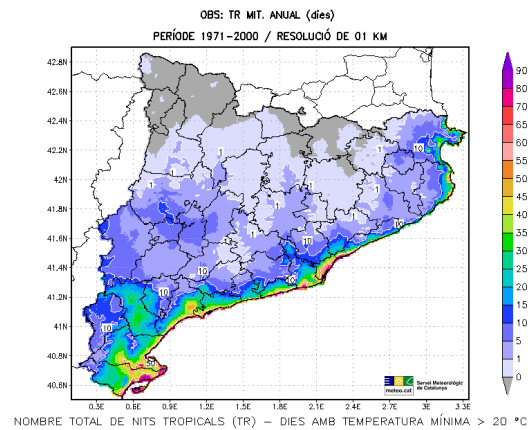
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



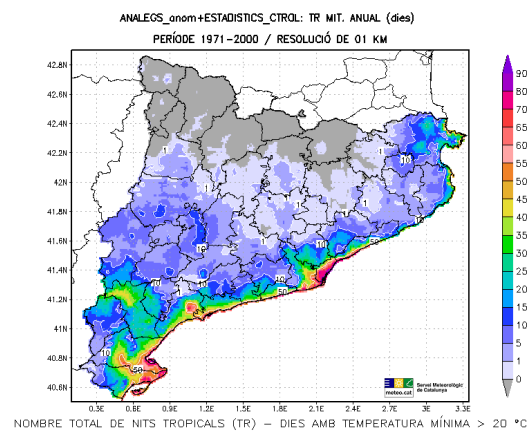
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.25: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies lliures de glaçada (DLG, dies amb $TN \geq 2^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.10 Nits Tropicals (TR)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

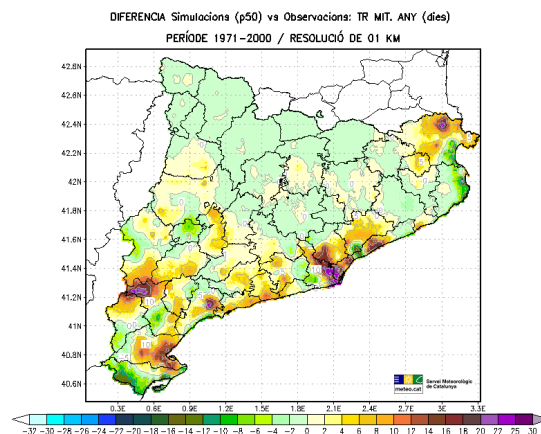
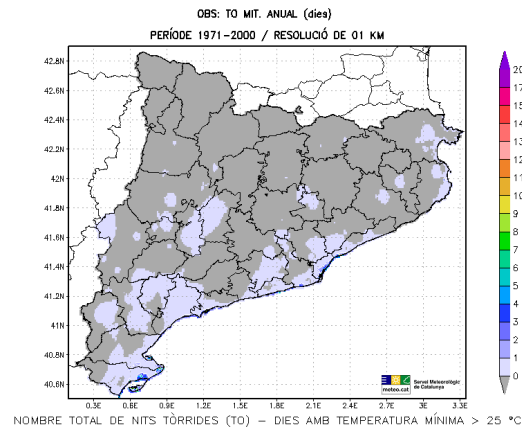
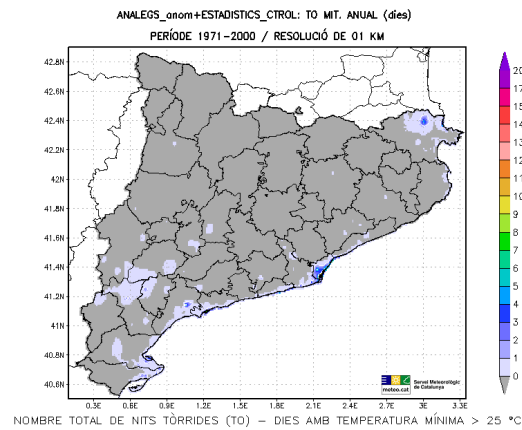


Figura 5.26: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de nits tropicals (TR, dies amb $TN \geq 20^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.11 Nits Tòrrides (TO)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

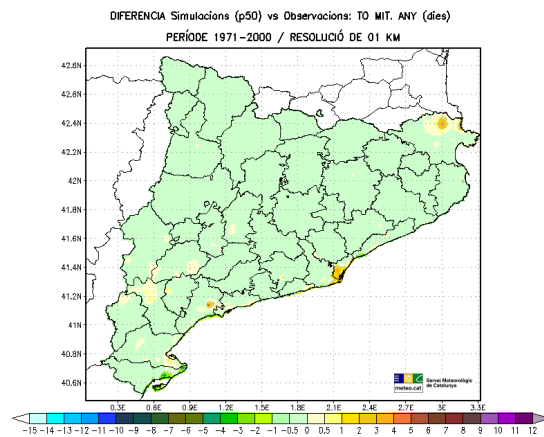
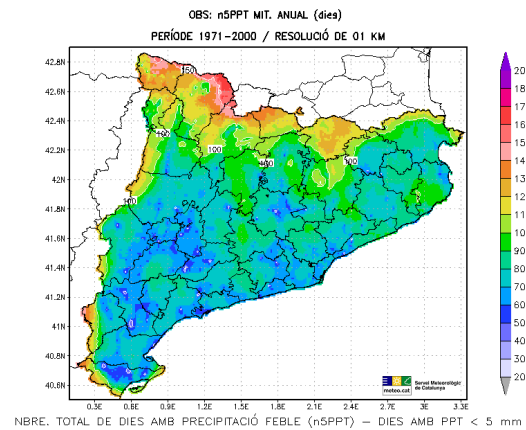
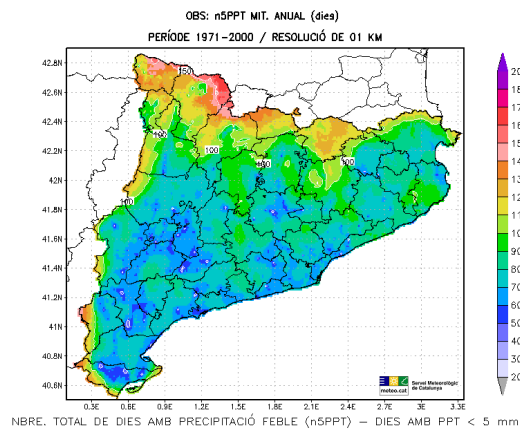


Figura 5.27: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de nits tòrrides (TO, dies amb $TN \geq 25^\circ\text{C}$) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.12 Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

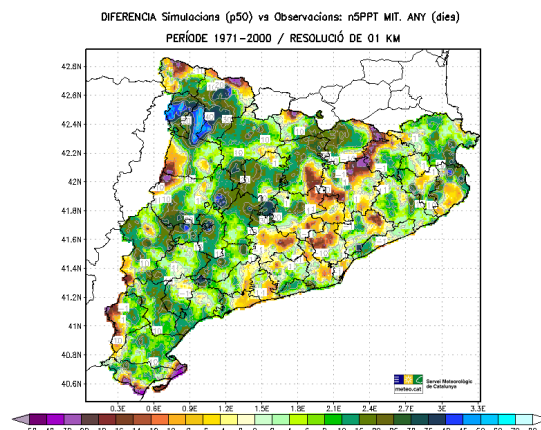
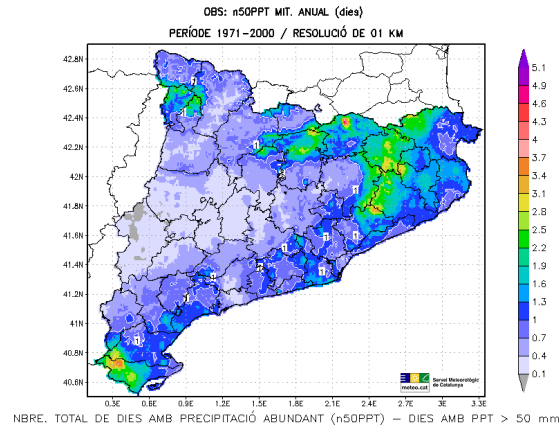
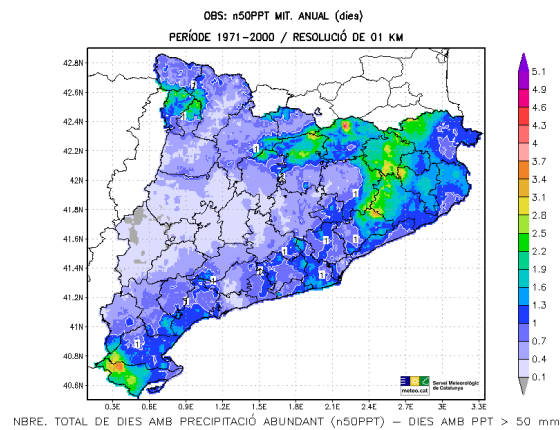


Figura 5.28: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies amb precipitació feble (n5PPT, dies amb PPT ≤ 5 mm) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

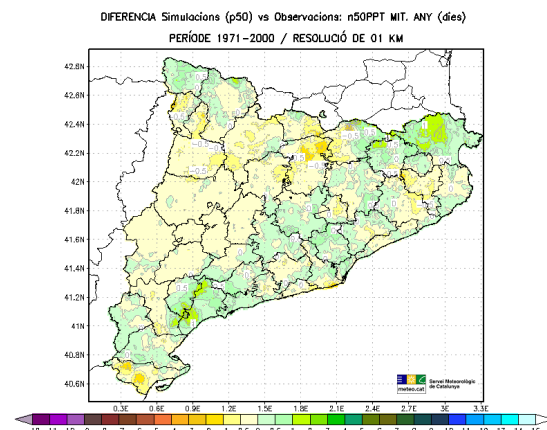
5.1.13 Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)



(a) Malla d'observacions a 1 km



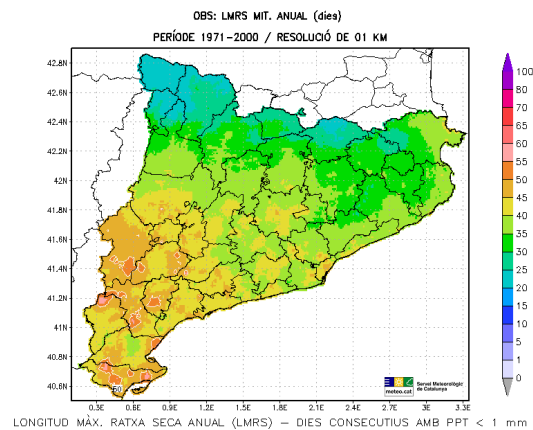
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



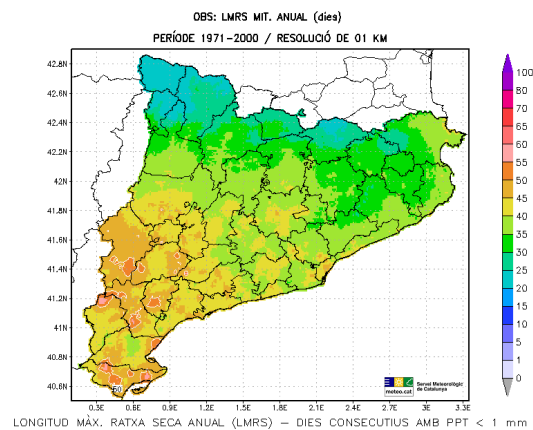
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.29: Camps espacials (en dies) del nombre mitjà anual de dies amb precipitació abundant (n50PPT, dies amb PPT ≥ 50 mm) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

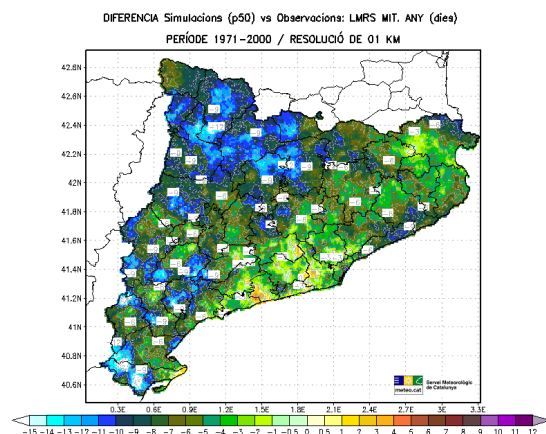
5.1.14 Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)



(a) Malla d'observacions a 1 km



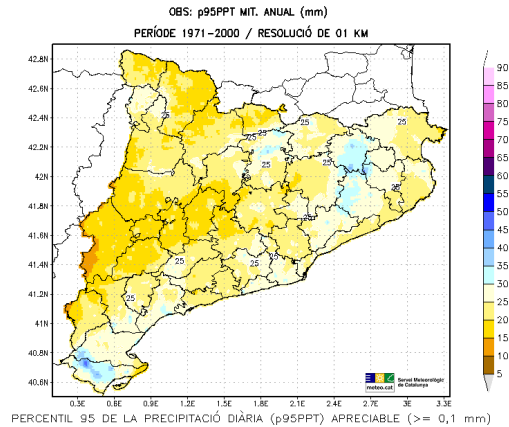
(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)



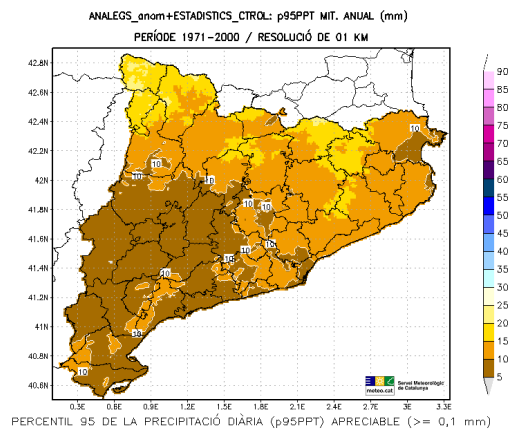
(c) Diferència entre simulacions i observacions

Figura 5.30: Camps espacials (en dies) de la longitud màxima de la ratxa seca anual (LMRS, ratxa de dies consecutius amb PPT < 1 mm) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.1.15 Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)



(a) Malla d'observacions a 1 km



(b) Simulacions regionalitzades estadísticament (p50)

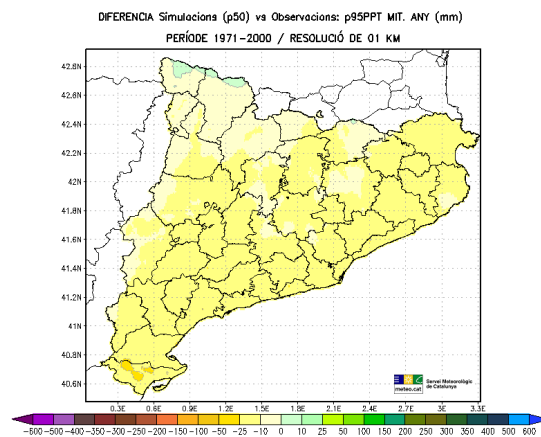


Figura 5.31: Camps espacials (en dies) del percentil 95 anual mitjà dels dies amb precipitació apreciable ($PPT \geq 0,1$ mm) (p95PPT) per al període de control (1971-2000) a Catalunya segons: a) la malla d'observacions a 1 km, b) el percentil 50 (p50) de les simulacions regionalitzades estadísticament i c) la diferència entre els dos camps anteriors (valors simulats menys observats).

5.2 Evolucions temporals projectades (1971-2050)

En aquest apartat es presenten les evolucions projectades per a les diferents variables analitzades en el present estudi. Els valors han estat amitjanats per al conjunt de Catalunya, en el domini presentat al Capítol 2 (Figura 2.1).

En detall els límits¹ per tal d'obtenir el valor representatiu de tota la zona són els següents:

- longitud mínima: 0,03589 °E
- longitud màxima: 3,32597 °E
- latitud mínima: 40,47410 °N
- latitud màxima: 42,91780 °N

El domini que representa el conjunt de tot Catalunya conté 72.384 punts, separats en l'eix de la longitud cada 0,0105791° i en l'eix de la latitud cada 0,0105782°.

També s'hi presenten les evolucions temporals amitjanades que engloben les tres zones geogràfiques en les quals hem dividit el territori de Catalunya (Figura 2.1).

A cada evolució temporal (Figures 5.32 a 5.62) s'hi troba en una línia negra les anomalies de les observacions. Aquestes anomalies per a la TM, TN i TX han estat calculades a partir de les sèries climàtiques representatives de Catalunya, definides en el BAIC 2018 (SMC, 2019b) i presentades a l'apartat 2.3 (Capítol 2). Per a la resta d'índexs climàtics termopluviomètrics les anomalies observades s'han calculat a partir de la malla de dades a 1 km. Amb una zona ombrejada de color taronja, hi apareix el rang de valors corresponents als percentils 5 i 95 del conjunt de valors de les tres simulacions regionalitzades per al període de control (1971-2005). Amb una zona ombrejada de color gris, hi apareix el rang de valors corresponents entre els percentils 5 i 95 del conjunt de valors de les sis simulacions regionalitzades per al període forçat amb els escenaris RCP4.5 i RCP8.5 (2006-2051), tres simulacions per a cada escenari d'emissions. Finalment, hi apareixen dues línies de color vermell i morat corresponents a les anomalies calculades a partir del percentil 50 de les tres simulacions corresponents a cada escenari d'emissions, RCP4.5 i RCP85 respectivament.

Analitzant totes les evolucions projectades que es presenten en els següents subapartats (Figures 5.32 a 5.62) es poden extreure les següents conclusions i comentaris principals:

Per a la temperatura, tant a escala anual com estacional, i tant per a la temperatura mitjana (TM), mínima (TN) i màxima (TX), es projecta un augment durant la primera meitat del s. XXI independentment de l'escenari d'emissions considerat. Aquest augment a escala anual podria ser superior als +3,5 °C per a la TM cap a mitjan s. XXI per a tot el domini i zona interior, proper als +3,5 °C a la zona litoral-prelitoral, però superior als +4,0 °C a la zona pirinenca. L'increment projectat per la TX és major que el de la TN, projectant-se increments en la mitjana anual superiors als +4,0 °C per a la TX enfront dels +3,0 °C per a la TN segons l'RCP8.5 i mitjan s. XXI.

Els augments projectats són majors per a la zona pirinenca que no pas a les altres dues àrees

¹Les coordenades estan expressades segons el geoide de referència ED1950.

geogràfiques analitzades, sent de l'ordre de 0,5 °C menors a l'interior del país i prop d'1 °C menors per a la zona litoral-prelitoral. Tots aquests valors respecte dels increments projectats per al Pirineu.

L'increment projectat per a la temperatura anual també es troba a escala estacional, tot i que la magnitud d'aquest increment no és homogeni per a totes les estacions. Concretament, el major increment té lloc a la tardor i a la primavera, projectant-se cap al 2050 un increment per a la TM de fins a +4,5 °C segons l'RCP8.5. Per a la TX es projecta un increment de fins a +6,0 °C a la tardor i +5,0 °C a la primavera (segons l'RCP8.5 i mitjan s. XXI). Per a la TN es projecta un increment de fins a +3,5 °C a la primavera i +4,0 °C a la tardor (segons l'RCP8.5 i 2050). 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.

Les evolucions projectades durant el període de control (1971-2000) mostren un rang de variabilitat interanual simulat per a la temperatura menor que el present en les observacions, sobretot a escala anual. Això podria suposar una subestimació del rang de variabilitat interanual per a les projeccions futures. No obstant això, si s'analitza el període de solapament entre projeccions futures i observacions (2006-2018, 13 anys) per a tot el domini i les tres àrees geogràfiques, en la majoria de casos el rang de variació interanual present a les observacions cau dins del rang de variació projectat per les simulacions sobretot a escala anual (Figures 5.32, 5.37 i 5.42). Tot i així, en moltes de les evolucions temporals les anomalies observades queden en la part baixa del rang de variació (p5-p95) de les simulacions i sobretot per a la TN d'hivern (Figura 5.38) i en menor mesura la de la tardor (Figura 5.41). Aquest fet, posa de manifest certa dificultat de la metodologia emprada en reproduir segurament els episodis importants d'estabilitat anticiclònica amb la conseqüent inversió tèrmica que es dona a diverses fondalades del prelitoral i valls pirinenques així com a gran part de la depressió Central (zona interior). En aquest sentit les projeccions de la temperatura per a aquests sectors deprimits orogràficament estarien sobreestimades i caldria esperar un augment força menor que el projectat.

Per una altra banda s'ha de comentar 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), sobretot és molt exagerat aquest comportament per a l'evolució de la TX mitjana anual (Figura 5.42), d'hivern (Figura 5.43) i de tardor (Figura 5.41). Molt possiblement aquest fet sigui conseqüència de la important subestimació dels valors mitjans de la temperatura en aquesta zona.

Per a la precipitació (Figures 5.47 a 5.51), la seva evolució projectada no presenta una tendència clara. Així doncs, s'espera una gran variabilitat interanual (successió d'anys molt plujosos i anys molt secs) major que l'observada durant el període de control. Aquest fet és sobretot molt significatiu per a l'hivern (Figura 5.48) i la tardor (Figura 5.51), on es projecten anomalies excepcionals en els valors mitjans superiors al +250 % així com un nombre d'anomalies apreciable 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, 2020a) o els aiguats d'octubre de 2019 (SMC, 2019a) que han provocat molts danys i pèrdues econòmiques a gran part del país.

Malgrat la gran variabilitat projectada, les projeccions semblen apuntar cap a una disminució dels valors mitjans de la PPT anual cap a mitjan s. XXI. Aquesta reducció és més important

per a l'escenari més intensiu en emissions (RCP8.5). Aquesta disminució projectada és en gran part conseqüència de la disminució general projectada a la primavera, però sobretot, a l'estiu. Aquestes reduccions cap al 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 %.

En contra del que passava per a la temperatura, les simulacions projectades en el període de control mostren un major rang de variabilitat anual que el present en les observacions, amb la qual cosa les projeccions futures podrien també estar sobreestimant aquest rang de variabilitat.

Sobre la precipitació s'ha de comentar, finalment, que tant la zona litoral-prelitoral com la interior, encara que en menor mesura, presenten una major variabilitat interanual (projectada i observada) dels seus valors tant a escala anual com estacional que no pas la zona pirinenca. Aquest comportament és conseqüència que en ambdues àrees la precipitació presenta valors mitjans força menors però sobretot amb un elevat coeficient de variació (*Serrano-Notivol et al.*, 2018). Així, són també les dues zones per a les quals es projecten els valors més extrems per a les anomalies (anual i estacionals), tant positives com negatives, amb increments en alguns anys molt significatius però també molts anys amb reduccions molt importants de la precipitació que comportarien sequeres que podrien arribar a ser molt intenses.

En relació als índexs climàtics de temperatura relacionats amb valors elevats de la TX (DC i DT) o de la TN (TR) és projecta un increment en el seu nombre mitjà anual independentment de l'escenari i model considerat, amb increments cap al 2050 segons l'RCP8.5 que podrien arribar a ser superiors als +50, +15 i +15 dies, respectivament. Per a la zona litoral-prelitoral aquests increments estarien al voltant dels +55, +10 i +25 dies, respectivament. Per a la zona interior, es trobarien per damunt dels +65, +20 i +10 dies. Per a la zona pirinenca, amb valors superiors als +30, +10 i +1 dies. Amb aquesta última dada, es té que a la zona del Pirineu i Prepirineu de no produir-se actualment gairebé cap registre de TR a l'any, cap a l'horitzó del 2050 molts indrets d'aquesta zona comptarien almenys amb un registre de TR a l'any.

En canvi, per als índexs climàtics de temperatura relacionats amb valors baixos de la TN i la TM (DG i DFR) es projecta una disminució independentment de l'escenari d'emissions considerat. Aquesta reducció per al cas dels DG podria assolir reduccions cap a mitjan s. XXI segons l'RCP8.5 amb valors per davall dels -25 dies per a tot Catalunya i la zona interior. Per al Pirineu aquesta reducció podria arribar a valors per sota dels -60 dies. La zona litoral-prelitoral, en comptar amb força menys DG en mitjana, la reducció arribaria a valors al voltant dels -10 dies, cosa que produirà que moltes zones properes a la façana litoral deixin pràcticament de registrar DG durant la part freda de l'any.

La disminució projectada en els DFR encara és més marcada que en el cas dels DG, la qual està directament relacionada amb l'important increment projectat per a la TM a totes les estacions de l'any (comentat més amunt), però sobretot durant la meitat freda de l'any. Així, per al conjunt de Catalunya es projecten reduccions amb valors que podrien situar-se propers als -60 dies. Per al Pirineu s'arribarien a valors d'uns -70 dies. Per a la zona interior, -60 dies i per al litoral-prelitoral, -50 dies.

Un altre índex climàtic termomètric interessant de comentar són els DLG, per als quals es projecta un increment important independentment de l'escenari d'emissions considerat. Cap la 2050 es projecten uns valors d'augment en els DLG que estarien al voltant dels +40 dies per al

conjunt de Catalunya i la zona interior, +20 dies per a l'àrea litoral-prelitoral i +60 dies per a la zona pirinenca.

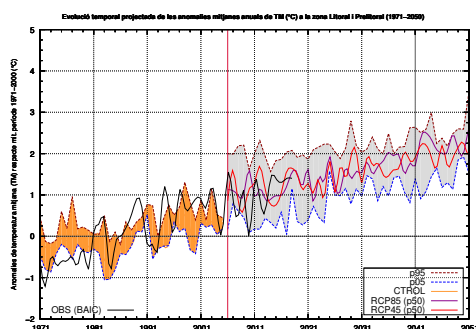
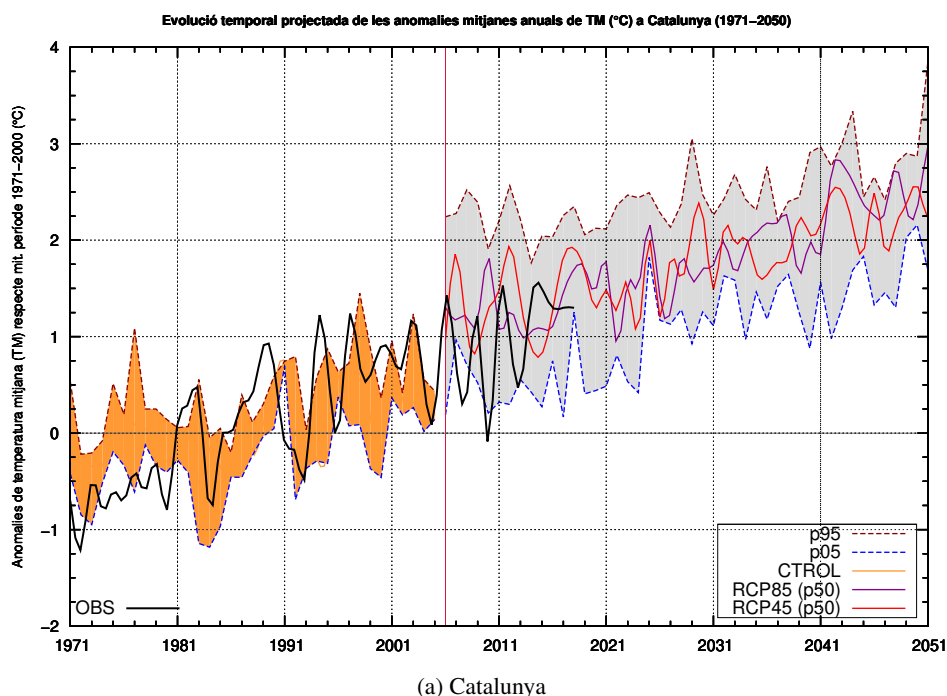
En relació a les TO, també es projecta un augment d'aquest índex independentment de l'escenari considerat, però en ser un índex que només es registra de manera apreciable cada any en alguns punts de la façana litoral, l'evolució projectada per a la zona pirinenca així com interior té poc sentit. Tot i així, les projeccions donen que en punts d'aquestes zones que ara no tenen cap registre de TO, podrien començar a tenir-ne algun cap a mitjan s. XXI.

Finalment sobre els índexs climàtics de temperatura cal comentar que la subestimació del rang de variabilitat interanual per part de les simulacions és molt marcada per als DG i les TR i TO, no tan marcada per als DT i DLG, i no gaire important per als DC i DFR. Per tant, és molt probable que les variacions projectades en els DG, les TR i TO siguin menors i potser no tant significatives com a priori donen les projeccions. Una part important que el rang de variabilitat dels índexs climàtics no estigui ben reproduït en el període de control es deu als valors de dos anys extremadament anòmals que es donen a inicis del present segle i que les simulacions no són capaços de reproduir correctament. Aquests dos anys són per una banda el 2003, en el qual es va registrar l'estiu més tòrrid des que hi ha registres a Catalunya (SMC, 2013a) així com a tota la resta de la Península i del continent europeu (Luterbacher *et al.*, 2004). Aquest extraordinari estiu es nota sobretot en les evolucions temporals de les anomalies dels DT, sent el valor màxim de les dades observacionals (1971-2018) i en menor mesura en les evolucions per als DC i les TR i TO. L'altre any en qüestió és el 2005, amb un hivern molt fred, dels més freds des de l'hivern de 1985 (SMC, 2015) i per tant amb gelades molt freqüents, que es nota en l'evolució de les anomalies observacionals dels DG, sent el valor màxim del període amb dades mesurades (1971-2018).

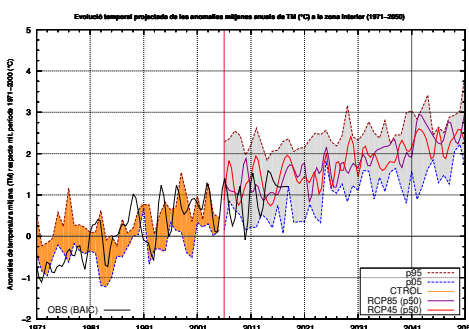
En referència als índexs climàtics de precipitació cal destacar que totes les projeccions apunten cap a una disminució important dels n5PPT amb valors per davall dels -20 dies tant per al conjunt de Catalunya com per a les tres grans àrees geogràfiques del país. Per una altra banda i relacionat amb aquest índex, la LMRS es projecta que augmenti independentment de l'escenari considerat amb uns valors superiors als +15 dies cap al 2050 per al conjunt de Catalunya, però propers als +20 dies per a la zona litoral-prelitoral i superiors als +20 dies per a les zones interiors i pirinenca. Aquest fet dóna compte que les sequeres durant els propers 30 anys haurien de ser més intenses en el conjunt del territori. Pel que fa als altres dos índexs analitzats les projeccions no donen un comportament concloent en la seva evolució, tot i que semblen apuntar cap a una disminució dels n50PPT i del p95PPT. Tot i que per aquest últim índex les simulacions el subestimaven d'una manera apreciable, amb la qual cosa aquesta disminució podria no acabar esdevenint.

5.2.1 Temperatura Mitjana (TM)

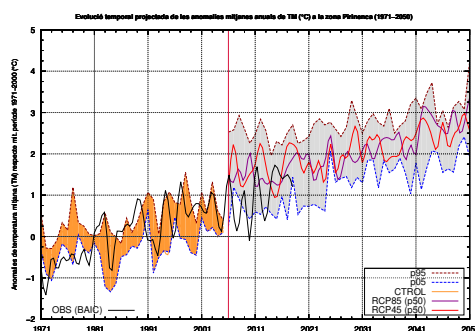
Temperatura mitjana anual



(b) Zona litoral i prelitoral



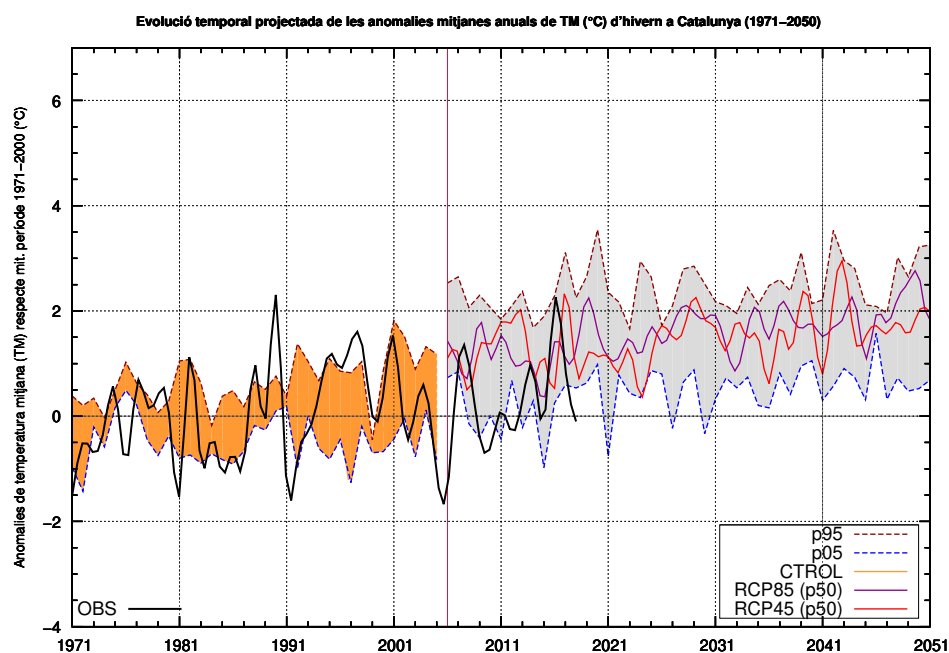
(c) Zona interior



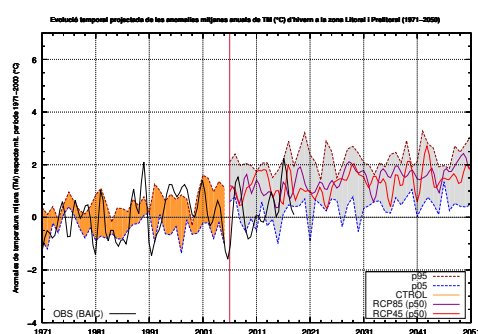
(d) Zona pirinenca

Figura 5.32: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies (en °C) de temperatura mitjana anual (TMA) 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).

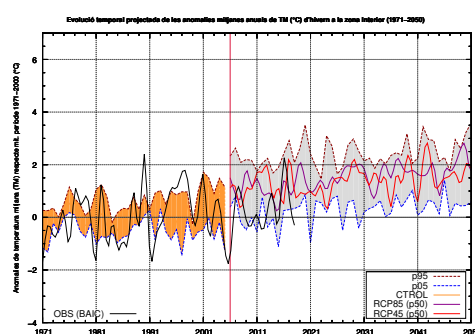
Temperatura mitjana d'hivern



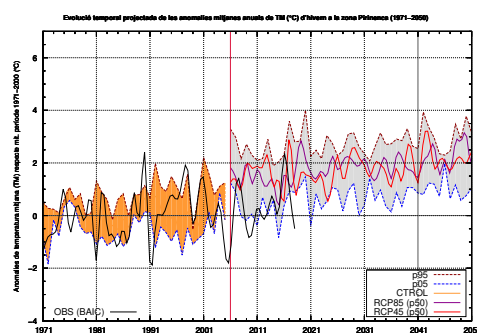
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



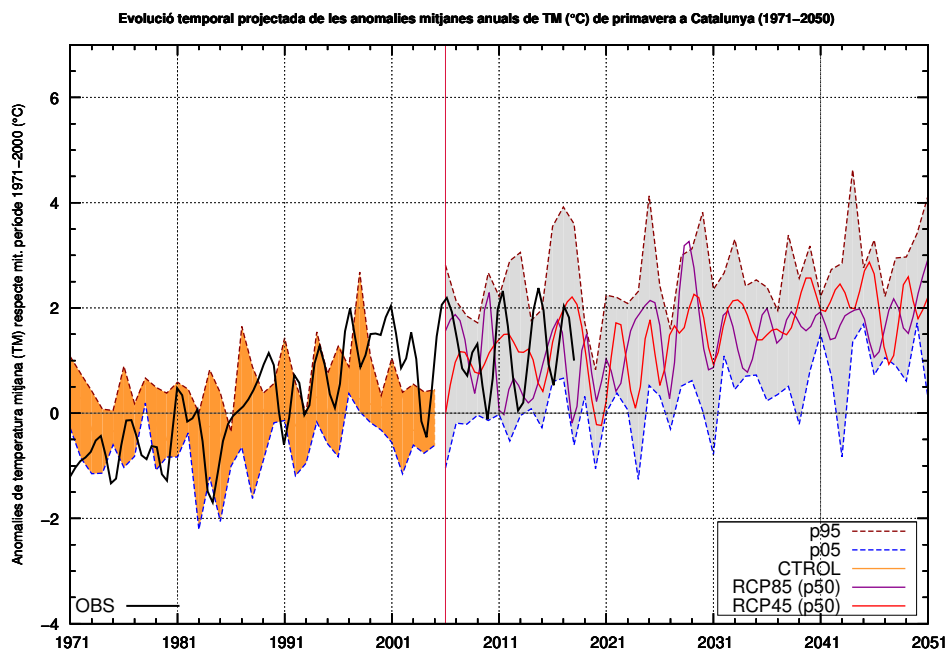
(c) Zona interior



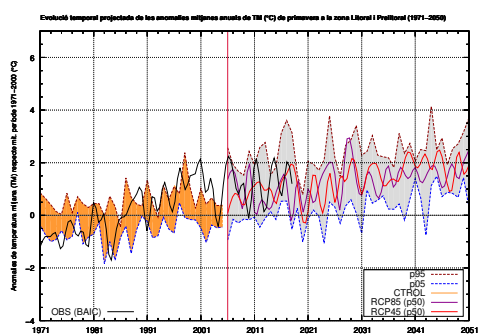
(d) Zona pirinenca

Figura 5.33: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies anuals (en °C) de temperatura mitjana (TM) d'hivern 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).

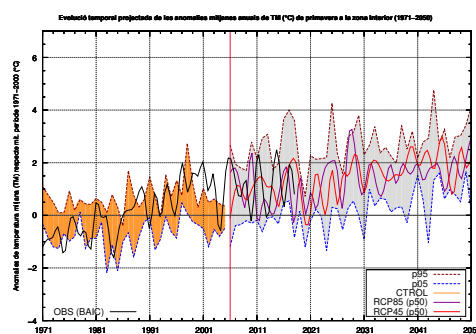
Temperatura mitjana de primavera



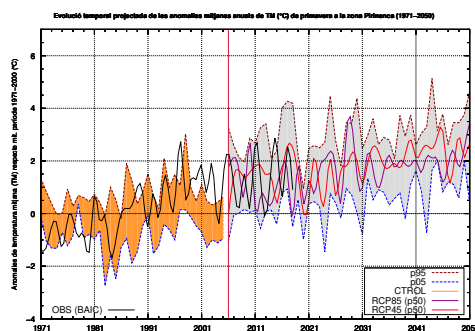
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



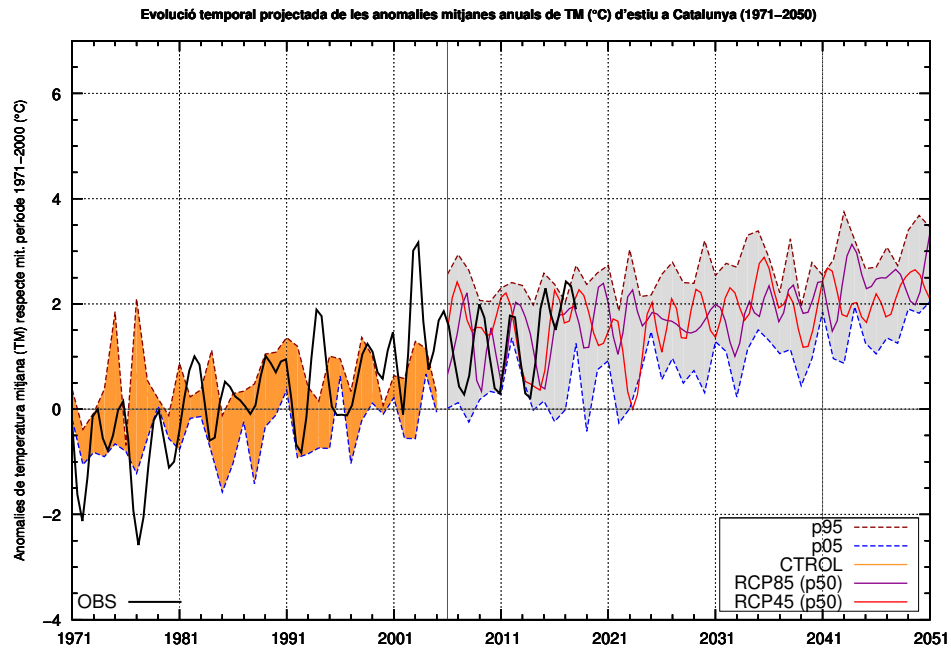
(c) Zona interior



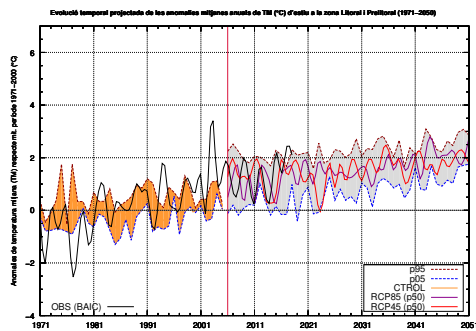
(d) Zona pirinenca

Figura 5.34: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies anuals (en °C) de temperatura mitjana (TM) de primavera 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).

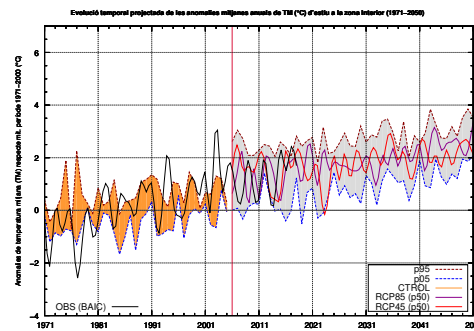
Temperatura mitjana d'estiu



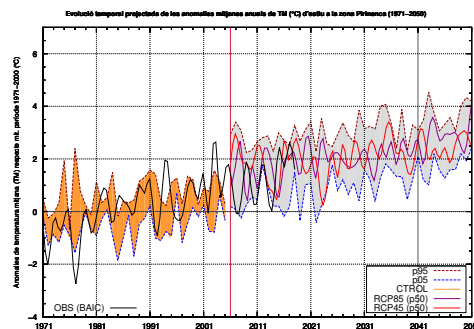
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



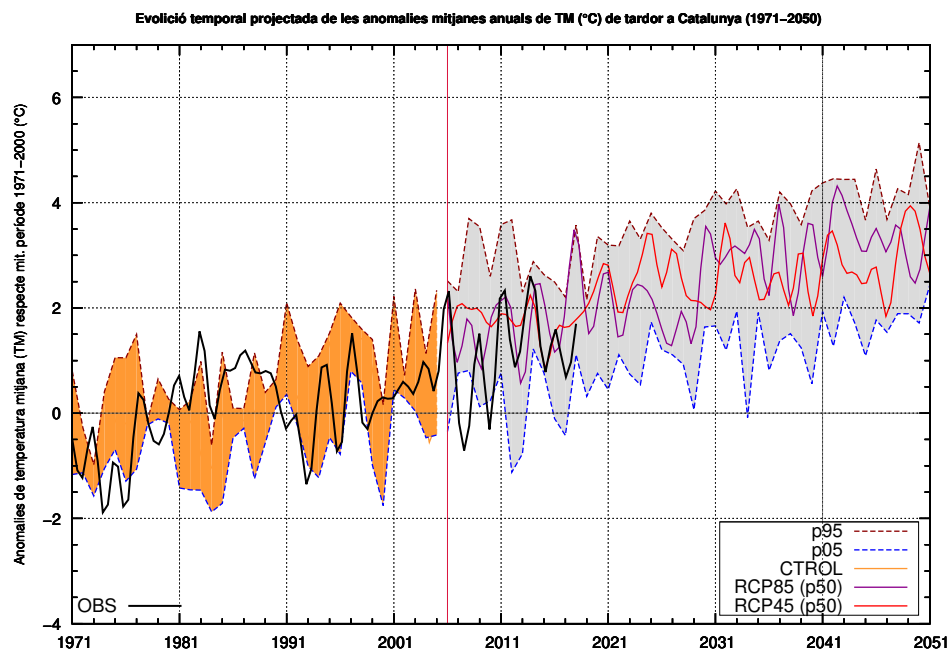
(c) Zona interior



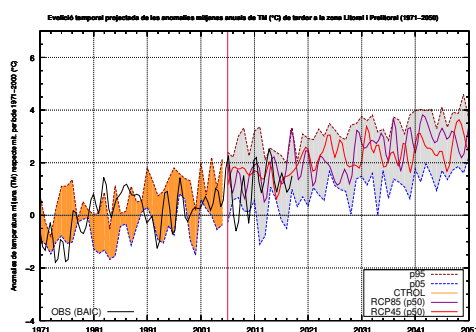
(d) Zona pirinenca

Figura 5.35: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies anuals (en °C) de temperatura mitjana (TM) d'estiu 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).

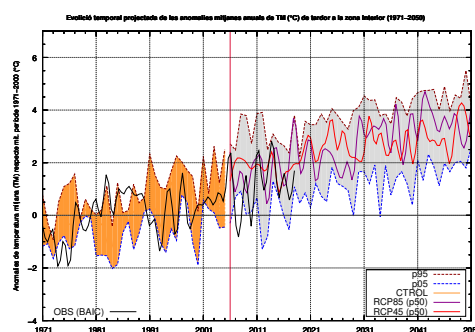
Temperatura mitjana de tardor



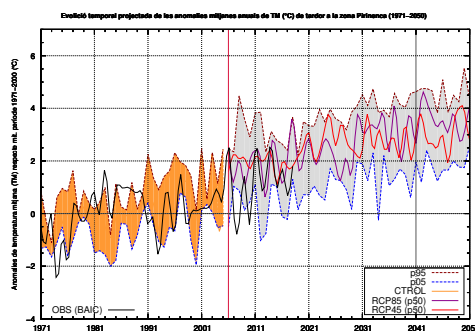
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior

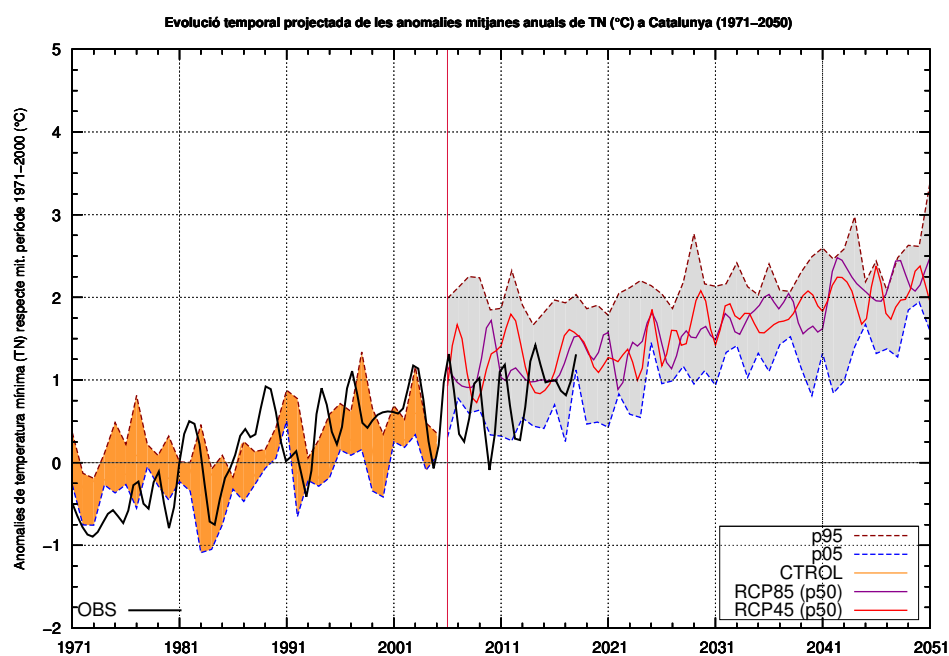


(d) Zona pirinenca

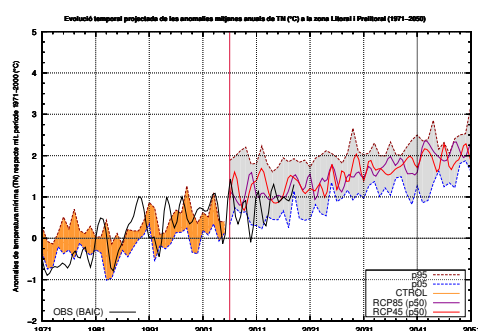
Figura 5.36: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies anuals (en °C) de temperatura mitjana (TM) de tardor respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).

5.2.2 Temperatura Mínima (TN)

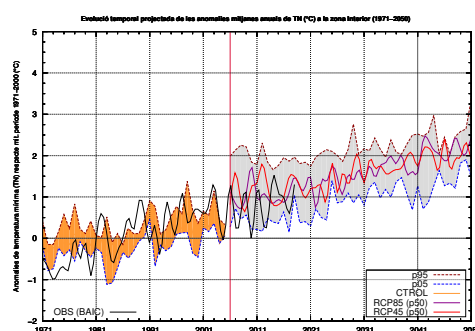
Temperatura mínima mitjana anual



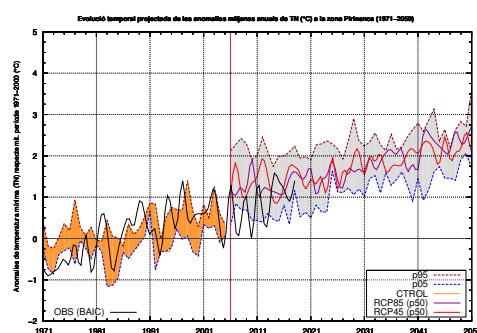
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



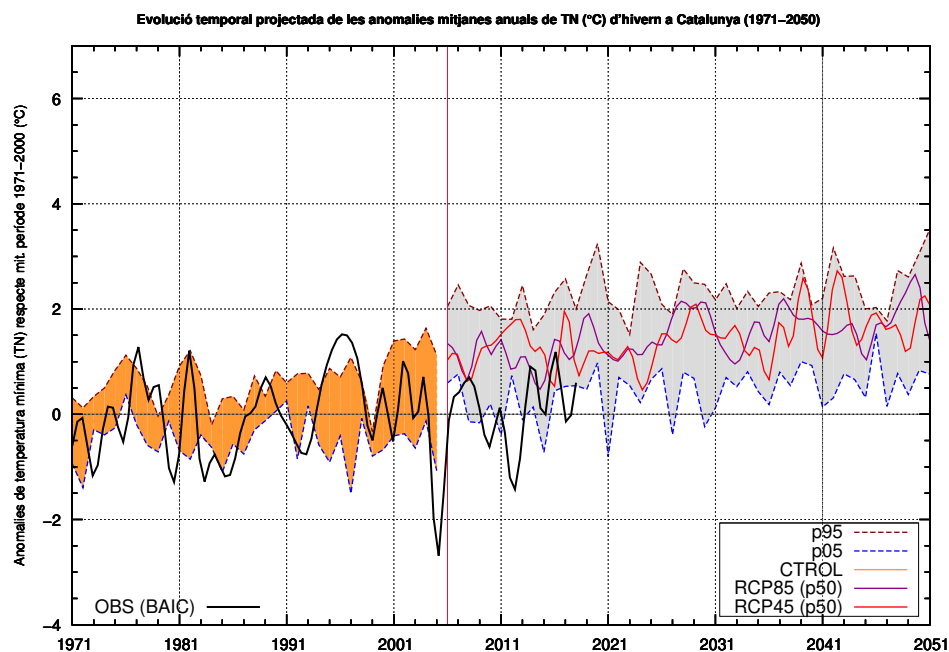
(c) Zona interior



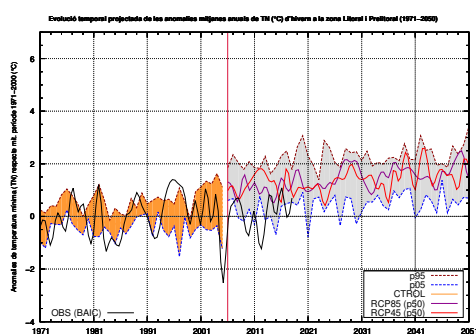
(d) Zona pirinenca

Figura 5.37: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura mínima (TN) 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).

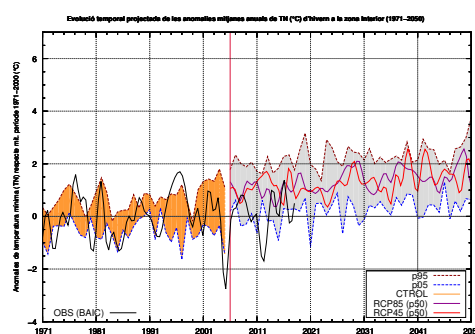
Temperatura mínima mitjana d'hivern



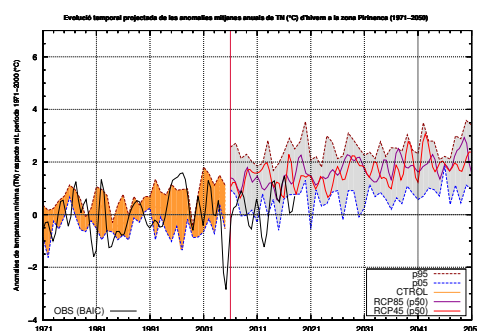
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



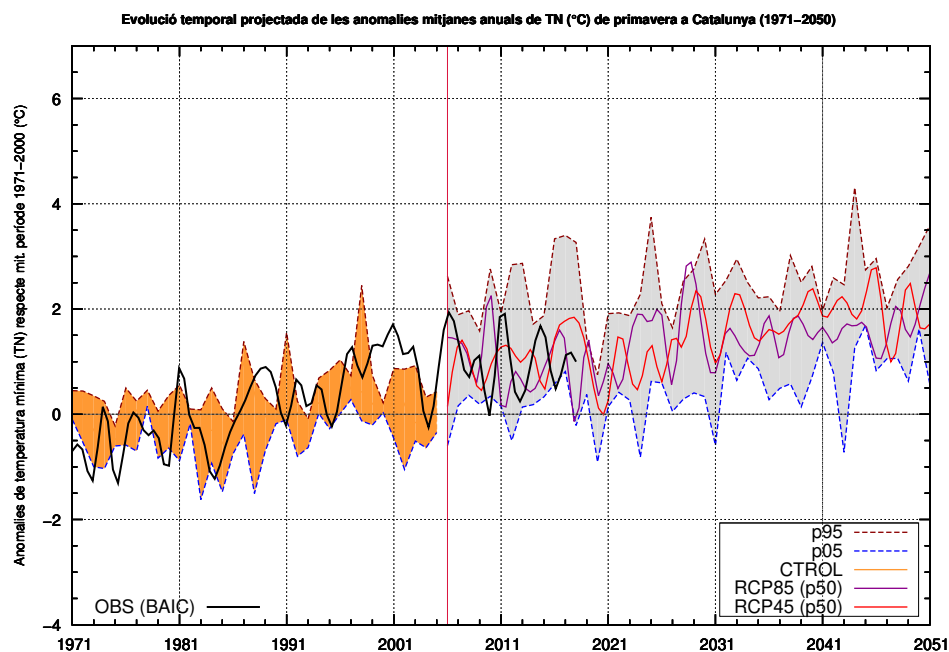
(c) Zona interior



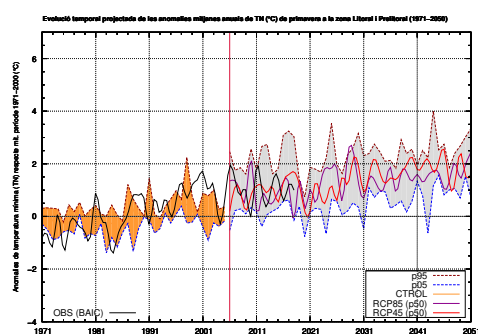
(d) Zona pirinenca

Figura 5.38: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura mínima (TN) d'hivern 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).

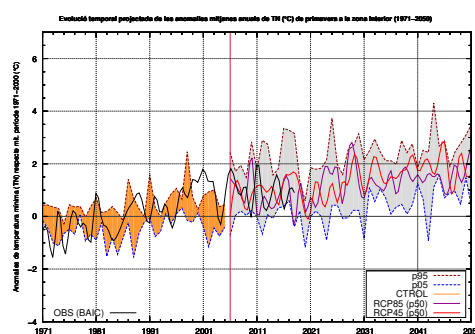
Temperatura mínima mitjana de primavera



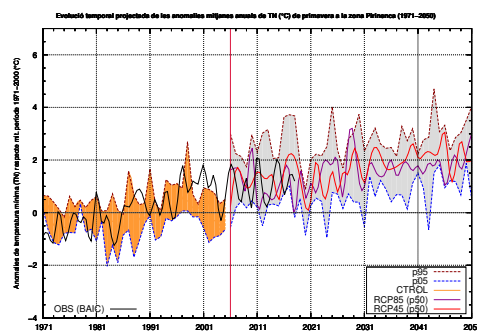
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



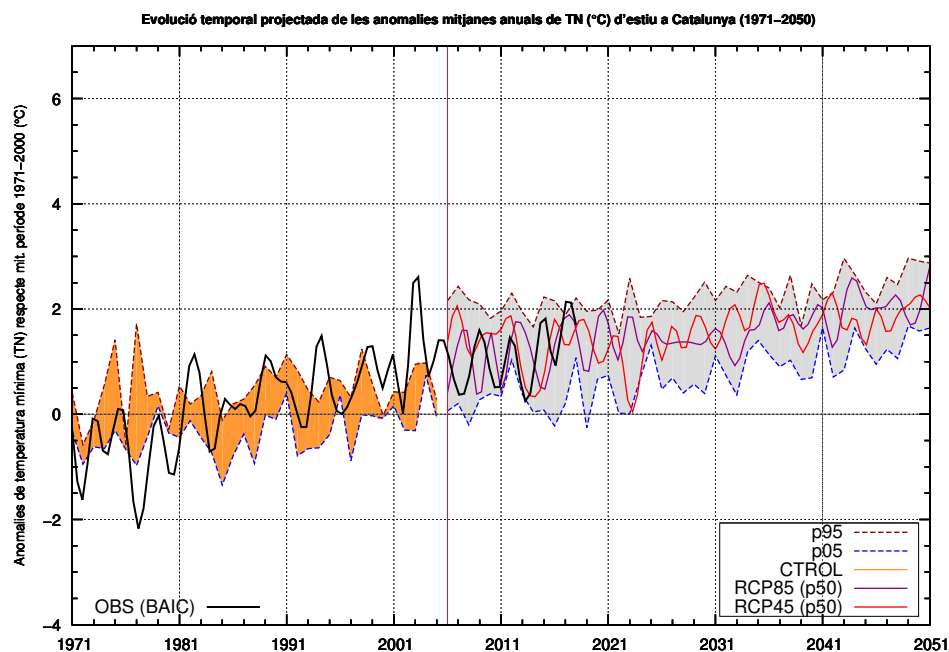
(c) Zona interior



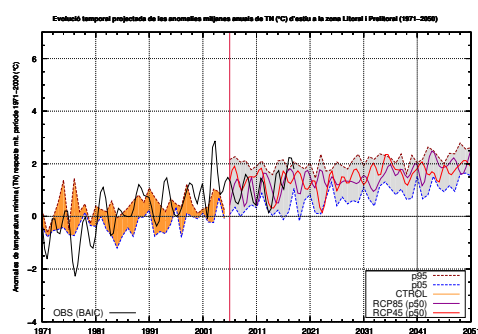
(d) Zona pirinenca

Figura 5.39: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura mínima (TN) de primavera 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).

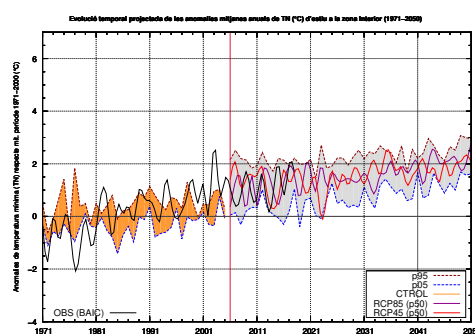
Temperatura mínima mitjana d'estiu



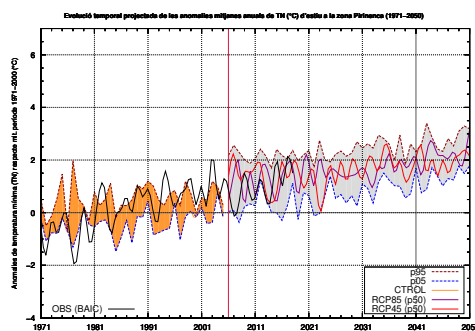
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



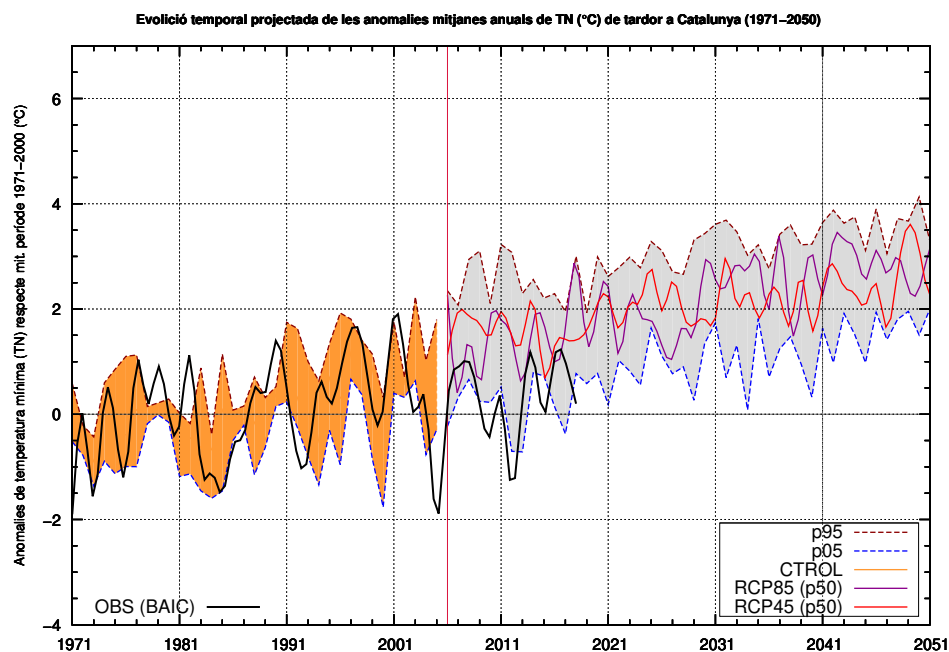
(c) Zona interior



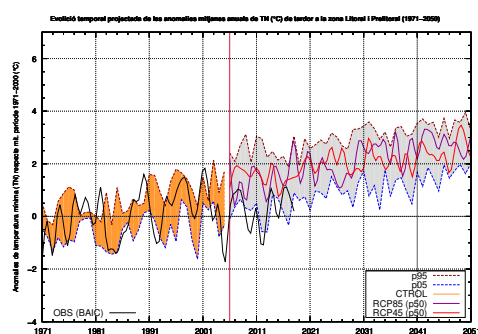
(d) Zona pirinenca

Figura 5.40: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura mínima (TN) d'estiu 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).

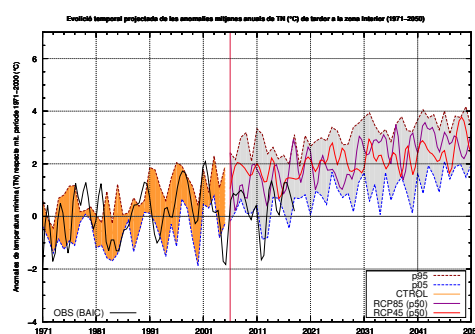
Temperatura mínima mitjana de tardor



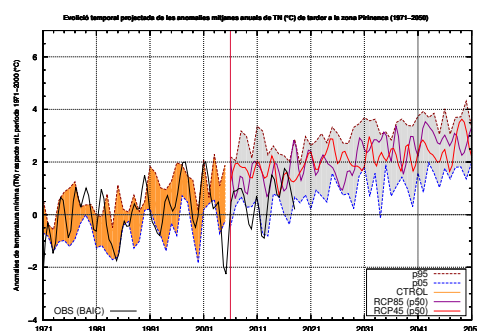
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior

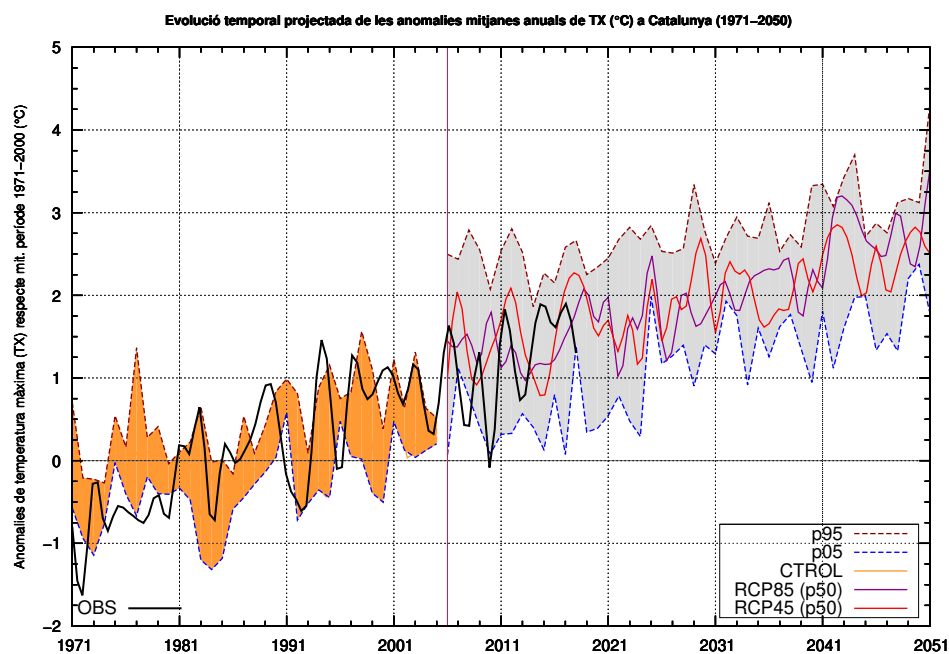


(d) Zona pirinenca

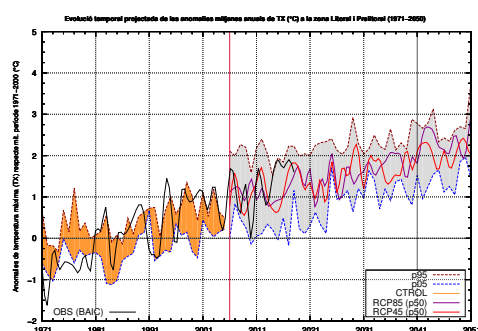
Figura 5.41: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura mínima (TN) de tardor respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).

5.2.3 Temperatura màxima (TX)

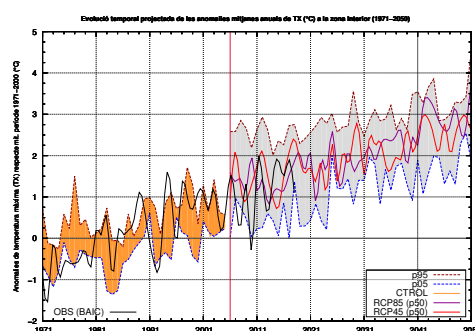
Temperatura màxima mitjana anual



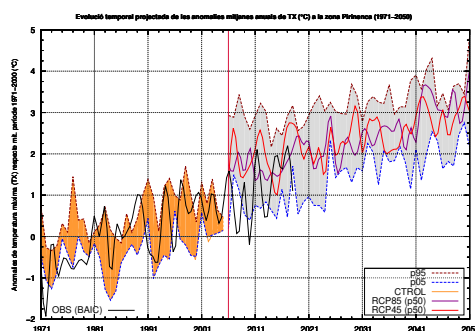
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



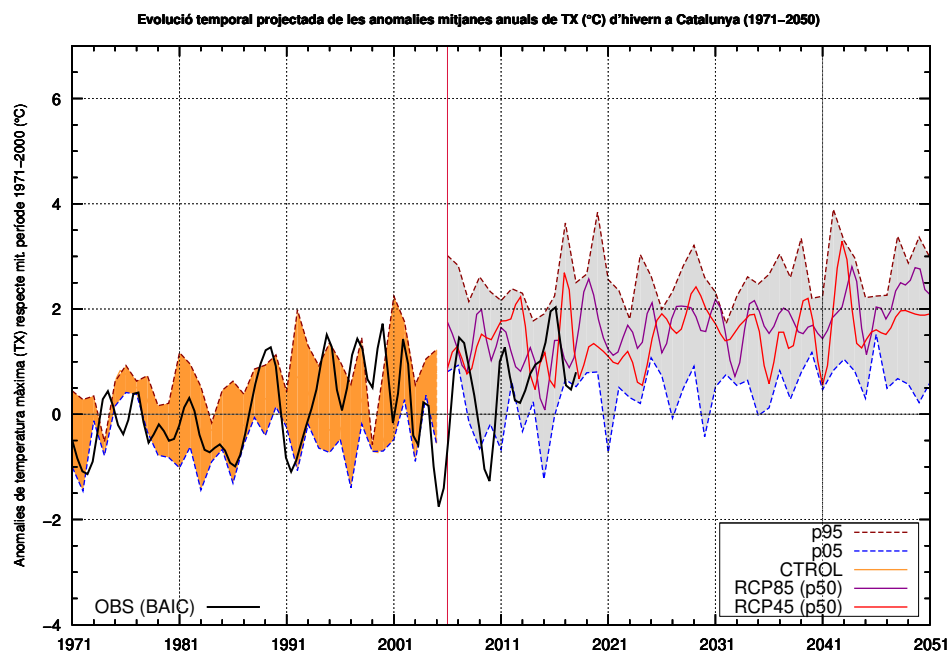
(c) Zona interior



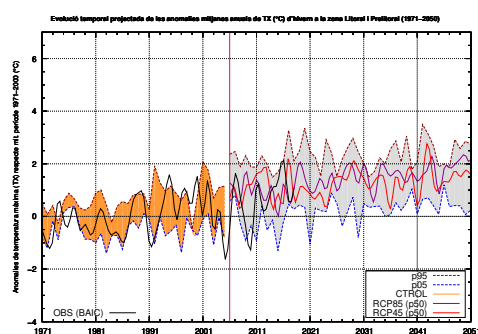
(d) Zona pirinenca

Figura 5.42: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura màxima (TX) 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).

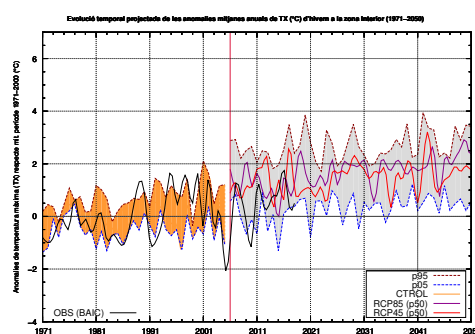
Temperatura màxima mitjana d'hivern



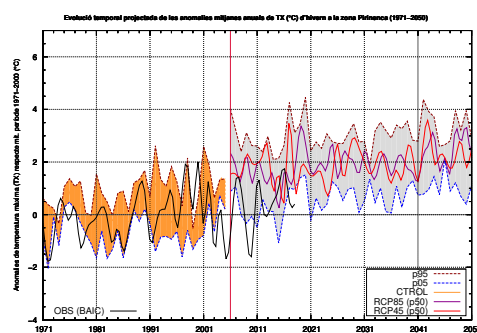
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



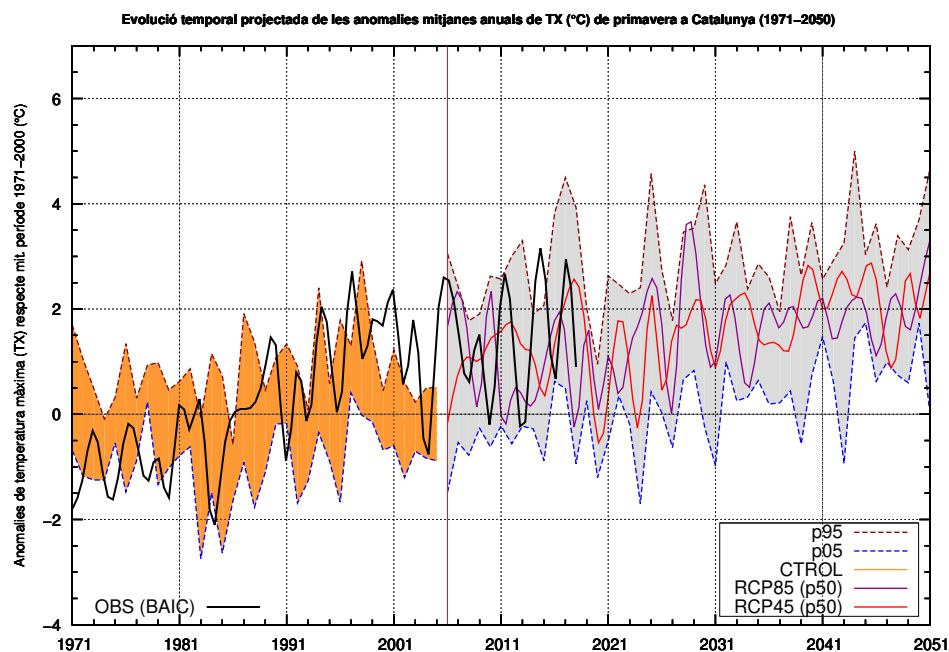
(c) Zona interior



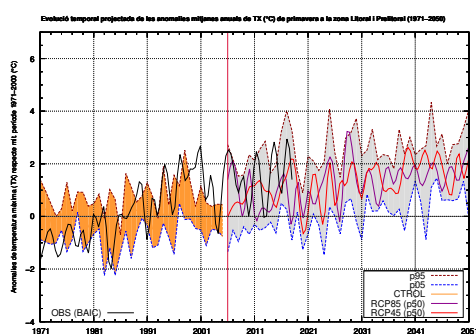
(d) Zona pirinenca

Figura 5.43: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura màxima (TX) d'hivern 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).

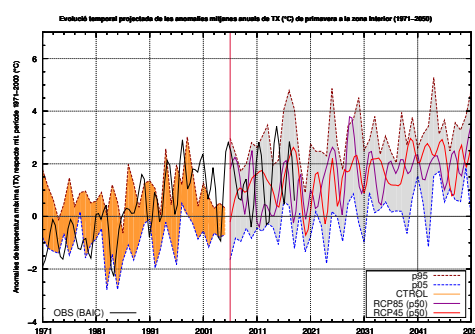
Temperatura màxima mitjana de primavera



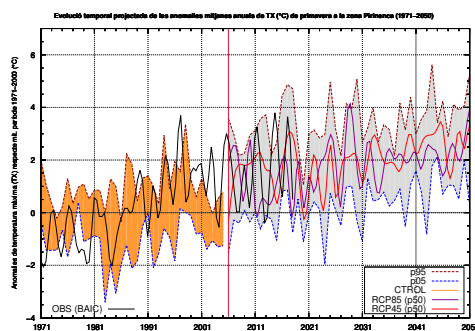
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



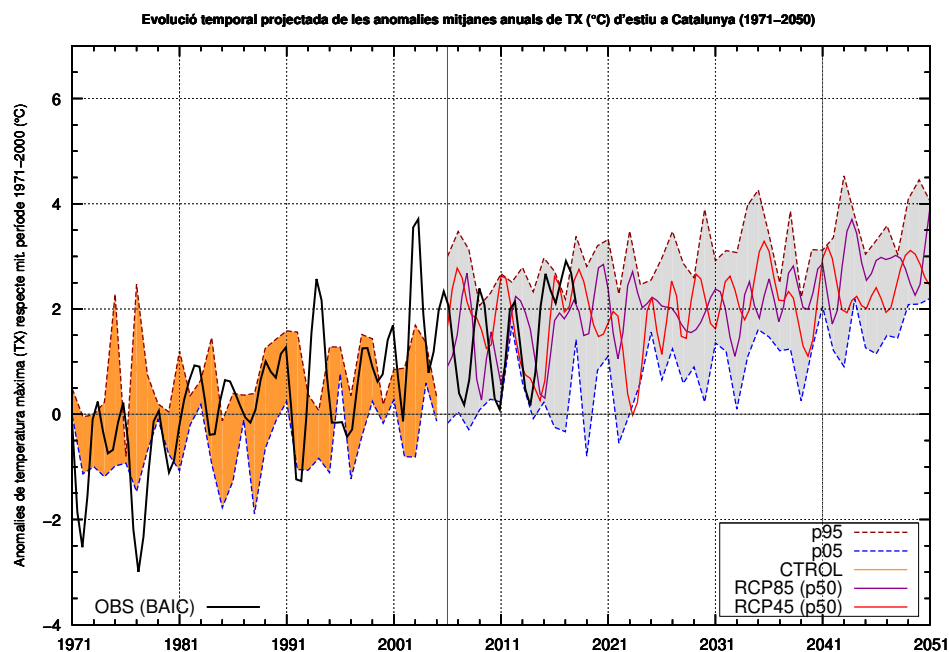
(c) Zona interior



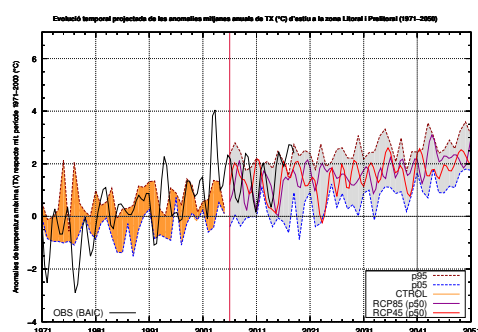
(d) Zona pirinenca

Figura 5.44: Evolució temporal projectada (1971–2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura màxima (TX) de primavera 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).

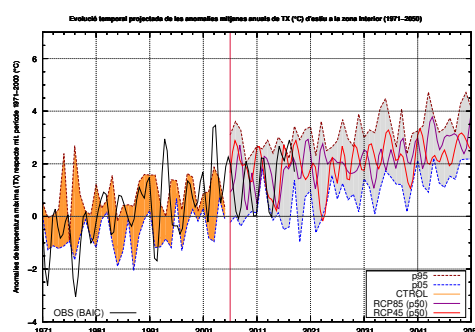
Temperatura màxima mitjana d'estiu



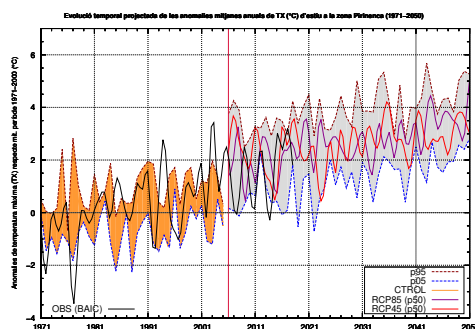
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



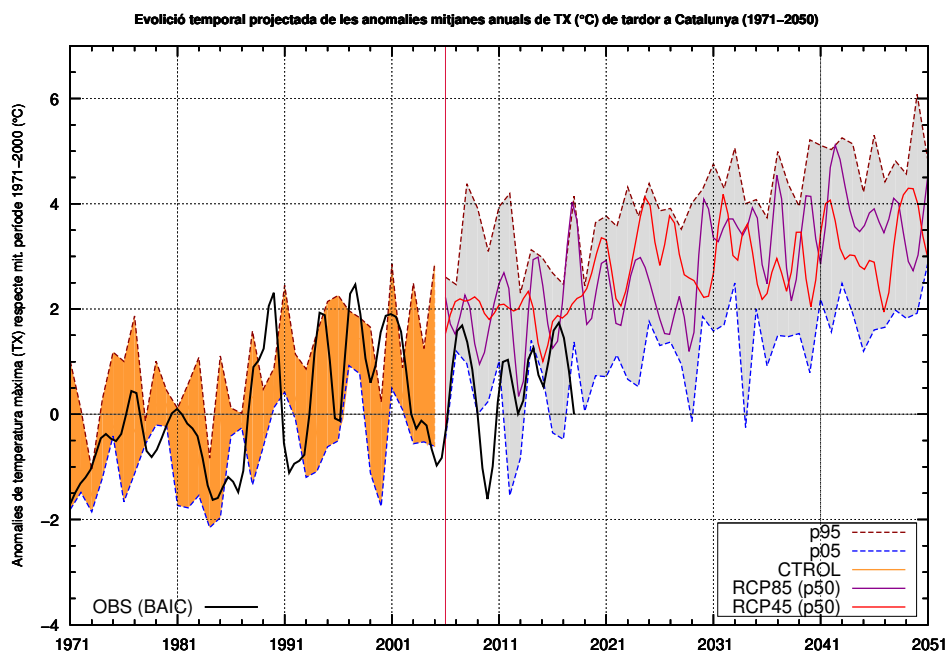
(c) Zona interior



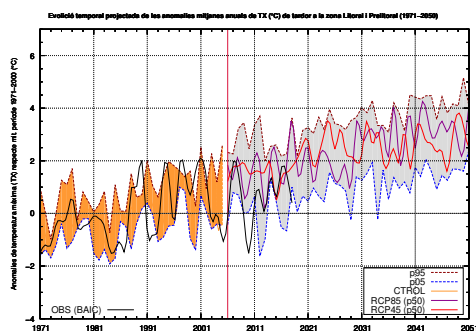
(d) Zona pirinenca

Figura 5.45: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura màxima (TX) d'estiu 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).

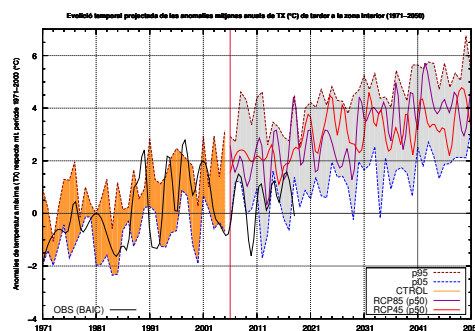
Temperatura màxima mitjana de tardor



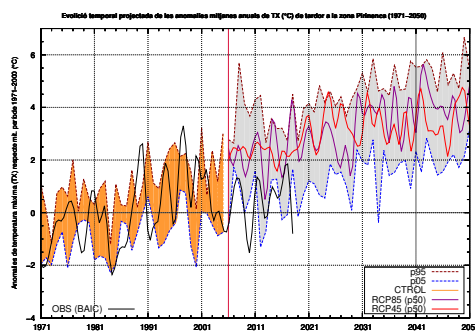
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior

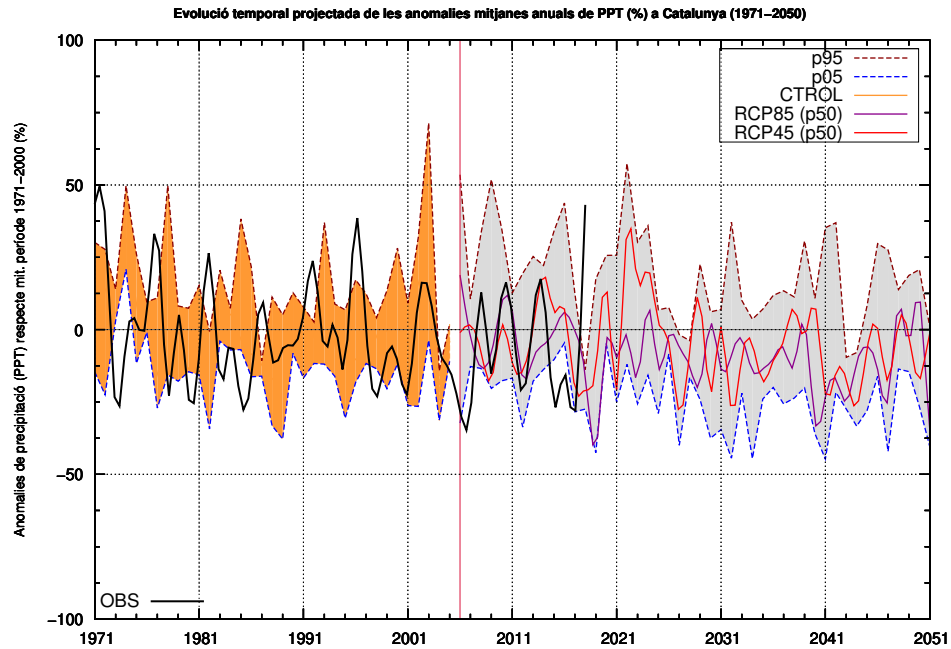


(d) Zona pirinenca

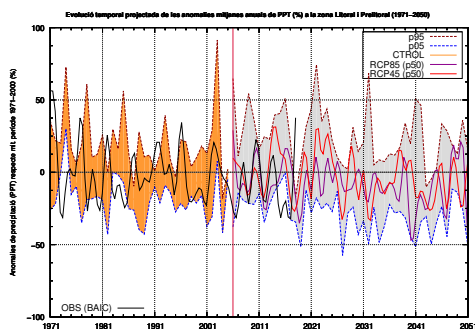
Figura 5.46: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en °C) de temperatura màxima (TX) de tardor respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).

5.2.4 Precipitació acumulada (PPT)

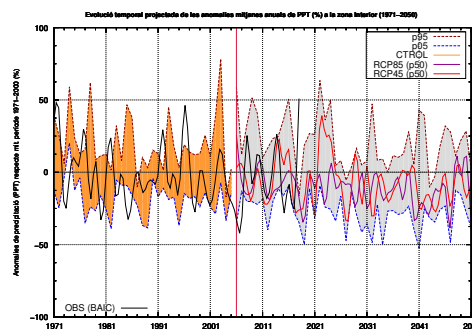
Precipitació mitjana anual



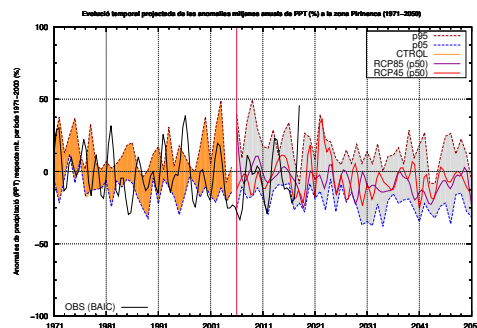
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



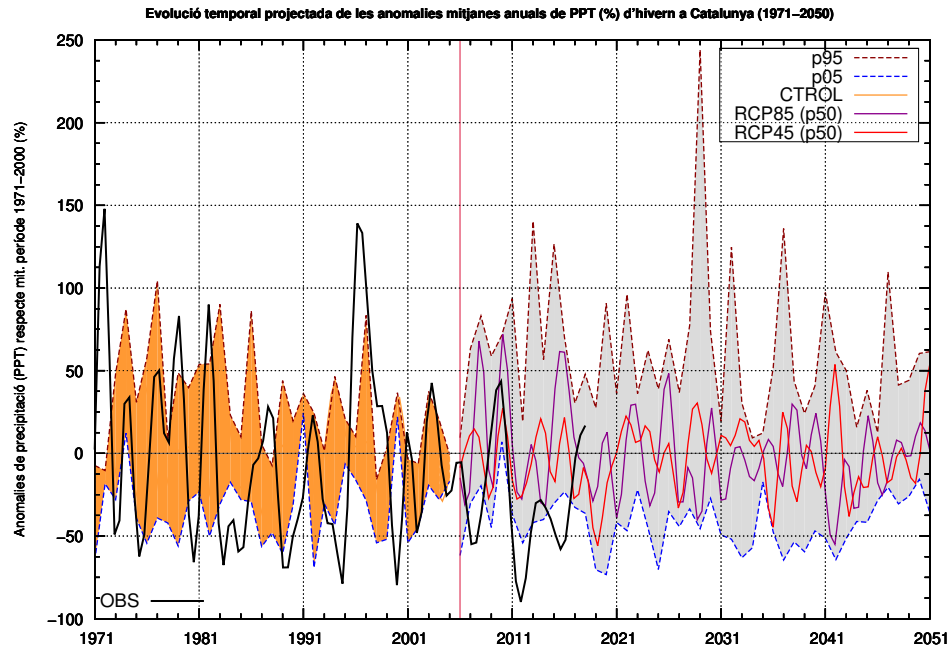
(c) Zona interior



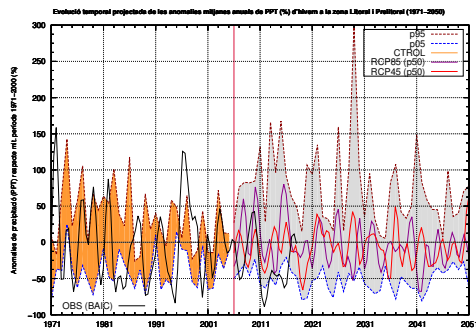
(d) Zona pirinenca

Figura 5.47: 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).

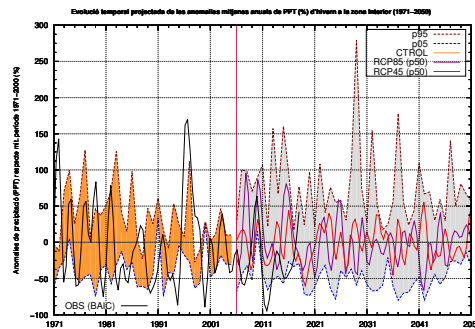
Precipitació mitjana d'hivern



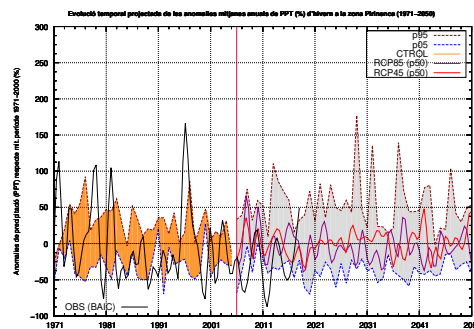
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



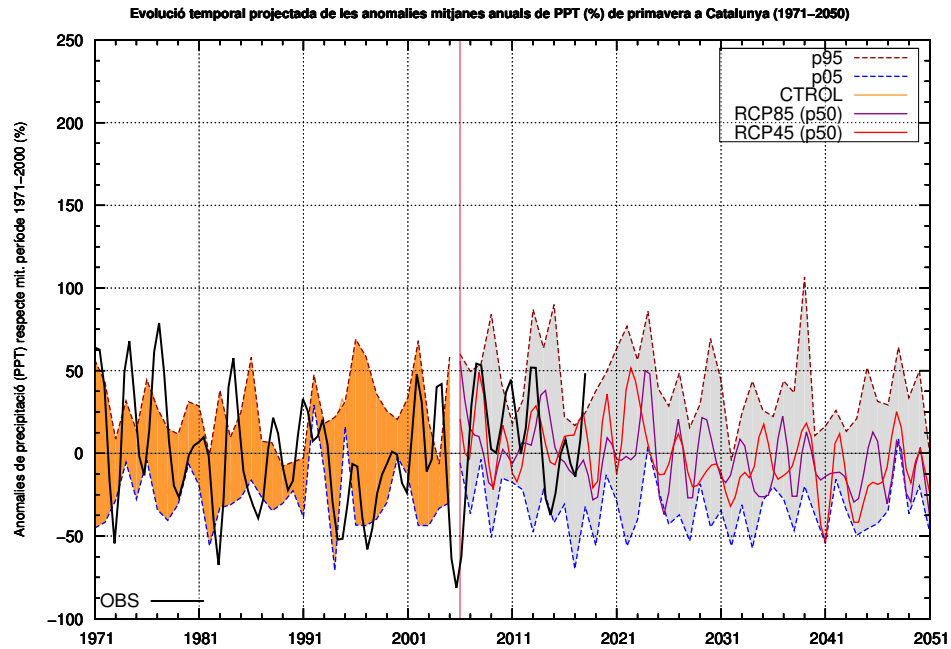
(c) Zona interior



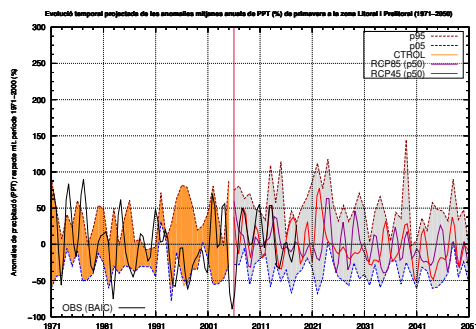
(d) Zona pirinenca

Figura 5.48: Evolució temporal projectada (1971–2100) de les anomalies anuals (en %) de la precipitació (PPT) mitjana d'hivern (DGF) 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).

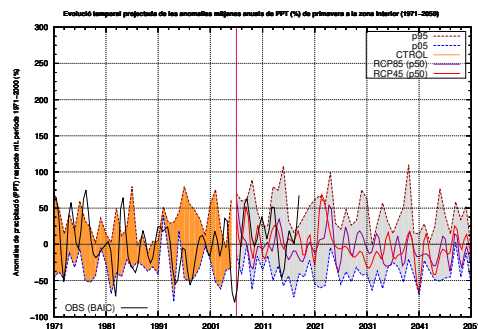
Precipitació mitjana de primavera



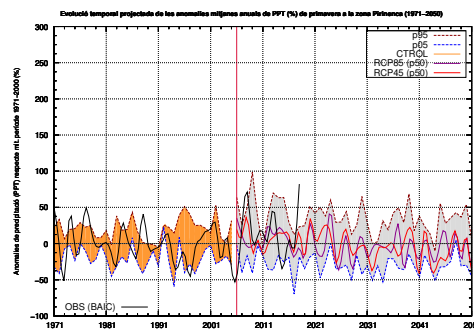
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



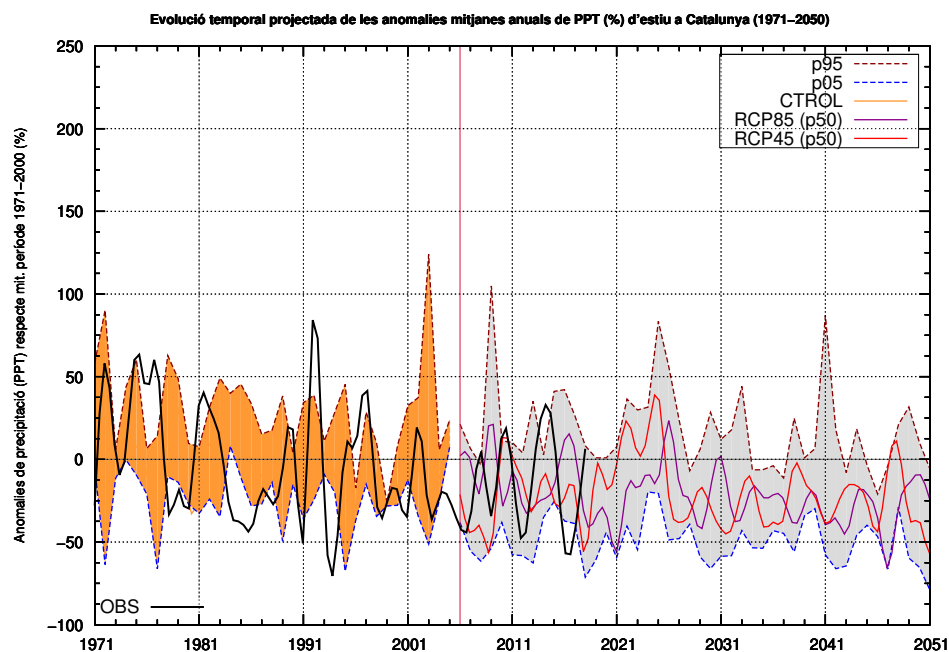
(c) Zona interior



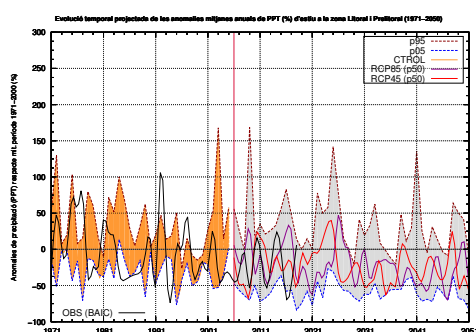
(d) Zona pirinenca

Figura 5.49: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies anuals (en %) de la precipitació (PPT) mitjana de primavera (MAM) 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).

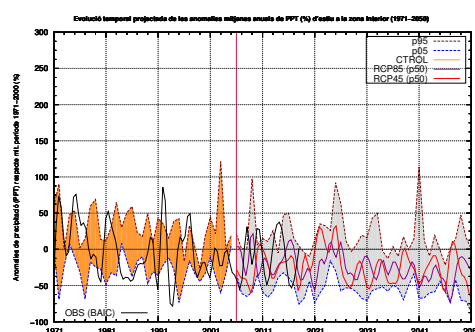
Precipitació mitjana d'estiu



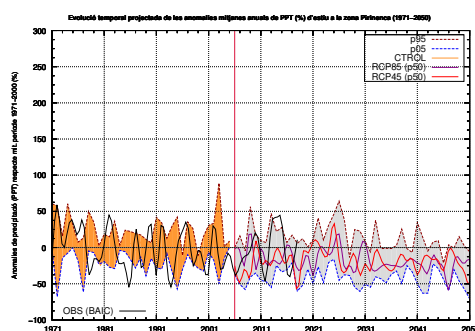
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



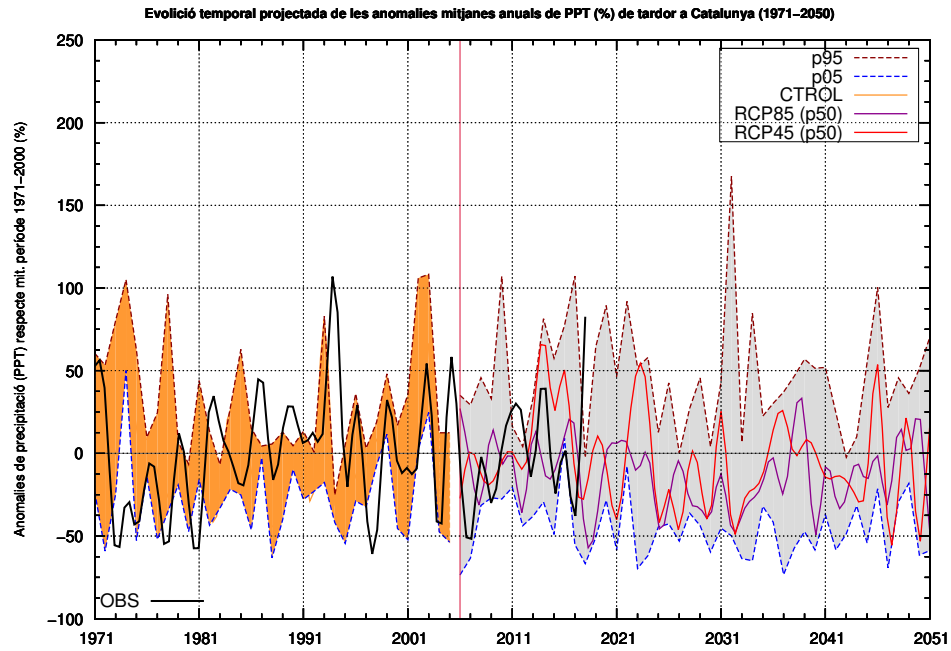
(c) Zona interior



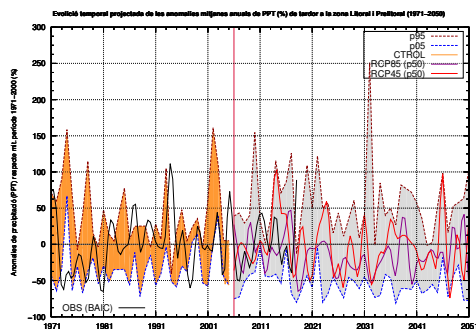
(d) Zona pirinenca

Figura 5.50: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies anuals (en %) de la precipitació (PPT) mitjana d'estiu (JJA) 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).

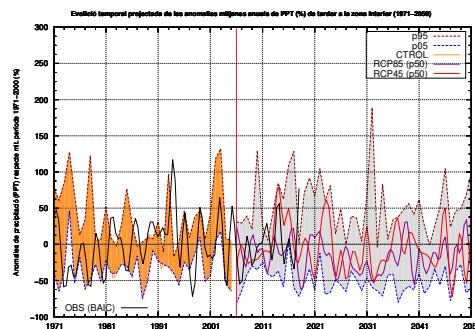
Precipitació mitjana de tardor



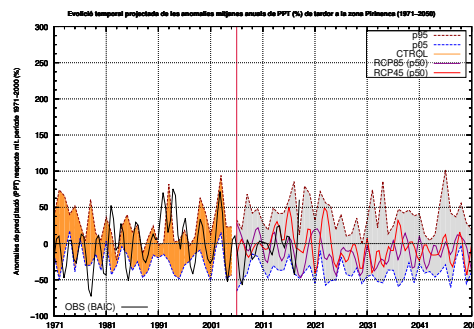
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



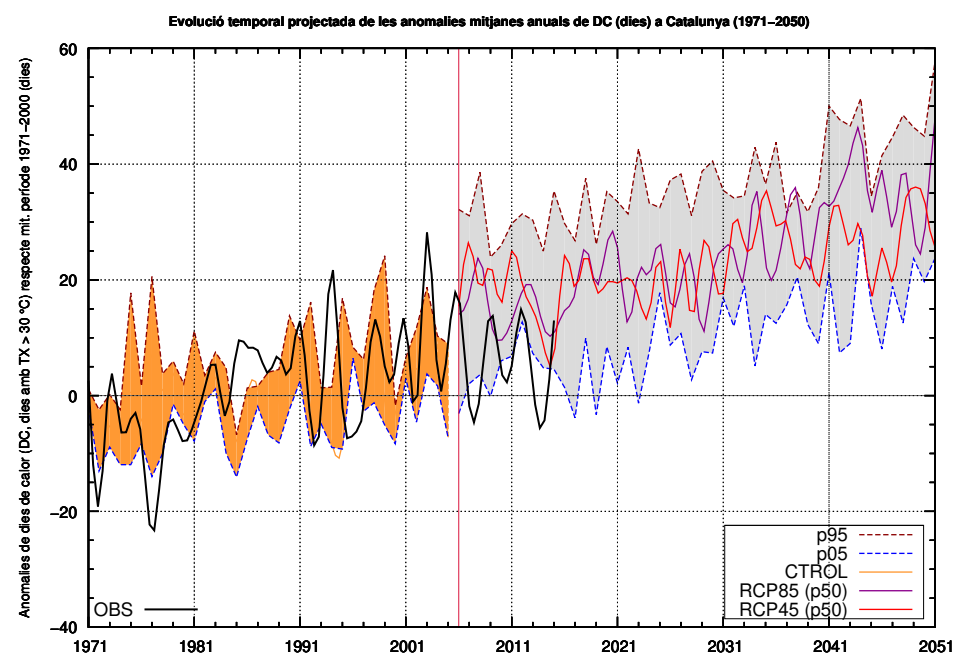
(c) Zona interior



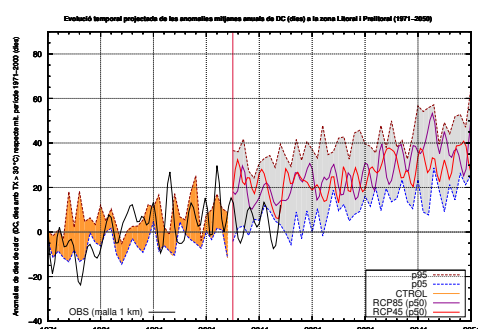
(d) Zona pirinenca

Figura 5.51: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies anuals (en %) de la precipitació (PPT) mitjana de tardor (SON) 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).

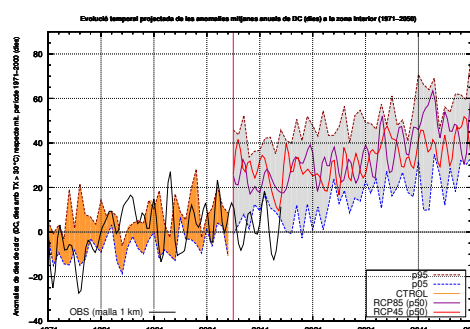
5.2.5 Dies de Calor (DC)



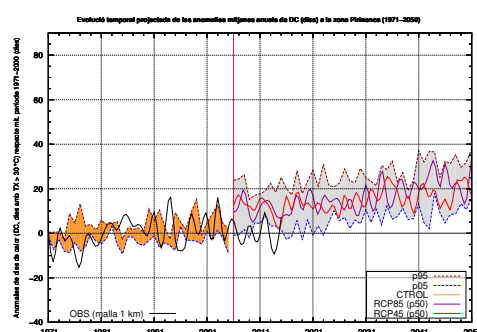
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



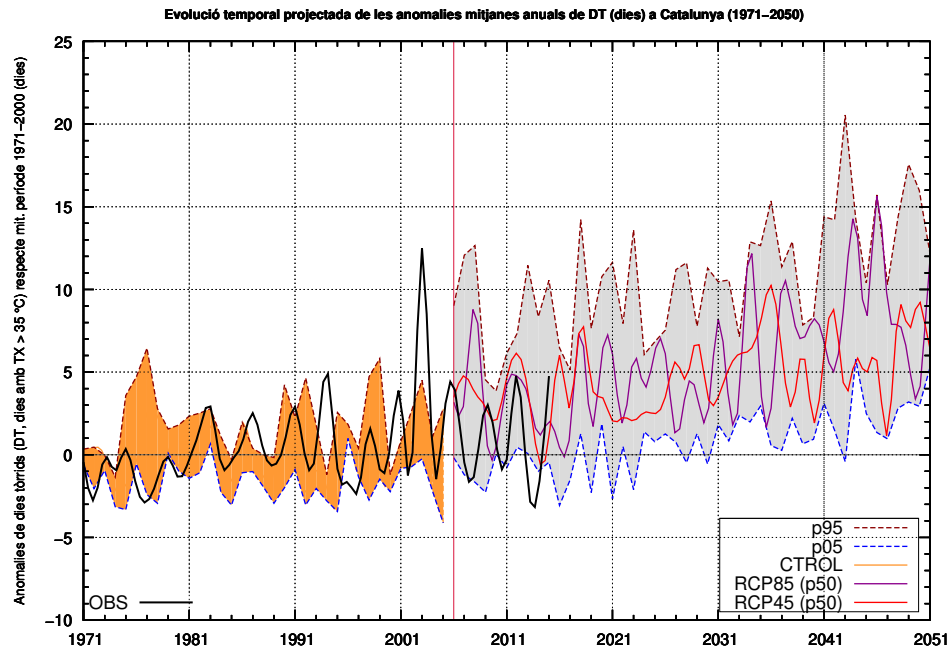
(c) Zona interior



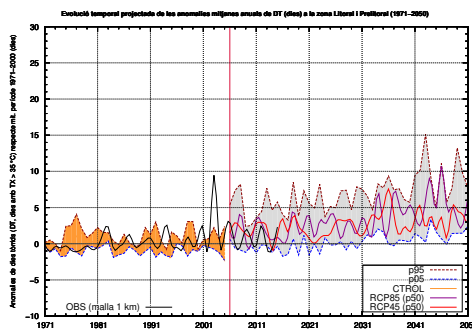
(d) Zona pirinenca

Figura 5.52: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies de calor (DC, dies amb $T_X \geq 30^\circ\text{C}$) 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).

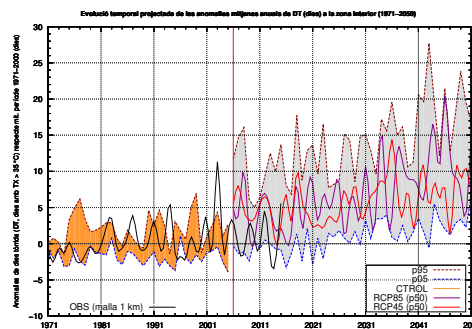
5.2.6 Dies Tòrrids (DT)



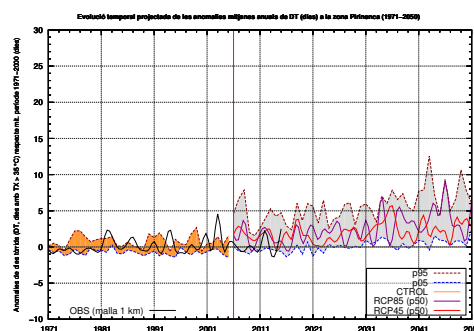
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior



(d) Zona pirinenca

Figura 5.53: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies tòrrids (DT, dies amb $T_X \geq 35^\circ\text{C}$) 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).

5.2.7 Dies de Glaçada (DG)

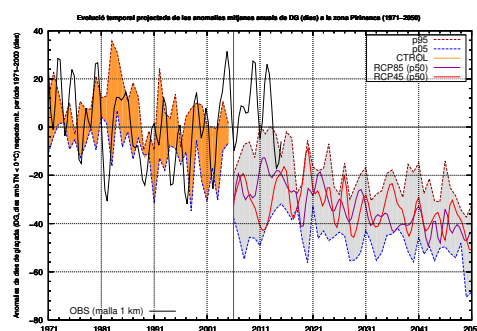
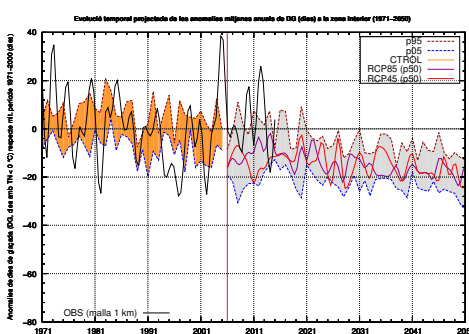
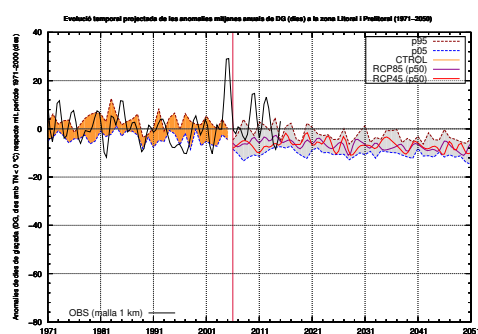
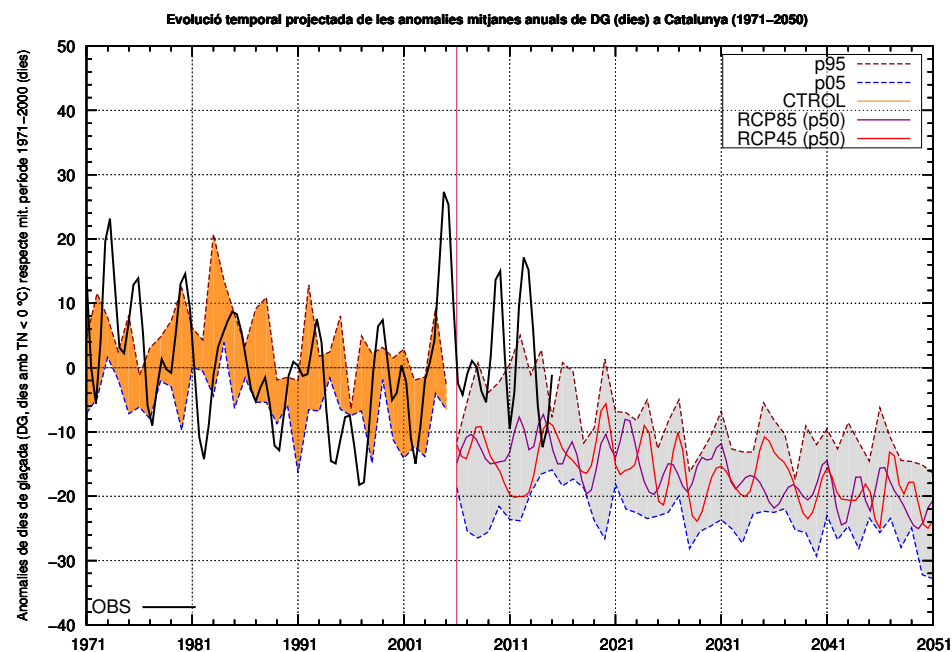
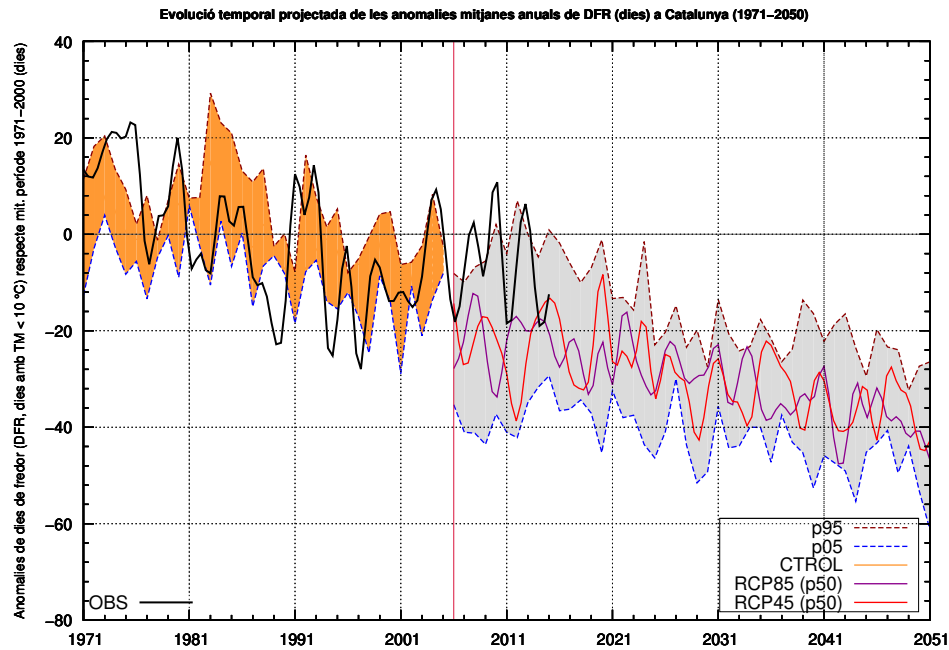
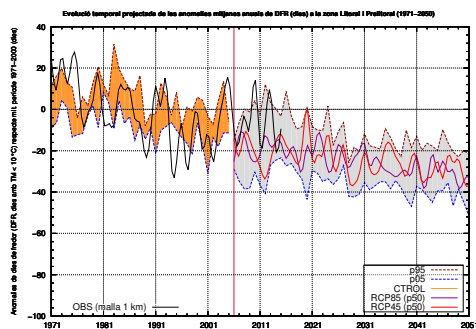


Figura 5.54: *Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies de glaçada (DG, dies amb $TN \leq 0^\circ C$) respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).*

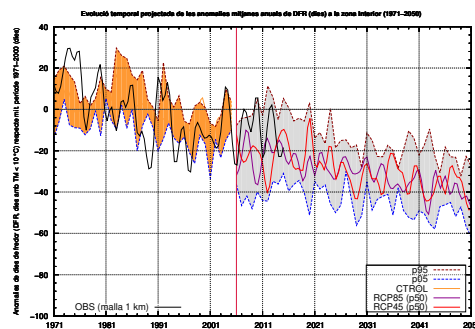
5.2.8 Dies de Fredor (DFR)



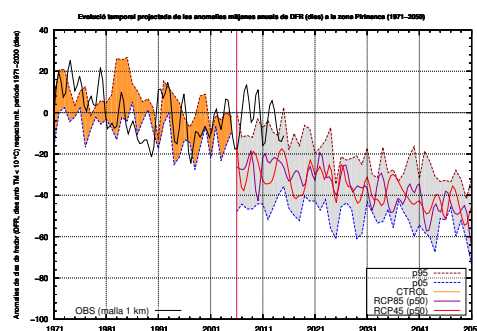
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



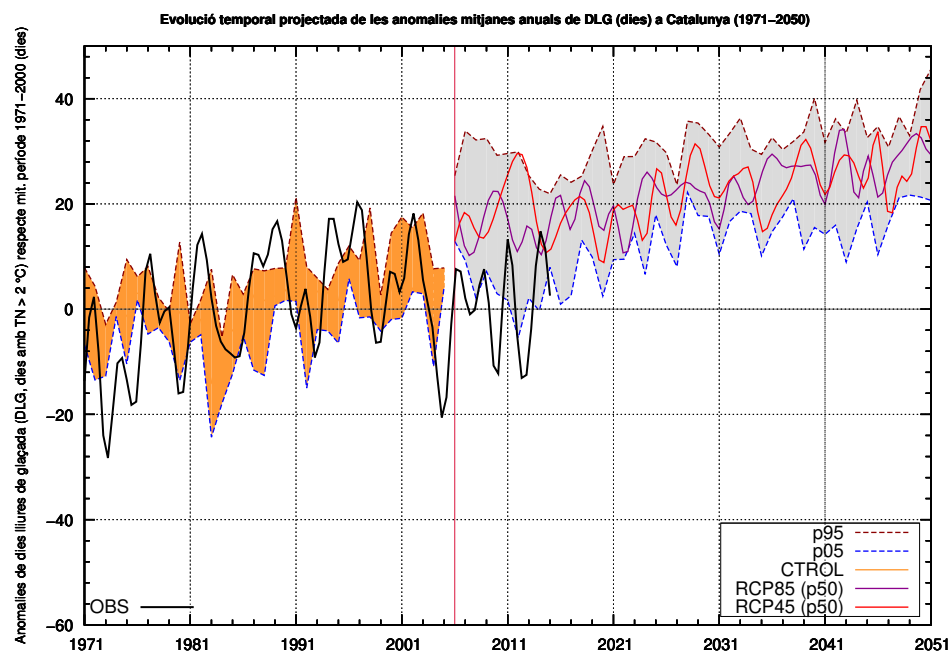
(c) Zona interior



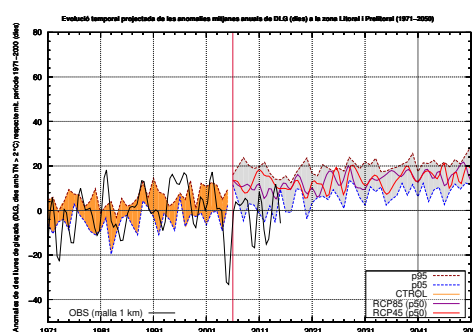
(d) Zona pirinenca

Figura 5.55: Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies de fredor (DFR, dies amb $TM \leq 10^{\circ}C$) 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).

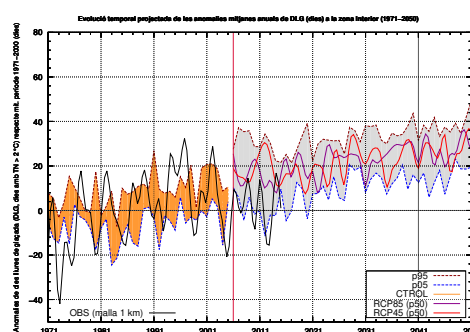
5.2.9 Dies Lliures de Glaçada (DLG)



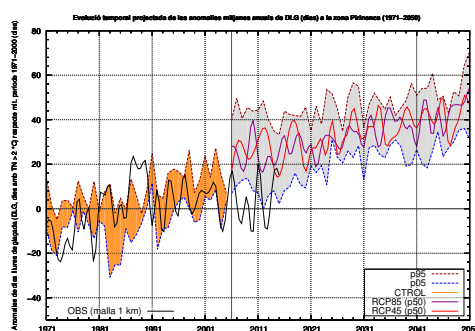
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



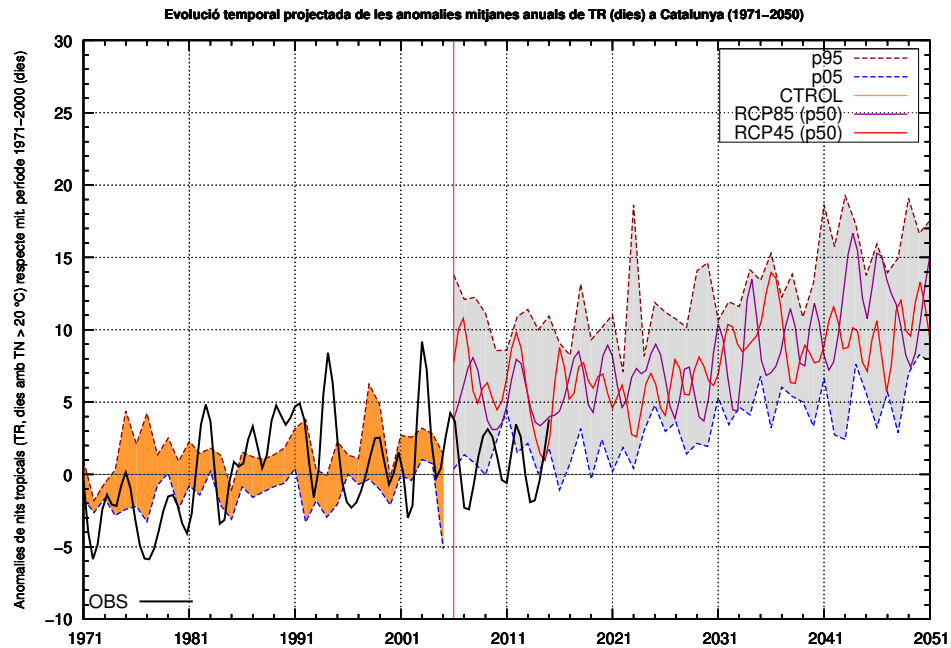
(c) Zona interior



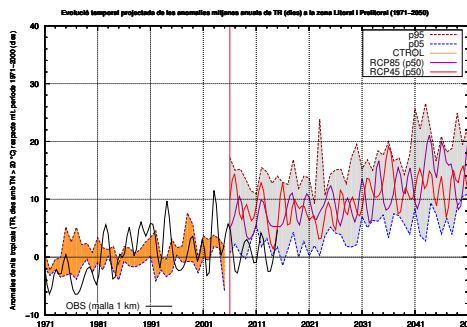
(d) Zona pirinenca

Figura 5.56: *Evolució temporal projectada (1971-2100) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies lliures de glaçada (DLG, dies amb $TN \geq 2^{\circ}C$) 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).*

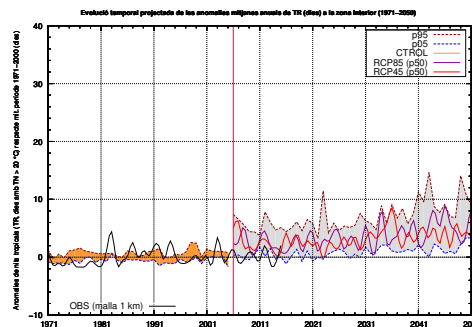
5.2.10 Nits Tropicals (TR)



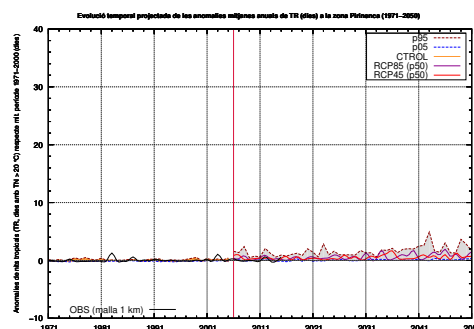
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



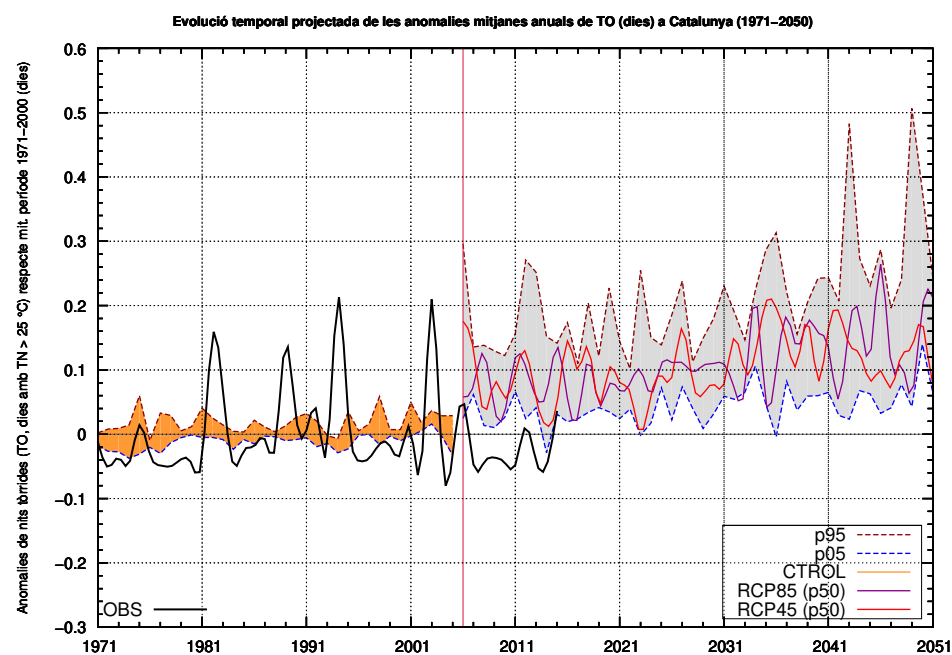
(c) Zona interior



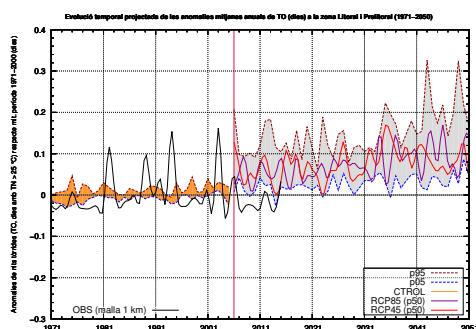
(d) Zona pirinenca

Figura 5.57: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de nits tropicals (TR, dies amb $TN \geq 20^{\circ}\text{C}$) 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).

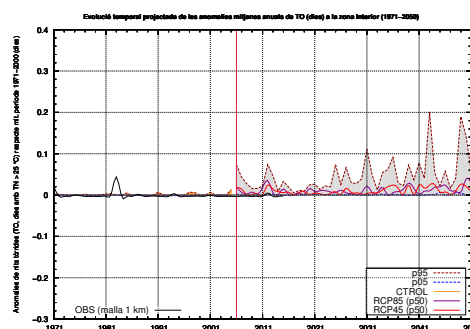
5.2.11 Nits Tòrrides (TO)



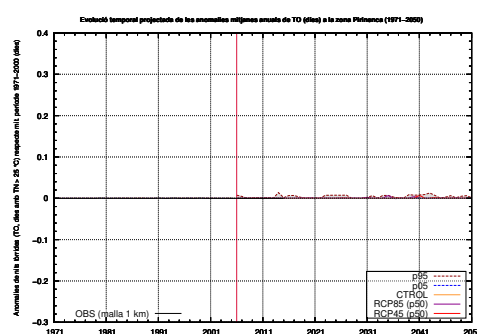
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



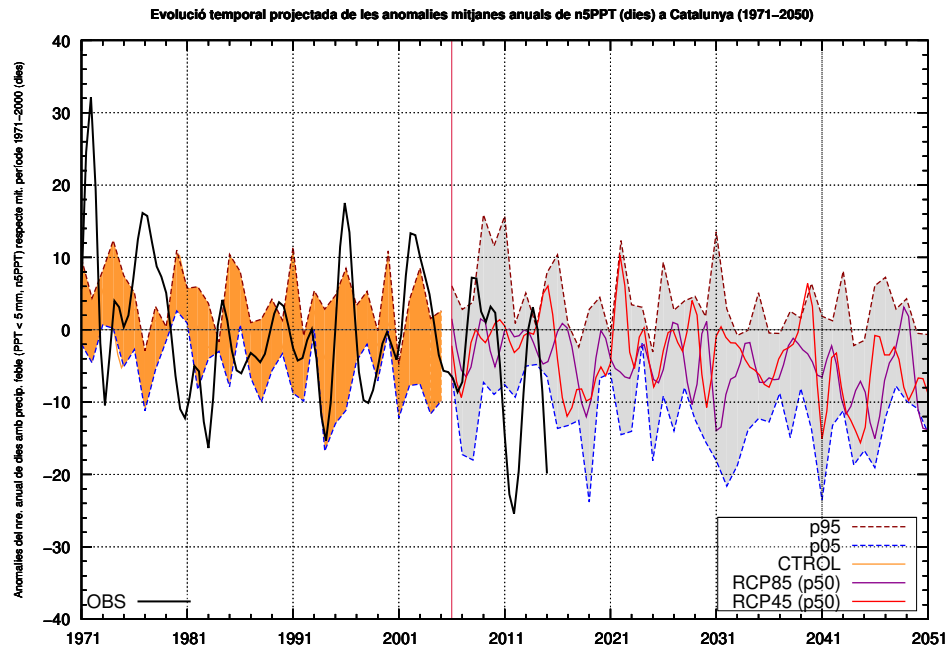
(c) Zona interior



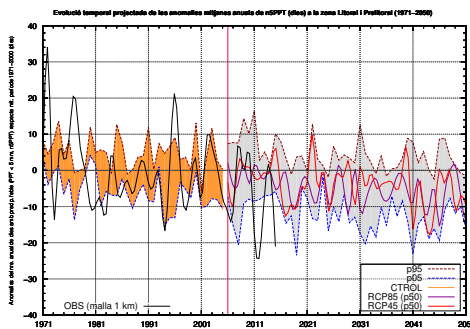
(d) Zona pirinenca

Figura 5.58: Evulsió temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de nits tòrrides (TO, dies amb $TN \geq 25^{\circ}C$) 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).

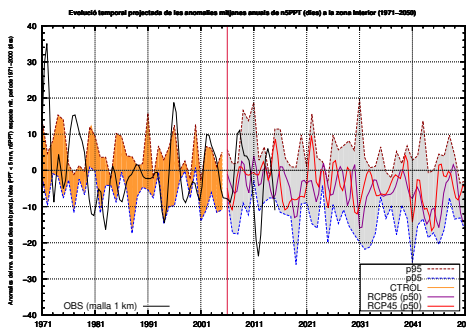
5.2.12 Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)



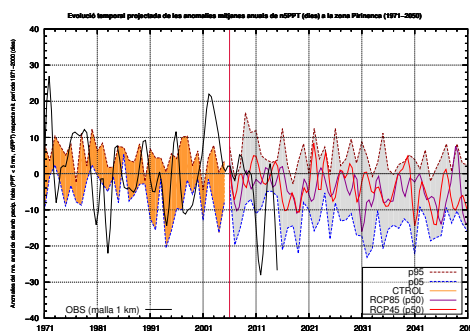
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior



(d) Zona pirinenca

Figura 5.59: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies amb precipitació feble (n5PPT, dies amb $PPT \leq 5 \text{ mm}$) 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).

5.2.13 Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)

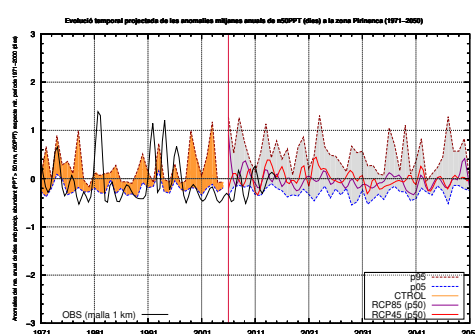
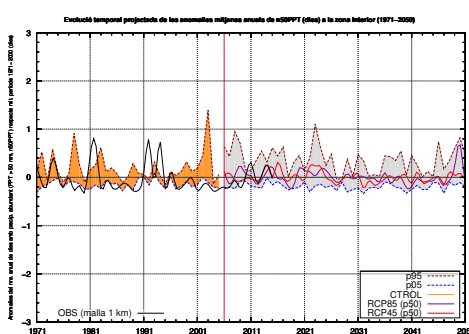
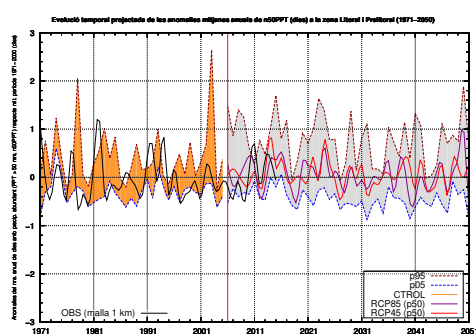
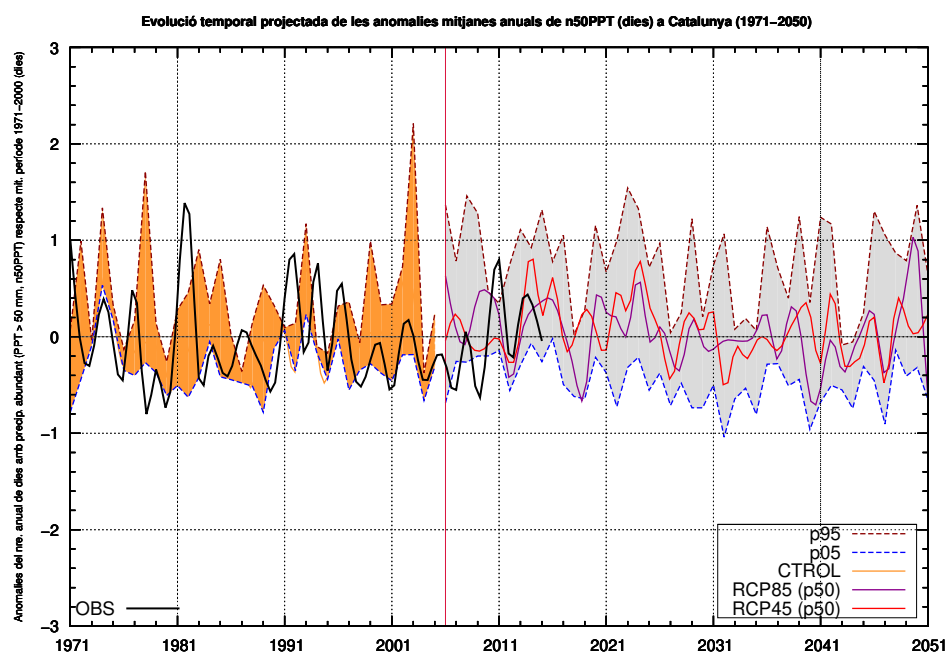
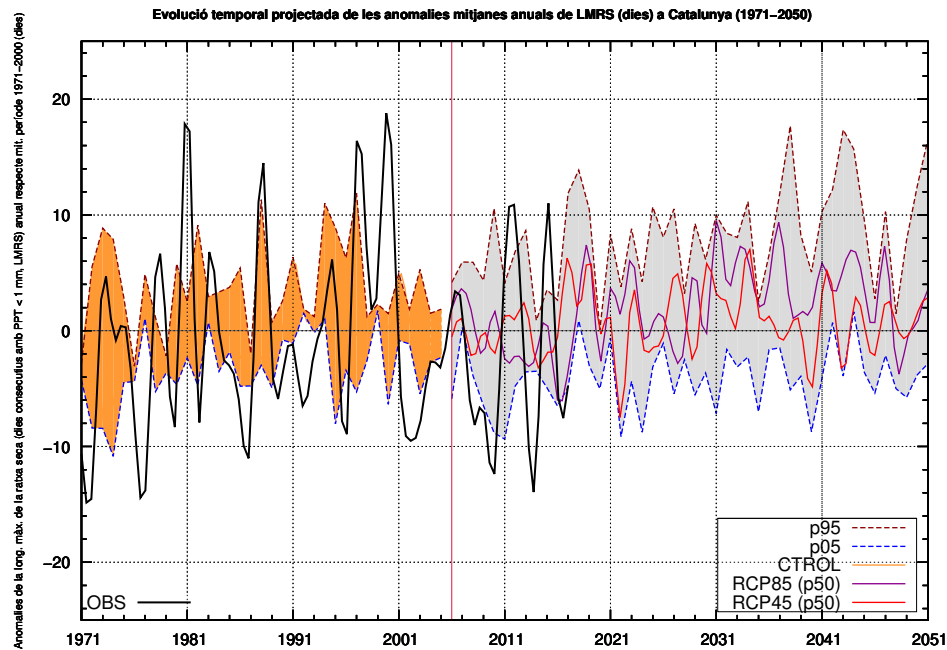
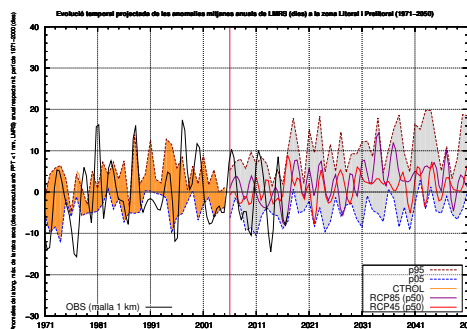


Figura 5.60: *Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) del nombre total de dies amb precipitació abundant (n50PPT, dies amb $PPT \geq 50$ mm) respecte el valor mitjà del període de control (1971-2000) per al conjunt de Catalunya (a), zona litoral i prelitoral (b), zona interior (c) i zona pirinenca (d).*

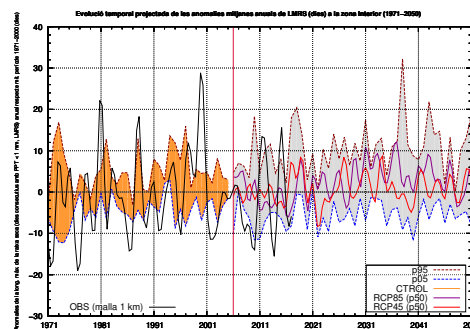
5.2.14 Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)



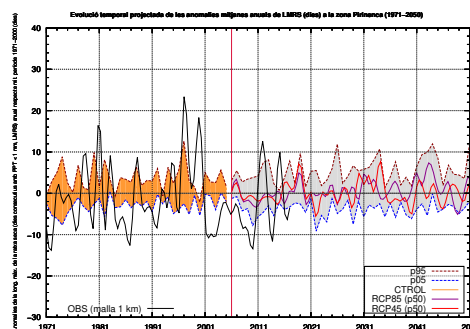
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



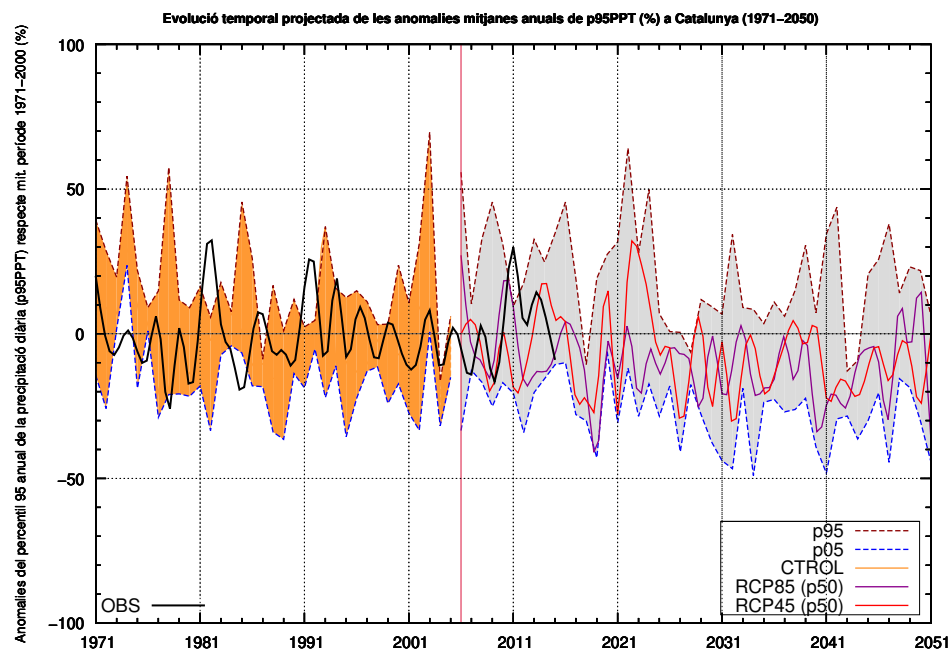
(c) Zona interior



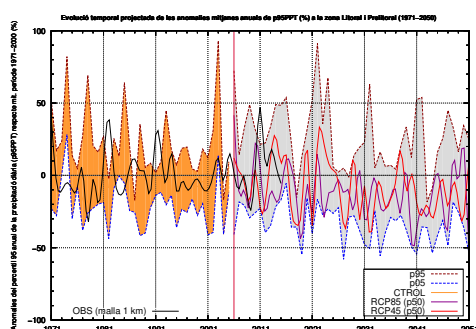
(d) Zona pirinenca

Figura 5.61: *Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en dies) de la longitud màxima de la ratxa seca anual (LMRS, dies consecutius amb PPT < 1 mm) 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).*

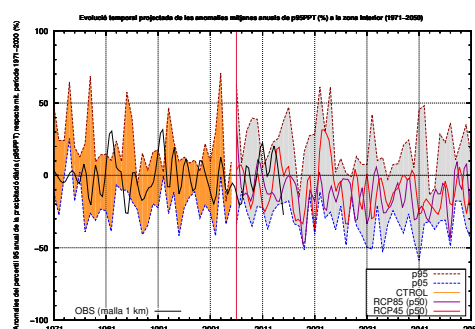
5.2.15 Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)



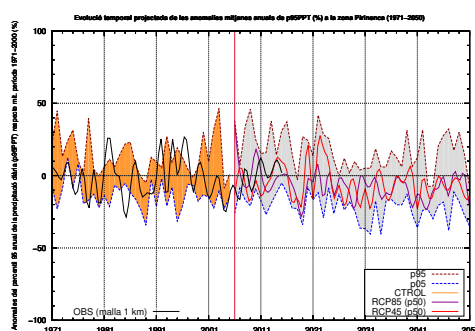
(a) Catalunya



(b) Zona litoral i prelitoral



(c) Zona interior



(d) Zona pirinenca

Figura 5.62: Evolució temporal projectada (1971-2050) de les anomalies mitjanes anuals (en %) del percentil 95 anual de la precipitació apreciable ($PPT \geq 0,1 \text{ mm}$) diària (p95PPT) 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).

5.3 Variacions projectades (2021-2050)

En aquest apartat es mostren les variacions projectades en els camps espacials de les variables analitzades a partir del percentil 50 de les tres simulacions considerades per a cada escenari (RCP4.5 i RCP8.5) i per a dos períodes del s. XXI: el proper decenni 2021-2030 i el proper trentenni 2021-2050, respecte dels seus valors mitjans per al període de control (1971-2000).

En detall es té el següent:

- Per a les variables de la temperatura (TM, TX i TN), els increments són un pèl majors sota l'escenari RCP8.5 que no pas l'RCP4.5, resultats a priori esperables perquè l'evolució estimada en la concentració de CO_2 a l'atmosfera no comença a divergir d'una manera clara fins a patir del 2040 (Figura 3.2). Els majors increments sempre es localitzen al Pirineu, però sobretot a la seva part occidental, existint un gradient d'augment de la variació projectada amb l'altitud. També és de destacar que la diferència entre les projeccions per al proper decenni (2021-2030) i el proper trentenni (2021-2050) no són excessivament molt diferents, amb diferències com a molt al voltant dels $+0,3$ °C. Amb la qual cosa és d'esperar que els canvis projectats per a la temperatura de cara als propers 30 anys ja estiguin començant a notar-se ara mateix o en breu temps.

- A escala anual, per a la TM (Figura 5.63) es projecten increments que podrien assolir valors superiors als $+3,6$ °C per al període 2021-2050 segons l'escenari RCP8.5 als cims del Pirineu occidental i per davall dels $+1,0$ °C a punts de la façana litoral. Per a la TX (Figura 5.73), els increments serien majors, superiors als $+4,2$ °C segons l'RCP8.5. En canvi per a la TN (Figura 5.68), aquests mateixos increments serien menors, superiors als $+3,3$ °C.

- Estacionalment, per a la temperatura (TM, TN i TX) existeixen diferències apreciables en el comportament de cada estació, sent els majors increments projectats a la tardor, amb valors de variació per al període 2021-2050 als cims del Pirineu occidental superiors als $+4,0$ °C per a la TM, als $+3,0$ °C per a la TN i als $+4,5$ °C per a la TX (amb algun punt assolint increments al voltant de $+5,1$ °C). Es torna a observar una major variació per a la TX que no pas la TN, tal i com s'ha comentat més amunt a escala anual. Els increments projectats a l'estiu (Figures 5.66, 5.71 i 5.76) són menors que els de la tardor, ocupant el segon lloc en l'escalfament estacional projectat, tot i que per a la zona litoral-prelitoral la primavera (Figures 5.65, 5.70 i 5.75) s'escalfaria més que l'estiu. Finalment, l'hivern és l'estació per a la qual es projecten els menors increments (Figures 5.64, 5.69 i 5.74). El comportament mostrat estacionalment implicaria un avançament de les condicions estiuenques cap a final de la primavera i sobretot un allargament de les mateixes cap a l'inici de la tardor o més enllà. Aquest fenomen en els últims anys ja s'està observant en alguns indrets de la Mediterrània occidental com és el cas de la sèrie climàtica de l'Aeroport de Palma (Mallorca) segons l'estudi de Jansà *et al.* (2017). Finalment s'ha de comentar que el major ritme d'escalfament a la zona pirinenca fa que existeixin diferències en els valors projectats per al Pirineu occidental que arriben a ser de l'ordre de $+3,0$ °C superiors als valors projectats per a la façana litoral.

Com a curiositat que s'ha trobat en l'anàlisi de les variacions estacionals de la temperatura, s'hauria de comentar el fet que per al proper decenni 2021-2030, les simulacions apunten que la TN mitjana de primavera no patiria gaires canvis respecte el període 1971-2000 o inclús podria disminuir lleugerament per algunes fondalades del prelitoral així com de la Catalunya Central i del Prepirineu (Figura 5.70a). Aquest resultat és a priori força xocant tenint en compte que ens trobem en un context d'escalfament global. Encara que no ho sembli, aquest resultat és

compatible amb l'escalfament global, ja que aquest està produint una alteració en la freqüència dels patrons generals de circulació de l'atmosfera. A la nostra àrea, per exemple està augmentant la freqüència de situacions anticiclòniques. Aquestes situacions són favorables al fenomen de la inversió tèrmica amb un refredament molt efectiu de la temperatura a les fondalades principals del país podent assolint valors molt baixos de la TN, mentre la resta del territori manté valors de TN força més elevats. Si aquestes situacions es donen amb una major freqüència transitòriament poden fer canviar la tendència a l'augment de la TN en un indret localment.

El comportament anòmal que s'acaba de comentar, ja ha començat a ser observable en algunes sèries situades en fondalades de l'Alt Penedès com a Sant Sadurn d'Anoia o de l'Anoia, als Hostalets de Pierola, tot i que són sèries de menys de 30 anys (SMC, 2017). De la resta de Catalunya, no hi ha cap sèrie climàtica de referència que es trobi en una zona enclotada de totes aquelles que s'analitzen per al Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics de Catalunya (BAIC). No obstant això, en altres zones de l'àmbit de la Mediterrània occidental sí que s'ha observat aquest comportament anòmal, com és el cas de la vila d'Atzeneta del Maestrat (l'Alcalatén, Castelló, País Valencià). L'estació meteorològica d'Atzeneta es troba en una vall prelitoral enclotada als peus del Maestrat i del massís del Penyagolosa i té unes característiques geomorfològiques semblants a les de la vall de l'Anoia (on estan situades les sèries de Sant Sadurn d'Anoia o els Hostalets de Pierola) tot i que situada a una major altitud (entre 375 i 425 m s.n.m) i les serres que l'envolten tenen cims superiors als 1000-1200 m s.n.m. L'emplaçament d'aquest observatori no ha canviat en els seus més de 75 anys (des de 1943) de vida, el qual es troba situat en un bancal sense obstacles propers, als afores de la vila (Núñez-Mora, 2017). Per tant, la seva sèrie climàtica de temperatura és del tot homogènia. Amb tot això, l'evolució temporal de la mitjana anual de la TN d'hivern a Atzeneta del Maestrat presenta una tendència a la disminució ($-0,07^{\circ}\text{C}$ per decenni). Tot i així, aquest comportament, almenys a Catalunya, sembla que seria transitori, ja que per al proper trentenni 2021-2050 el conjunt de les simulacions desenvolupades el fan desaparèixer (Figura 5.70c).

- Per a la PPT, a escala anual les disminucions més importants es donen per a l'escenari RCP8.5 i per al trentenni 2021-2050. En general es projecta per a gran part del país pocs canvis amb una lleugera disminució dels valors totals. Les disminucions projectades són més importants per al sector nord-est del país que podrien situar-se per davall del -30% , mentre que la zona del delta de l'Ebre podria incrementar-se la PPT mitjana anual per damunt del $+5\%$.

- A escala estacional, és molt clara la disminució projectada de la PPT a l'estiu, que podria arribar a ser, per al període 2021-2050 segons l'RCP8.5, per davall del -40% al prelitoral tarragoní i gairebé tota la meitat sud del país podria veure reduïda la PPT d'estiu amb valors per sota del -25% . Per a la tardor també sembla projectar-se una disminució general de la precipitació a gran part del territori, però sobretot a la zona litoral i el nord-est del país, amb variacions que podrien situar-se per sota del -25% . Aquesta reducció projectada és un fet molt negatiu, ja que la tardor és l'estació més plujosa en aquestes zones (Figura 3.6), amb la qual cosa la reducció en quantitat de mil·límetres de precipitació podria arribar a ser considerable.

En canvi, per a la PPT de primavera aquestes reduccions serien poc importants i inclús per al proper decenni (2021-2030) s'espera un increment de la PPT a gran part del país (Figures 5.80a i 5.80b) amb uns increments en consonància amb les anomalies excepcionals observades durant la passada primavera del 2020 (SMC, 2020b), sobretot segons l'escenari RCP4.5. De totes maneres per al proper trentenni (2021-2050) es projecta una lleugera disminució general a gran part el país (Figures 5.80c i 5.80d) que deixaria aquest augment transitori en gairebé res.

Finalment, per a la PPT d'hivern les projeccions són molt incertes i força diferents entre els dos escenaris considerats així com entre els dos períodes analitzats.

- Per als DC i DT es projecta un augment significatiu dels valors mitjans anuals independentment de l'escenari i període considerat. A la depressió Central i la vall de l'Ebre aquest augment es podria situar per damunt dels +50 dies per als DC i dels +20 dies per als DT. Com era d'esperar als cims del Pirineu no s'espera cap canvi en aquests índexs ja que pràcticament no s'enregistra cap dia amb valors tan elevats per a la TX (Figures 5.21a i 5.22a).

- Per als DFR es projecta una disminució general a tot el territori en consonància amb l'increment significatiu projectat per a la TM a tot el país (Figura 5.63). Les variacions en els DFR podrien assolir valors per davall dels -50 dies als cims del Pirineu occidental, amb gran part del país amb valors per sota dels -20 dies.

- Per als DG també es projecta una reducció gairebé general a tot Catalunya, amb valors que podrien arribar a situar-se per davall dels -60 dies als cims del Pirineu occidental. Aquesta marcada disminució també podria comportar que per algunes zones de la façana litoral no es registrin glaçades cap any. No obstant això, per a certes fondalades del prelitoral i de la Catalunya Central, es projecta un increment superior als +5 dies per als dos períodes i escenaris considerats (Figura 5.85). Com s'ha comentat més amunt quan s'analitzava el comportament de les variacions projectades per a la TN estacional (Figures 5.69 a 5.72), aquest fet està relacionat amb l'increment de les situacions anticiclòniques a la part freda de l'any, però sobretot a la primavera, ja que l'escalfament global de la Terra està alterant la freqüència dels principals patrons de circulació atmosfèrica a l'Atlàntic nord i el continent europeu. L'augment de les situacions anticiclòniques afavorirà l'efecte de la inversió tèrmica amb un refredament nocturn molt eficient a les àrees del país propenses a tal efecte, i per tant, que la probabilitat de registrar glaçades pugui augmentar en aquestes zones d'una manera apreciable. Finalment sobre els DG s'ha de comentar que zones de la franja litoral en les quals pràcticament no es registren glaçades cap any (Figura ??) no mostren com és obvi cap canvi en aquesta variable.

- Per als DLG (Figura 5.87), variable gairebé complementària als DG, s'observa un comportament idèntic, però amb les variacions invertides respecte als DG (Figura 5.85). La majoria del territori presenta augments importants per a tots dos períodes així com escenaris d'emissions. Aquests augments podrien assolir valors per damunt dels +60 dies cap als cims del Pirineu occidental per al període 2021-2050. També s'observen disminucions per a aquesta variable en diverses fondalades del prelitoral que podrien assolir valors per sota del -5 dies d'igual manera que per a aquestes zones es projectava un augment dels DG superior als +5 dies. Els motius d'aquest comportament diferenciat respecte la resta del territori és el mateix que s'ha comentat en el paràgraf anterior per als DG. També és obvi que si augmenta els DG anuals han de disminuir els DLG anuals.

- En relació amb les TR, es projecten augments apreciables a gran part de la meitat sud del territori i tota la zona prelitoral per als dos períodes i escenaris considerats, amb valors que podrien trobar-se per damunt dels +50 dies a les zones més càlides del litoral Central i Sud (Figura 5.88). És de destacar que zones de l'interior i properes al Prepirineu que actualment gairebé no presenten cap registre de TR a l'any, començarien a tenir-ne algunes gairebé cada estiu. En canvi, el terç nord del país, exceptuant el litoral i prelitoral del nord-est, no presenta cap canvi en aquest índex, ja que pràcticament no se solen registrar TR cap any (Figura 5.26a),

ja que engloba tota la zona pirinenca que té uns valors mitjans de la TN força baixos durant la part càlida de l'any, per davall dels 12 °C de mitjana (Figura 5.9a).

- En referència a les TO, el qual és un índex molt extrem de la banda alta de la TN, només presenta canvis apreciables a la façana litoral i sobretot a les zones més càlides, que és on solen haver-hi registres d'aquest índex cada any (Figura 5.27a). Així doncs, per la costa Central i el delta de l'Ebre es projecten variacions superiors als +10 dies per al període 2021-2050. S'ha de destacar també que algunes zones càlides de l'interior que actualment gairebé no registren cap TO a l'any començarien a registrar-ne alguna gairebé cada estiu. Això podria tenir impactes en la salut de les persones vulnerables als episodis de calor nocturna, ja que ni els edificis d'aquelles zones ni les persones hi estan habituats a aquest extrem tan elevat de TN.

- Per als n5PPT es projecta una disminució general a gairebé tot arreu i sobretot per al període 2021-2050. Aquesta disminució assoliria valors de variació per davall dels -10 dies en zones del Pirineu i Prepirineu occidental així com del prelitoral Nord, sobretot per a l'escenari RCP8.5 (Figura 5.90d). De manera similar també es projecta un augment per a la LMRS, força general a tot el territori, però principalment a les Terres de Ponent, vall de l'Ebre i l'Empordà, el qual podria arribar a situar-se per damunt dels +10 dies per al període 2021-2050 (Figura 5.92). Aquest augment implicaria una major durada i per tant una major intensitat de les sequeres. És preocupant aquest fet, 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. Addicionalment, són indrets que ja estan experimentant actualment un augment significatiu en les seves necessitats de reg. Per als propers 30 anys no es projecten canvis gaire significatius per a la LMRS al terç nord del país, on es troben les capçaleres principals dels rius catalans que abasteixen els principals embassaments destinats a reg (embassaments de les conques del Segre) així com els destinats a l'abastament urbà (embassaments de les conques del Ter i el Llobregat). Amb la qual cosa, hom podria esperar a priori que no cal preocupar-se en excés pel futur increment en la demanda del reg. No obstant això, per a l'escenari RCP8.5 sí que algunes zones d'aquestes capçaleres podrien patir períodes secs més llargs que els actuals en el proper trentenni. A més, si es té en compte que s'ha trobat que per a la zona nord-est del país es projecta una reducció de la precipitació mitjana anual per damunt del 30 % per al període 2021-2050, es podria posar en perill la capacitat dels embassaments actuals per a poder abastir aigua a l'agricultura de regadiu i alhora a les necessitats domèstiques dels ciutadans. Per tant, són necessàries la implementació de mesures per a l'eficiència del reg actual i sobretot per a la reducció de les necessitats del mateix. Finalment cal comentar que transitòriament el proper decenni (2021-2030) podrien haver-hi zones de la meitat nord del país on es reduïssin els períodes secs.

- En relació als n50PPT es projecten pocs canvis o augments apreciables, superiors a +1 dia, sobretot a les Terres de l'Ebre així com zones del litoral i prelitoral Central (Figura 5.91). 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 valor mitjà dels n50PPT per al terç sud de Catalunya (Figura 5.29a).

- Finalment per tal d'acabar amb els índexs climàtics pluviomètrics, cal comentar que el p95PPT es podria veure disminuït en gran part del territori (Figura 5.93), tret de l'extrem sud-oest i sobretot considerant l'escenari RCP4.5, on s'hi projecta un augment apreciable dels n50PPT (Figura ??). Tot i així, com que aquest índex no està ben reproduït per les simulacions (Figura 5.31c) no seria massa robusta la disminució projectada en aquest índex.

Taula 5.5: 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
TM (°C)	Anual	+1,7 [+0,3 ; +3,5]	+2,1 [+0,7 ; +3,9]	+1,7 [+0,4 ; +3,6]	+2,1 [+0,9 ; +3,7]
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]
TX (°C)	Anual	+1,9 [+0,1 ; +4,0]	+2,2 [+0,5 ; +4,5]	+1,9 [+0,3 ; +4,1]	+2,4 [+0,7 ; +4,3]
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]
TN (°C)	Anual	+1,5 [-0,3 ; +3,1]	+1,9 [+0,7 ; +3,5]	+1,5 [+0,3 ; +3,1]	+1,9 [+0,8 ; +3,4]
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]
PPT (%)	Anual	-2,7 [-16,7 ; +17,6]	-5,3 [-16,0 ; +7,8]	-5,6 [-16,1 ; +5,9]	-9,4 [-20,3 ; -2,0]
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]

A la Taula 5.5 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).

5.3.1 Temperatura mitjana (TM)

Temperatura mitjana anual

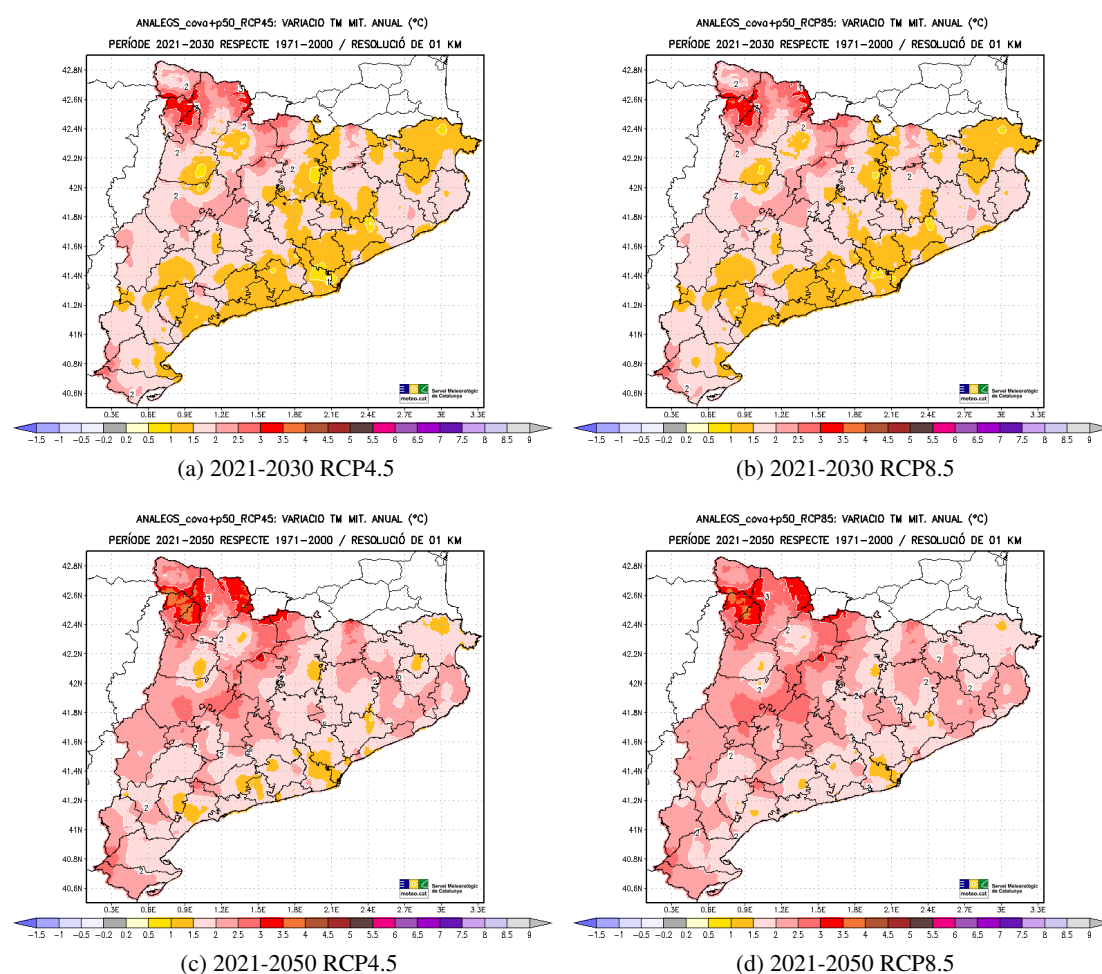


Figura 5.63: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mitjana d'hivern

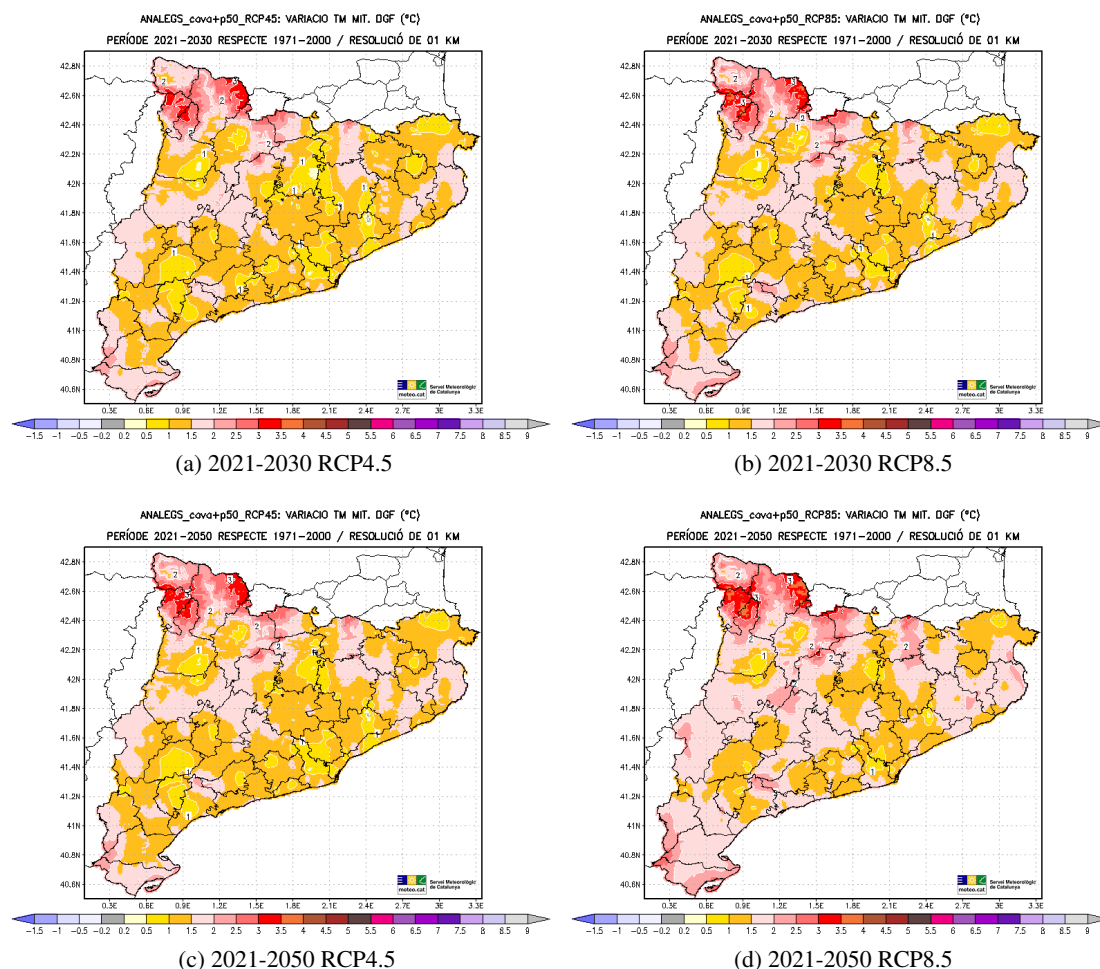


Figura 5.64: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) d'hivern (DGF) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mitjana de primavera

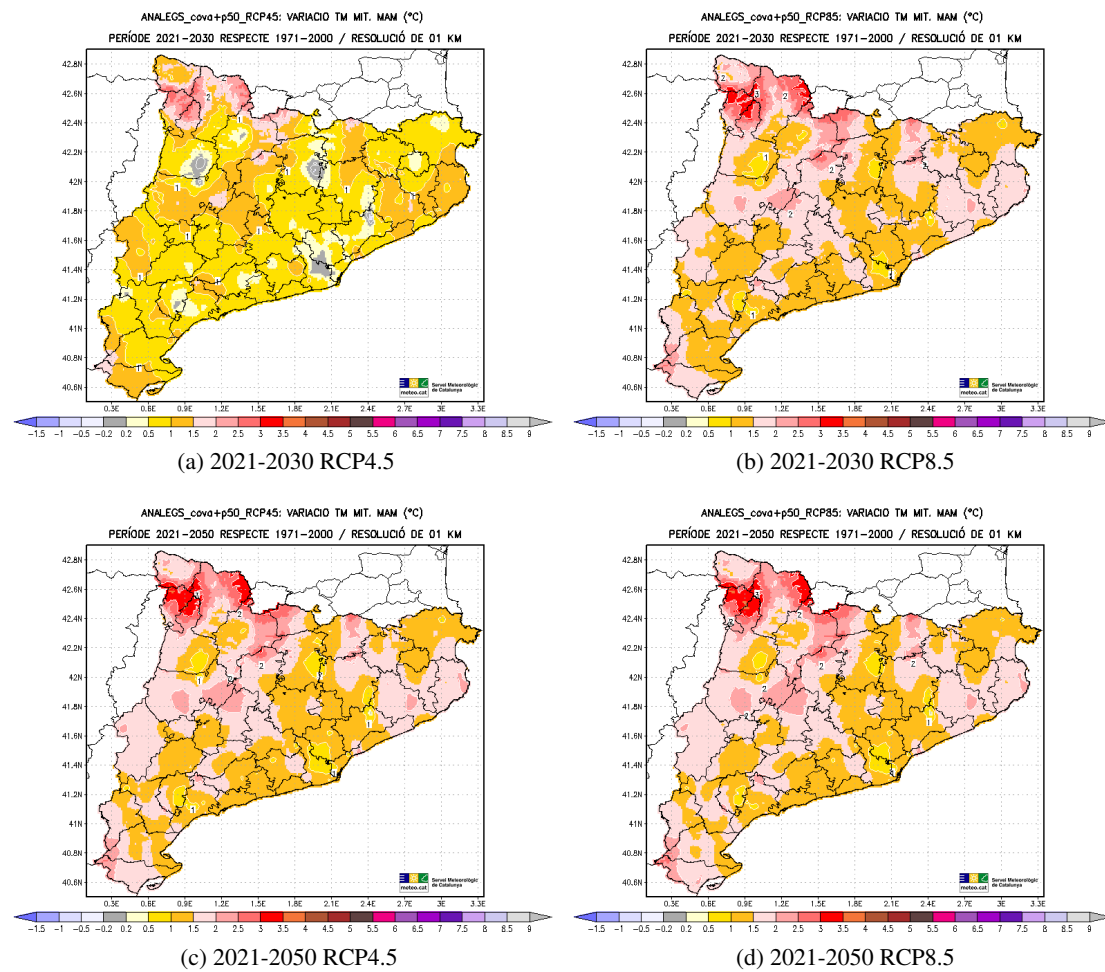


Figura 5.65: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) de primavera (MAM) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mitjana d'estiu

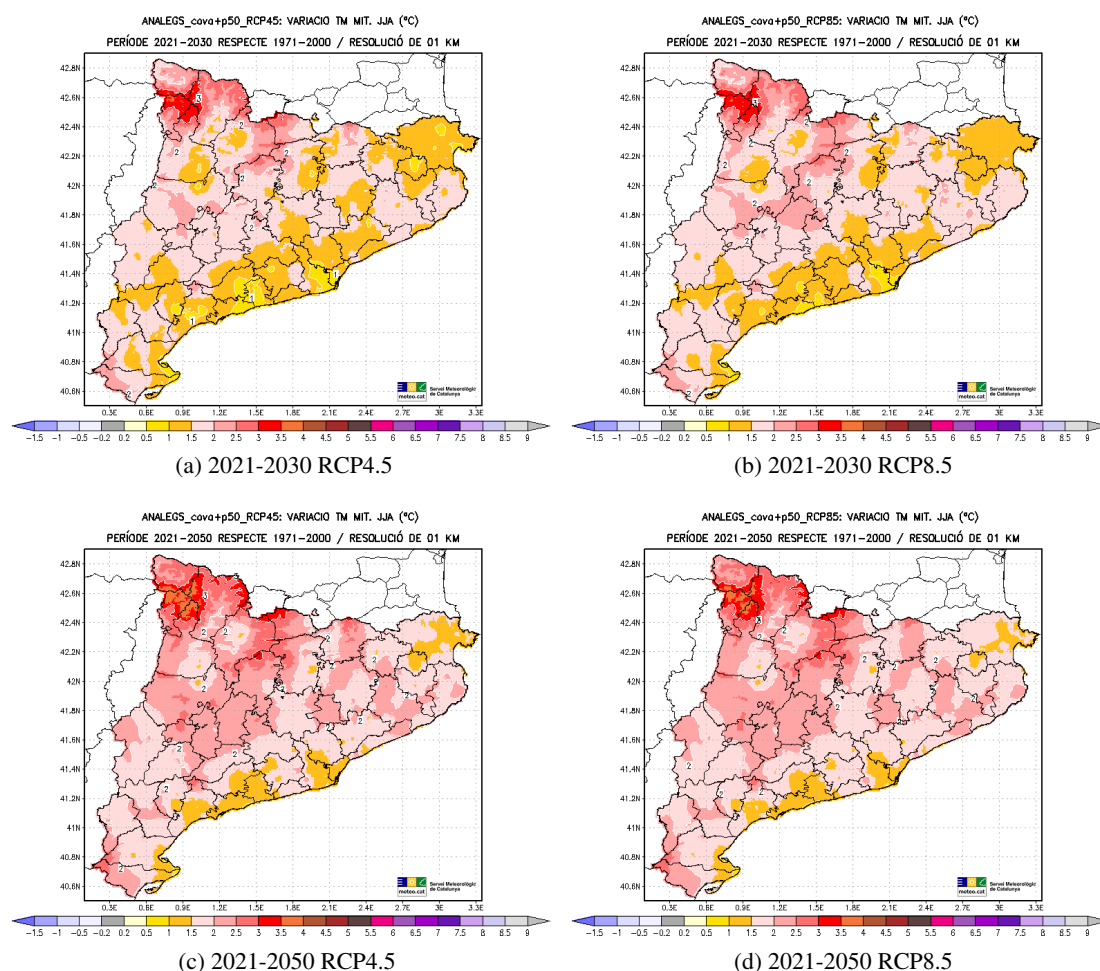


Figura 5.66: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) d'estiu (JJA) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mitjana de tardor

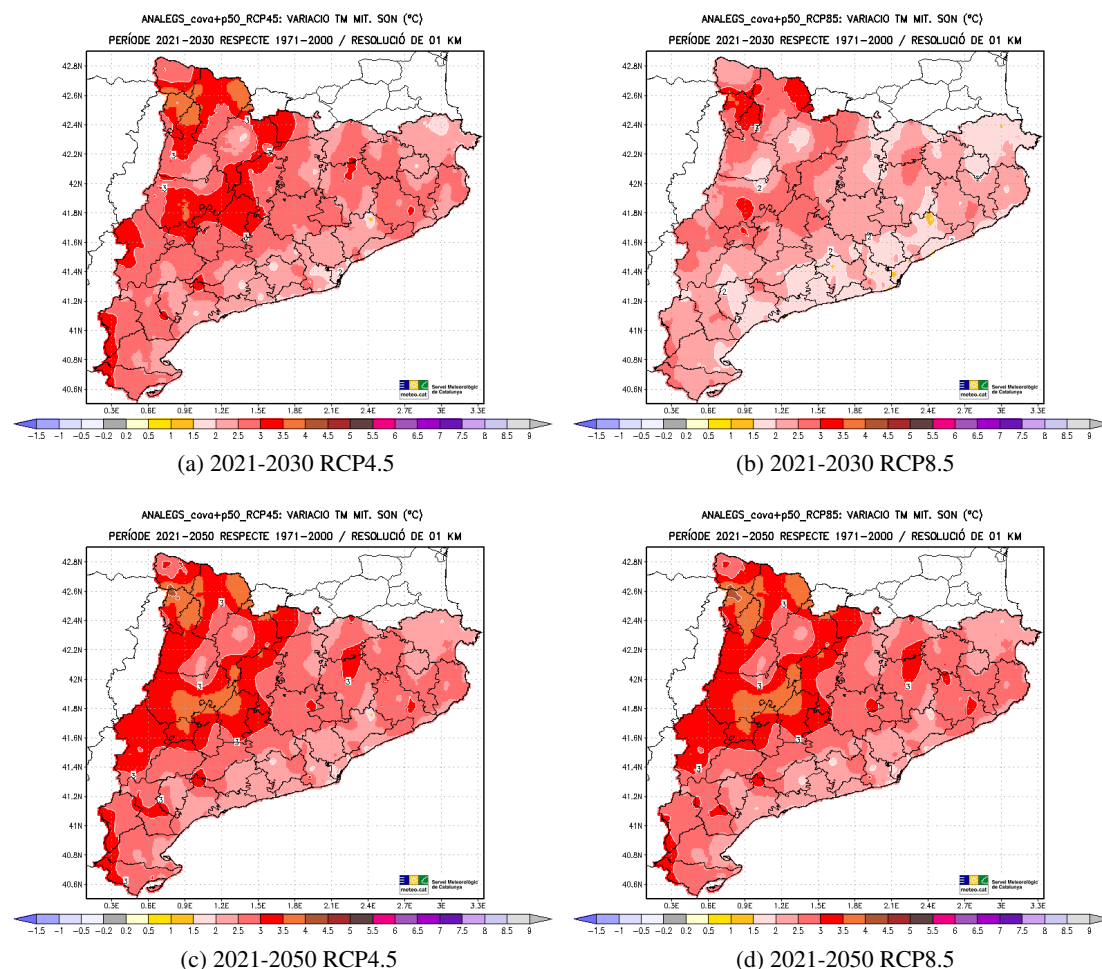


Figura 5.67: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mitjana (TM) de tardor (SON) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.2 Temperatura mínima (TN)

Temperatura mínima mitjana anual

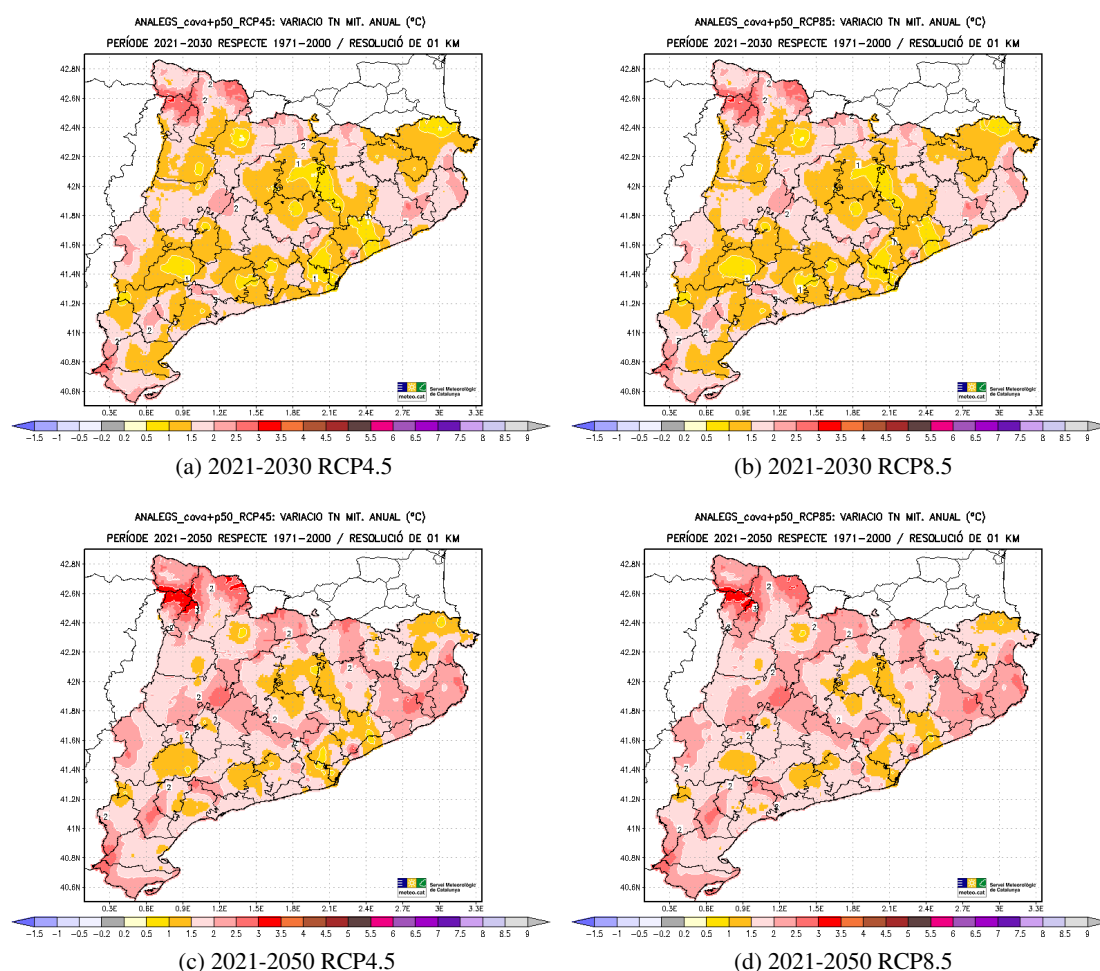


Figura 5.68: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mínima (TN) mitjana anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mínima mitjana d'hivern

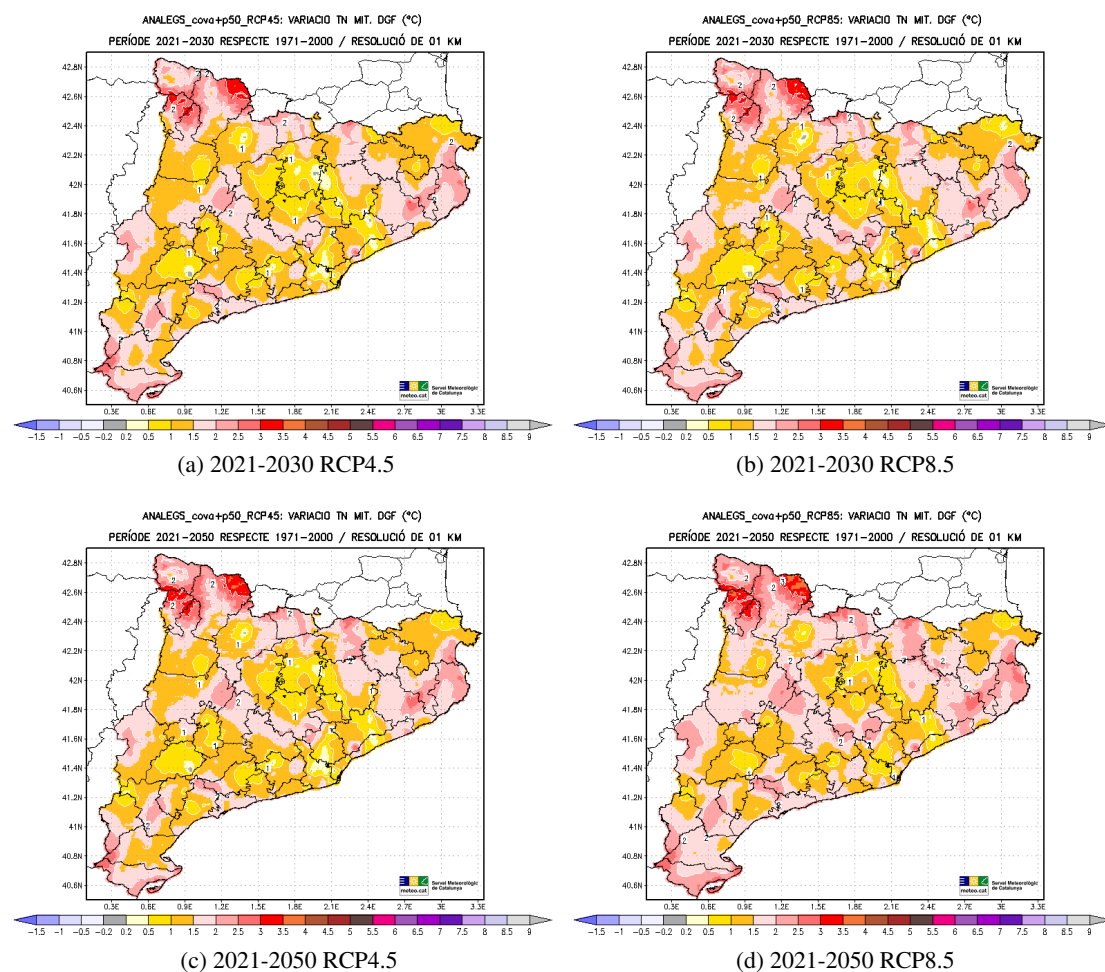


Figura 5.69: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mínima (TN) mitjana d'hivern (DGF) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mínima mitjana de primavera

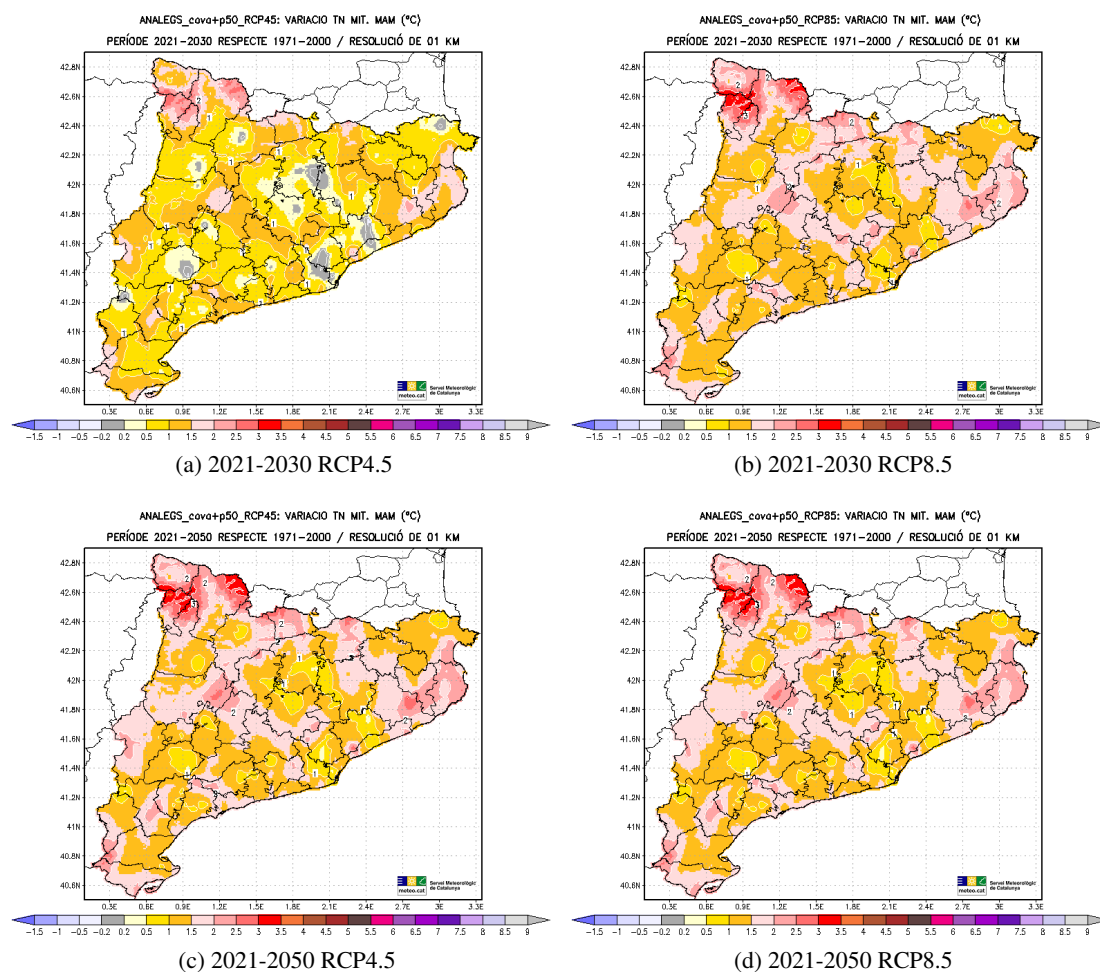


Figura 5.70: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mínima (TN) mitjana de primavera (MAM) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mínima mitjana d'estiu

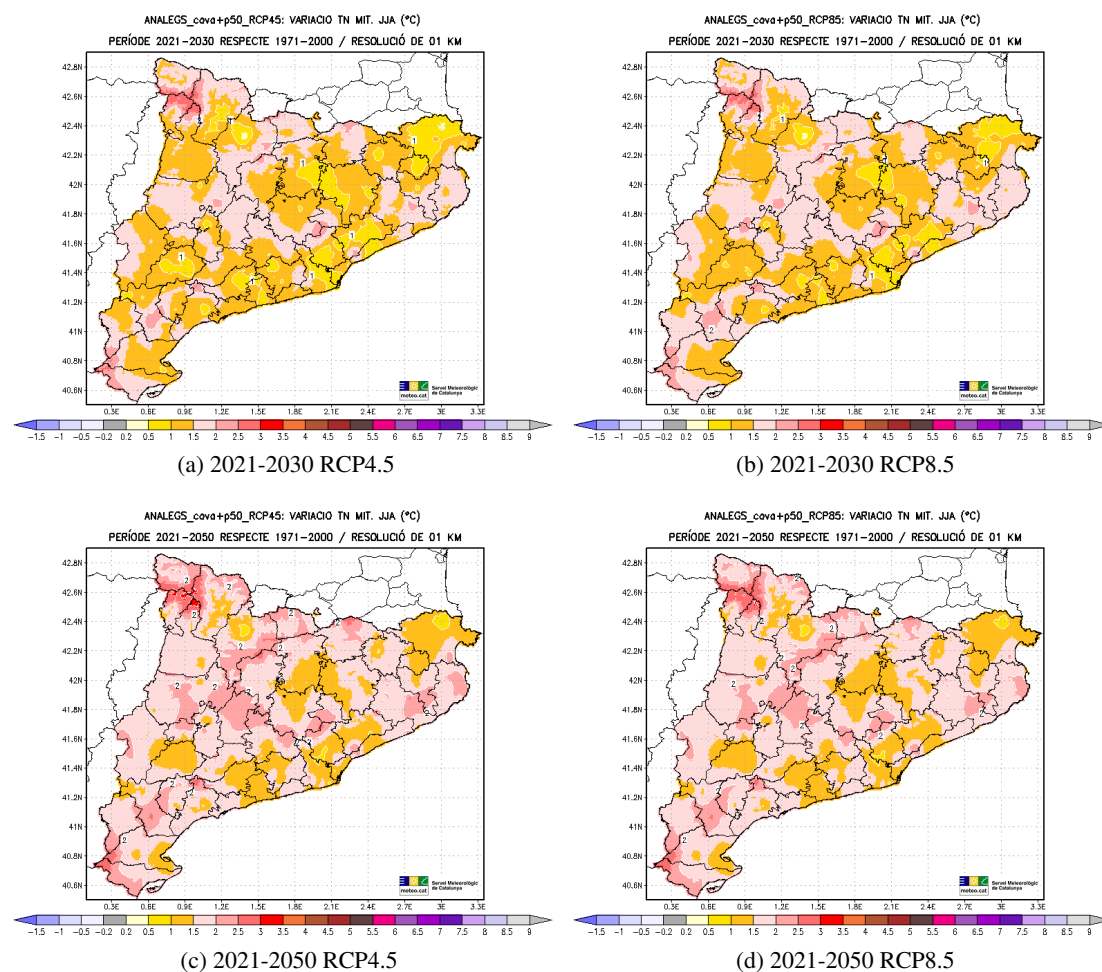


Figura 5.71: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mínima (TN) mitjana d'estiu (JJA) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura mínima mitjana de tardor

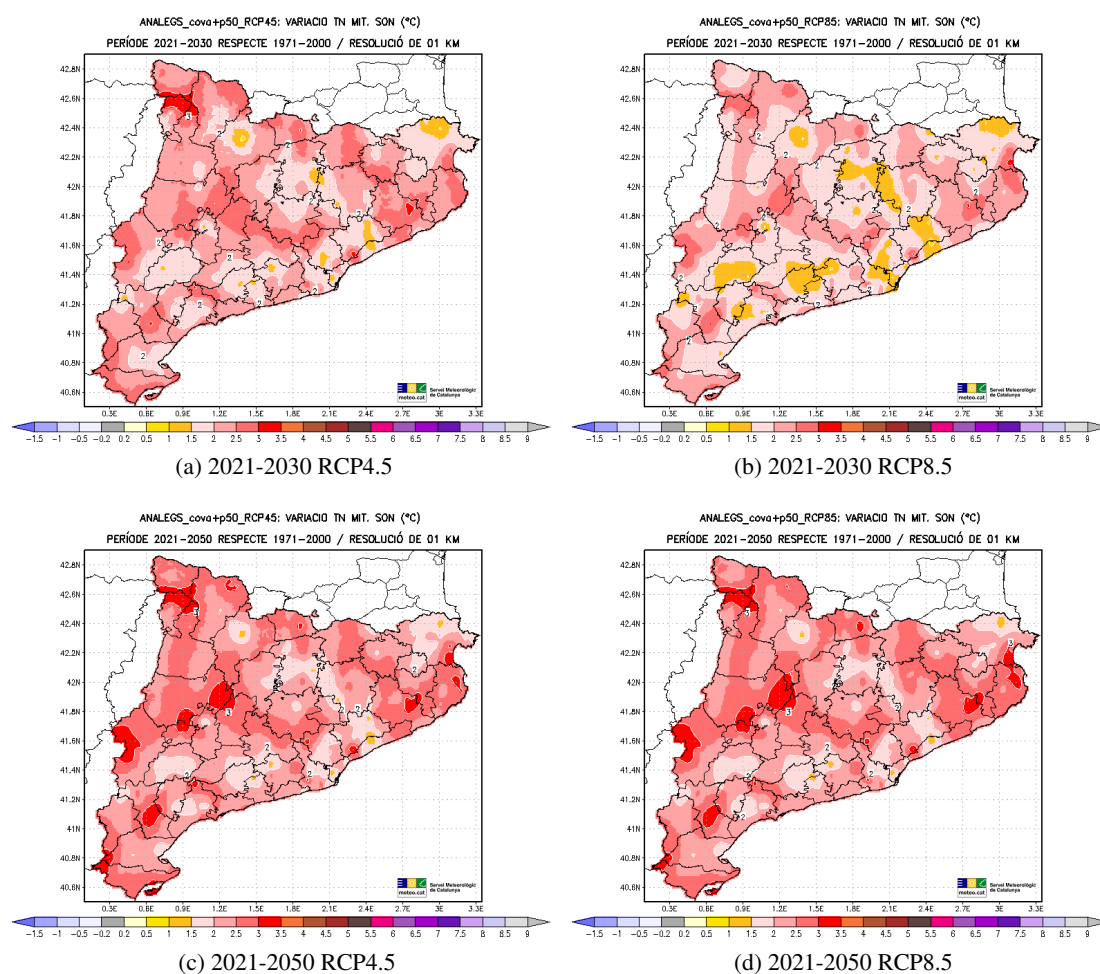


Figura 5.72: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Mínima (TN) mitjana de tardor (SON) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.3 Temperatura màxima (TX)

Temperatura màxima mitjana anual

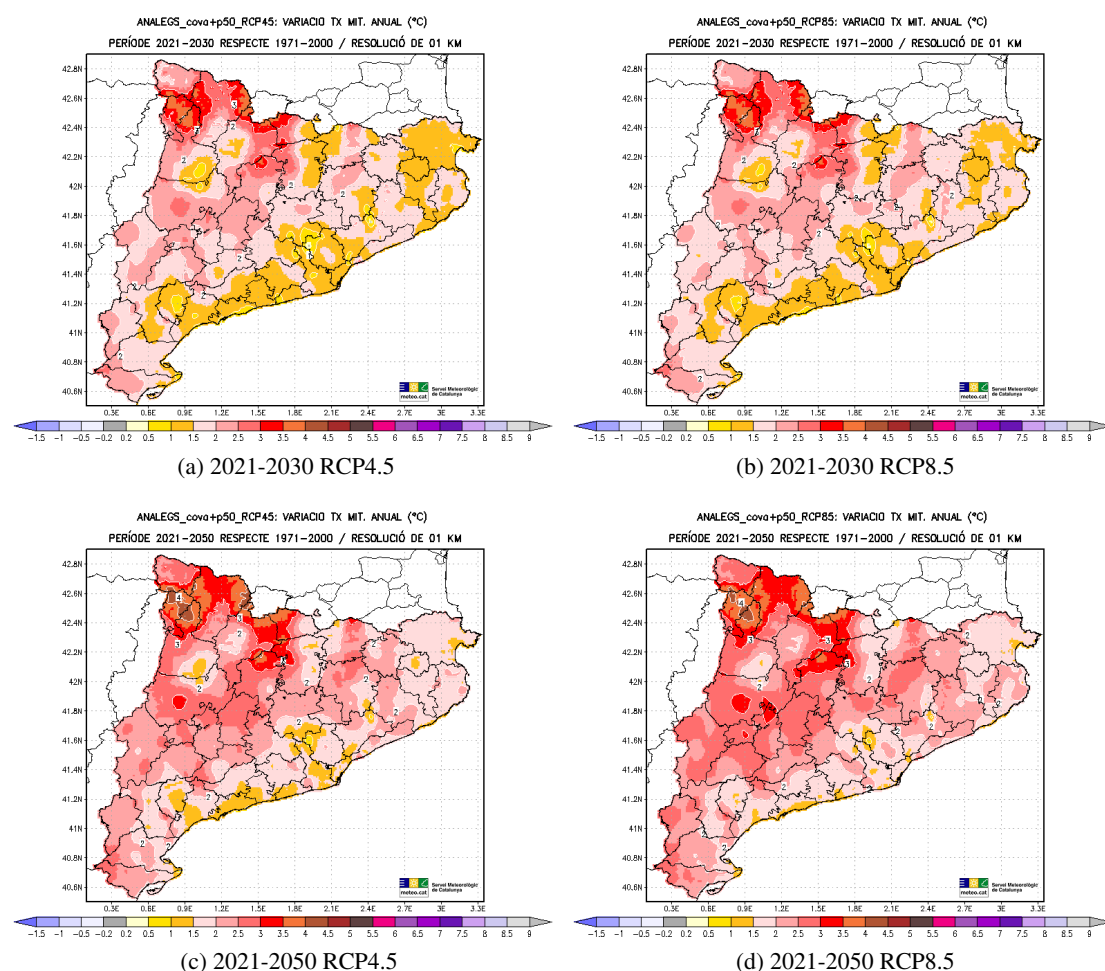


Figura 5.73: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Màxima (TX) mitjana anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura màxima mitjana d'hivern

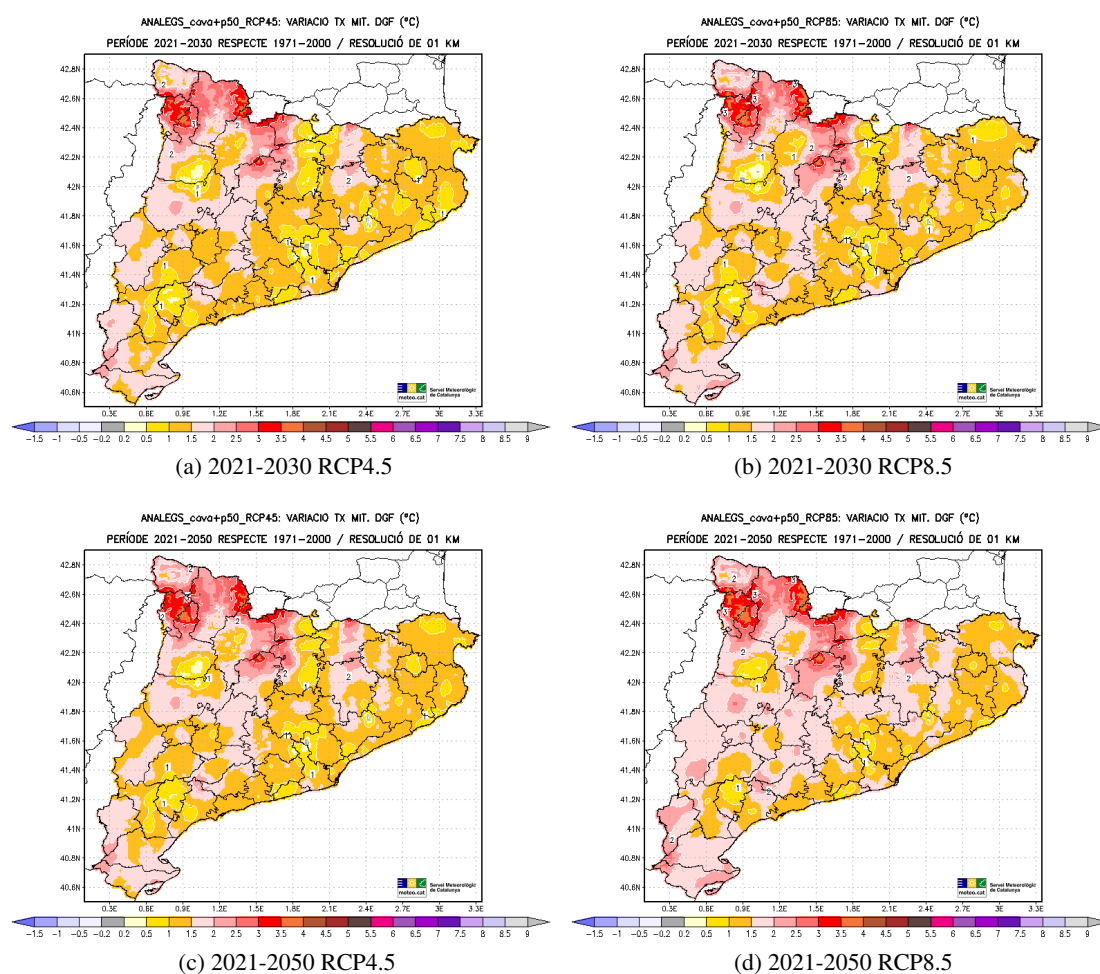


Figura 5.74: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Màxima (TX) mitjana d'hivern (DGF) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura màxima mitjana de primavera

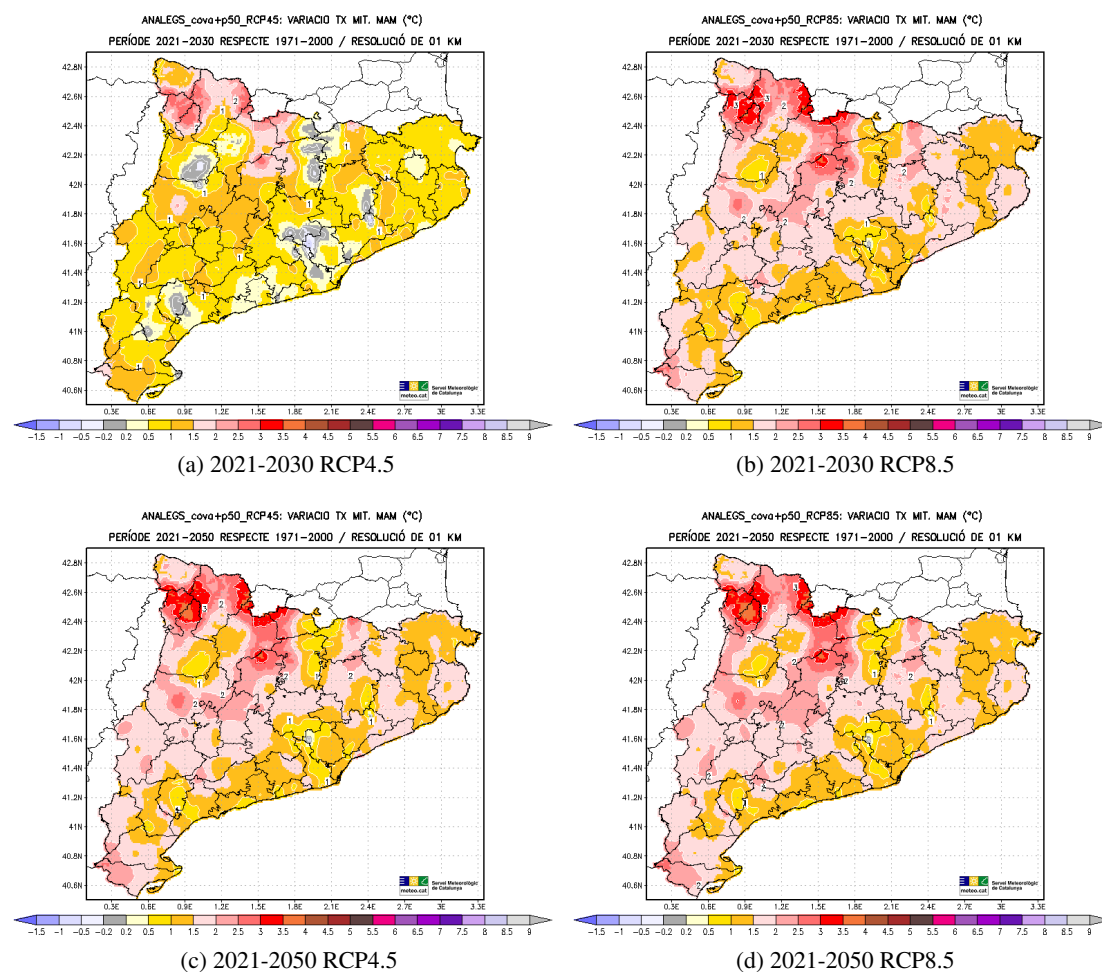


Figura 5.75: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Màxima (TX) mitjana de primavera (MAM) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura màxima mitjana d'estiu

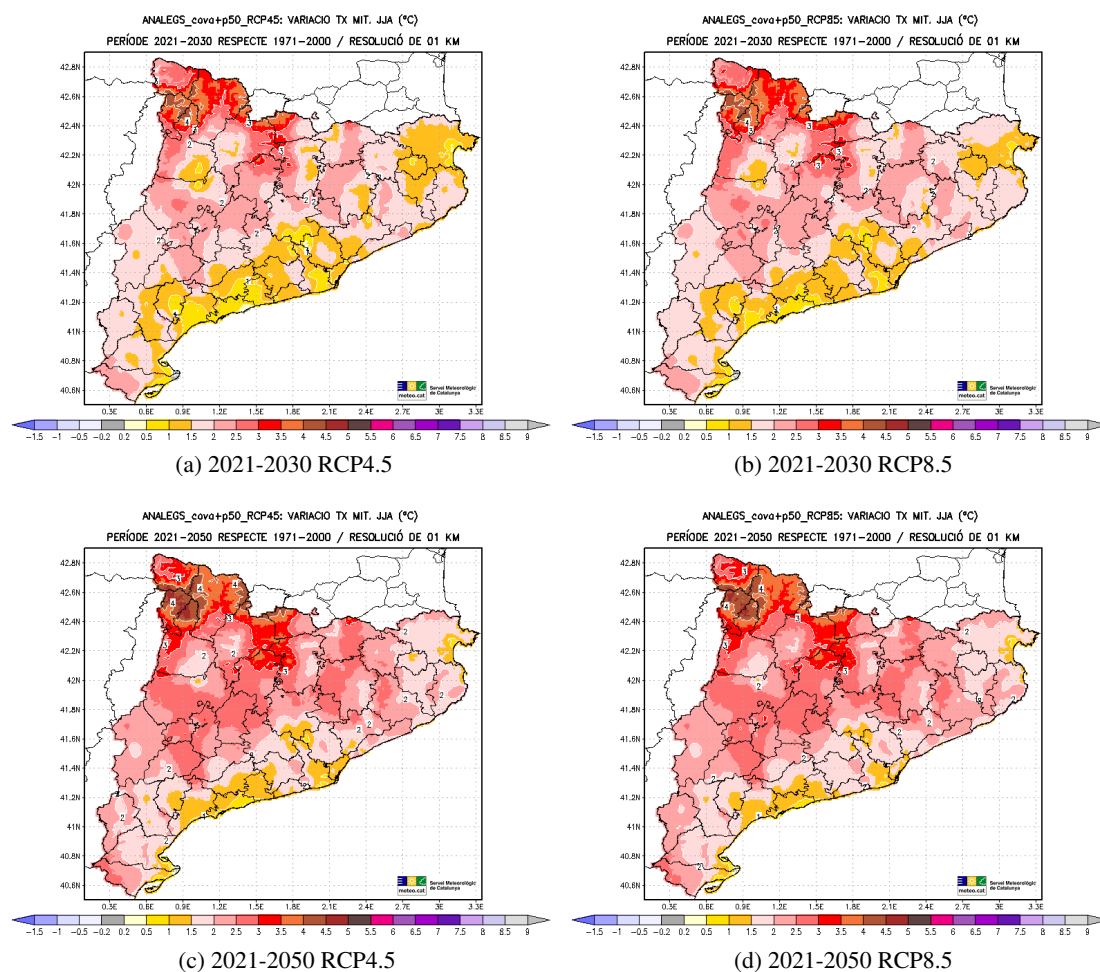


Figura 5.76: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Màxima (TX) mitjana d'estiu (JJA) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Temperatura màxima mitjana de tardor

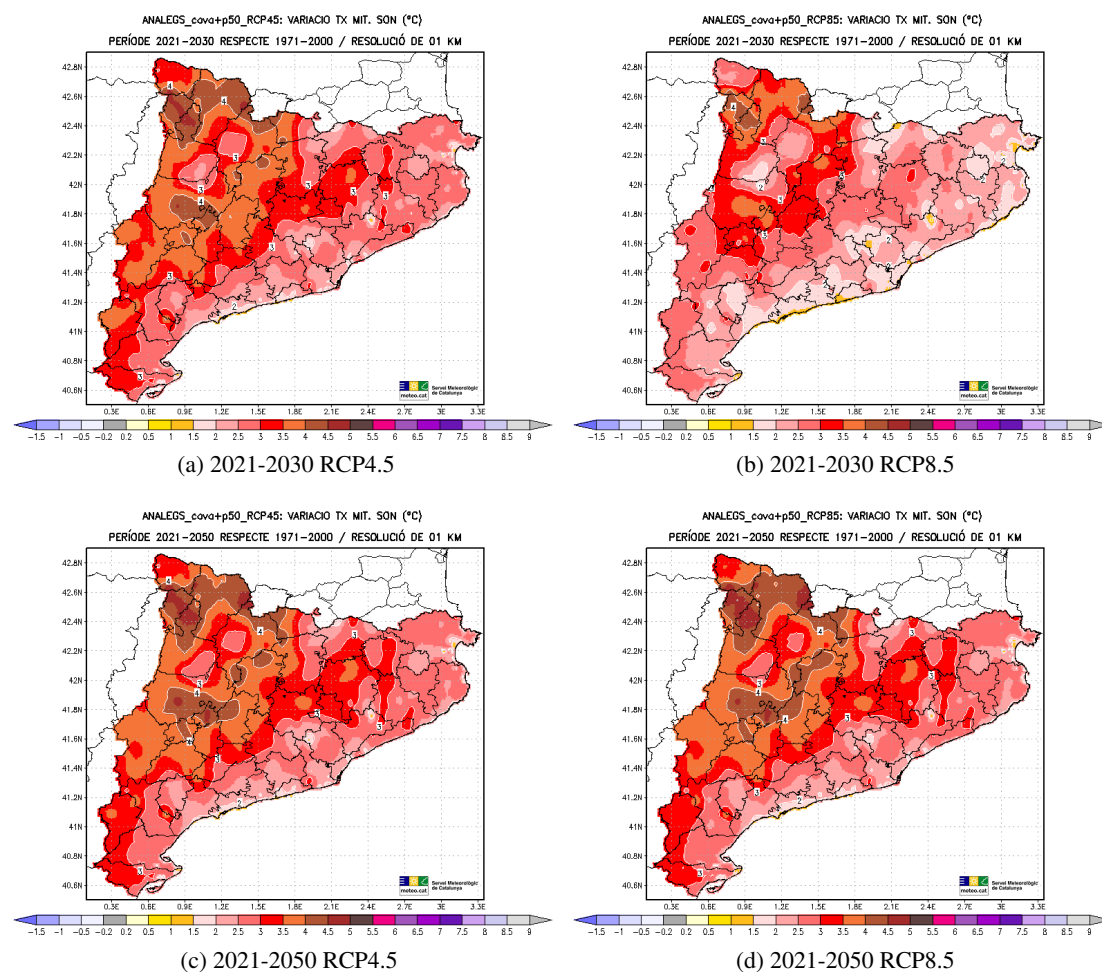


Figura 5.77: Variació projectada (en °C) de la Temperatura Màxima (TX) mitjana de tardor (SON) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.4 Precipitació acumulada (PPT)

Precipitació mitjana anual

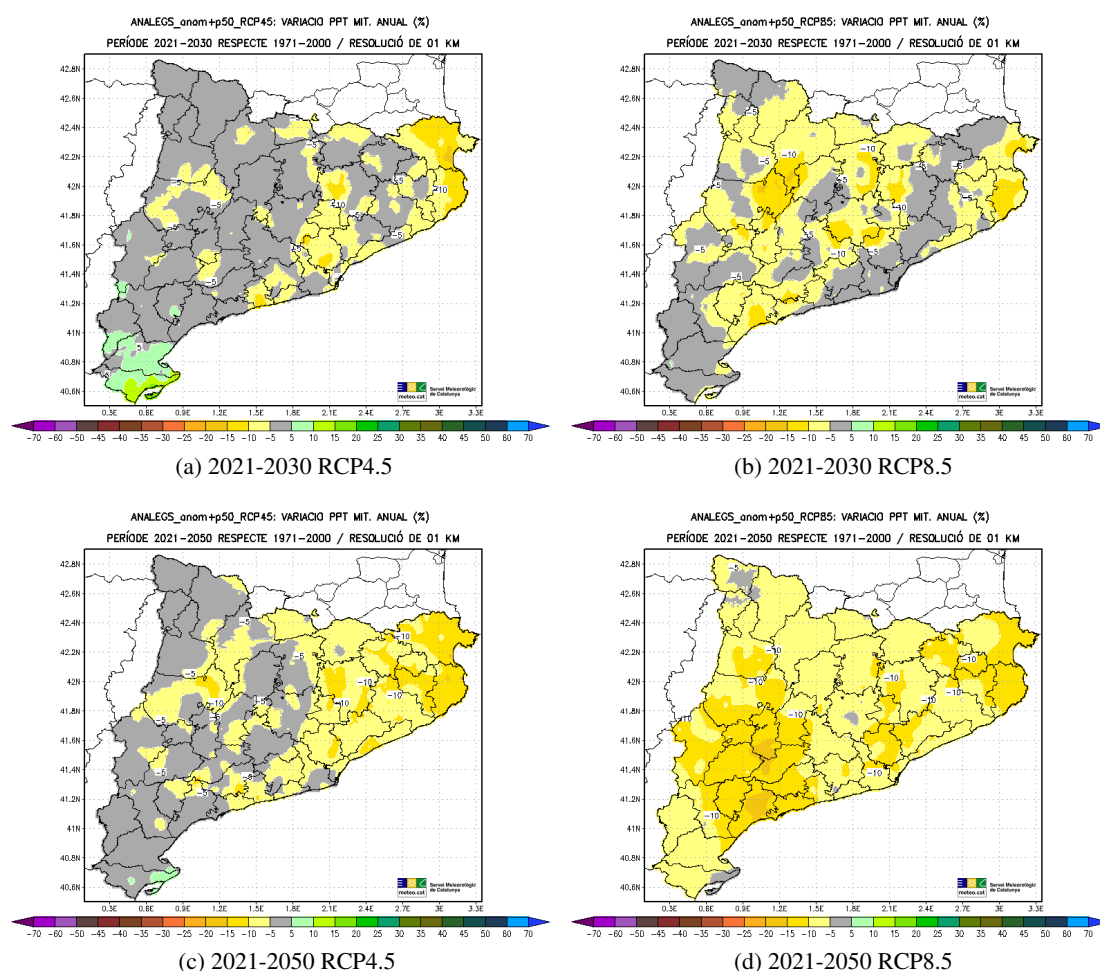


Figura 5.78: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Precipitació mitjana d'hivern

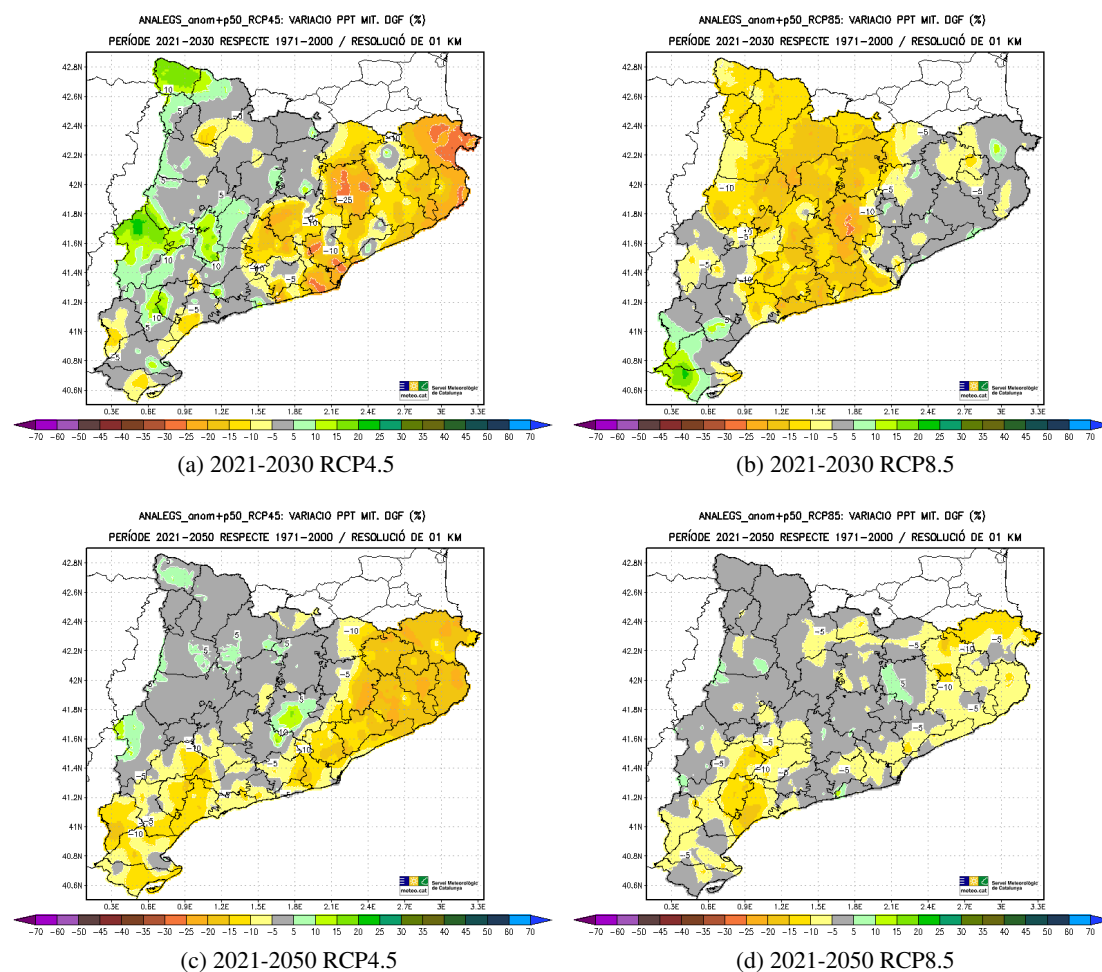


Figura 5.79: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana d'hivern (DGF) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Precipitació mitjana de primavera

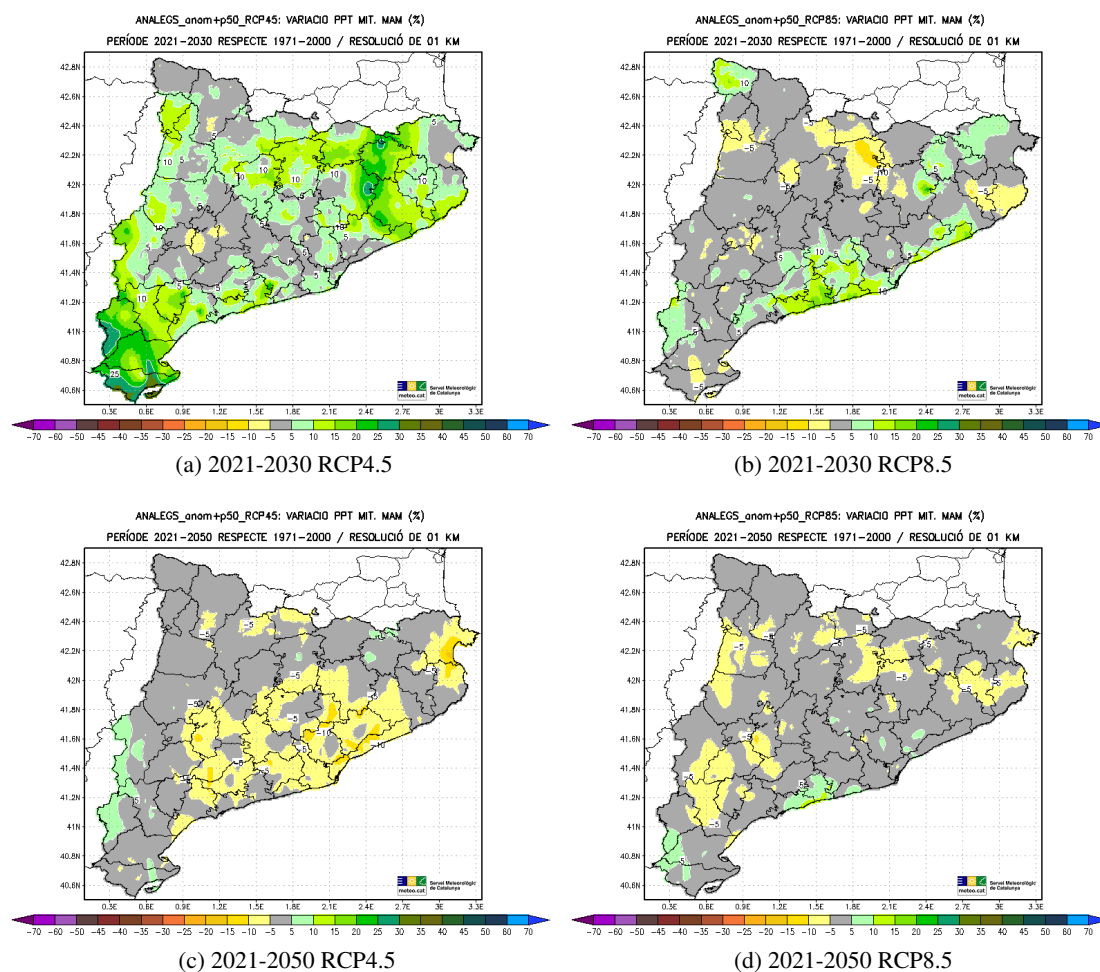


Figura 5.80: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana de primavera (MAM) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Precipitació mitjana d'estiu

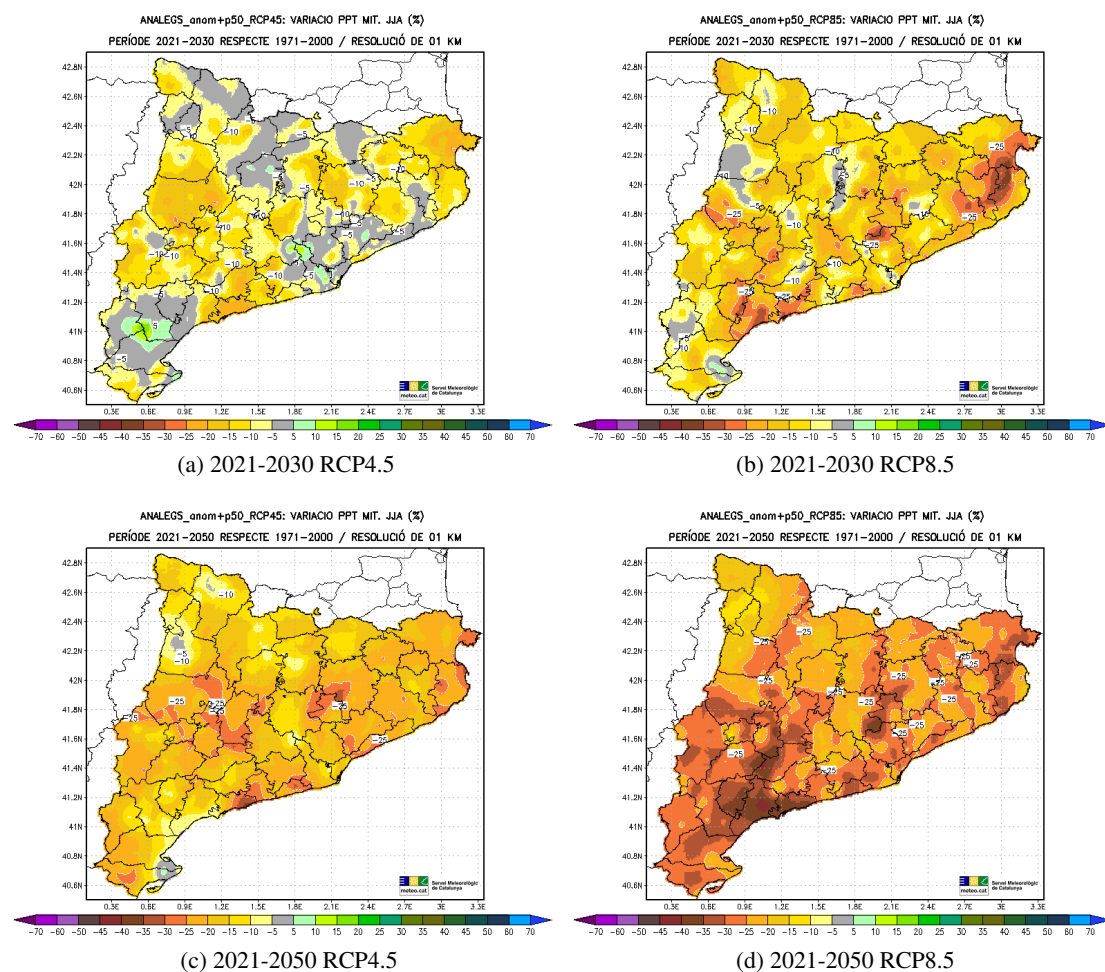


Figura 5.81: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana d'estiu (JJA) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Precipitació mitjana de tardor

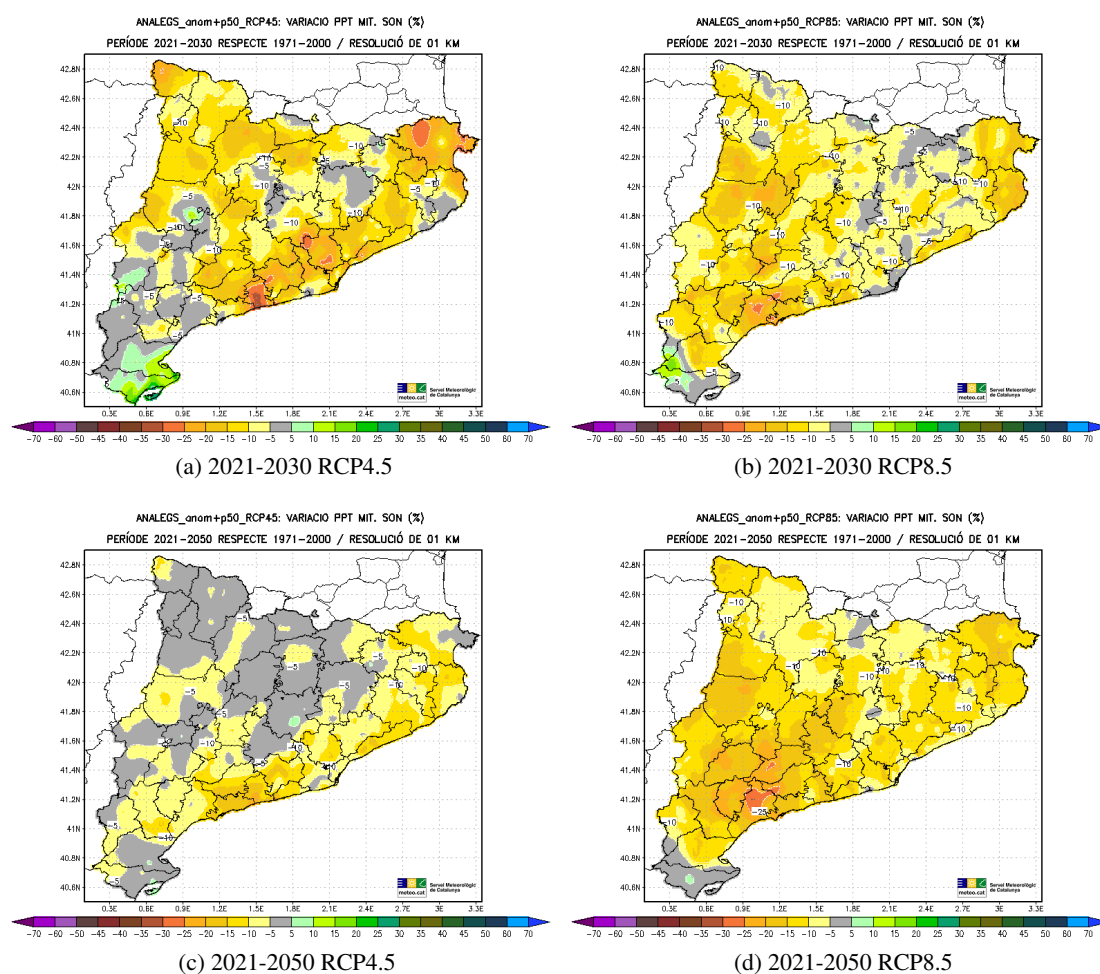


Figura 5.82: Variació projectada (en %) de la Precipitació (PPT) mitjana de tardor (SON) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.5 Dies de Calor (DC)

Nombre mitjà anual de dies de calor

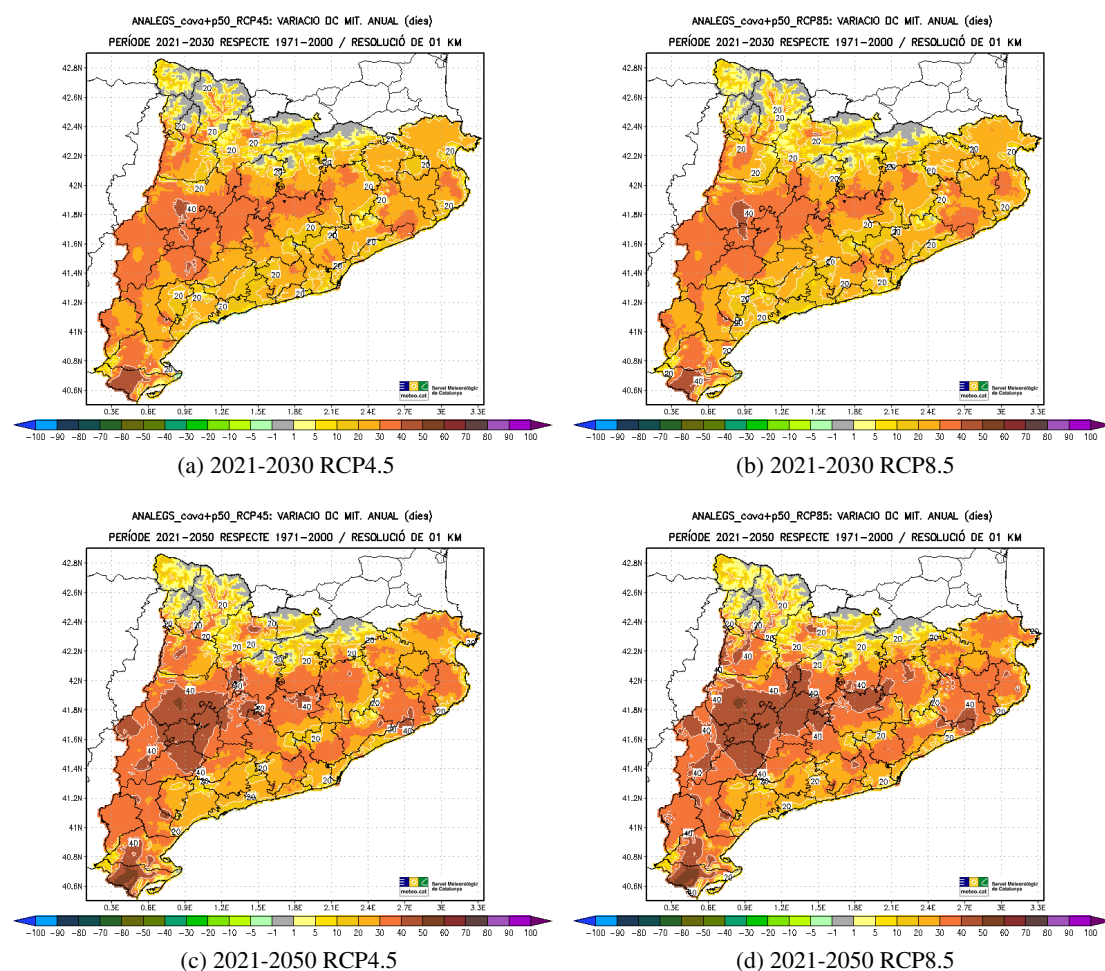


Figura 5.83: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies de Calor (DC, dies amb $T_X \geq 30^\circ\text{C}$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.6 Dies Tòrrids (DT)

Nombre mitjà anual de dies tòrrids

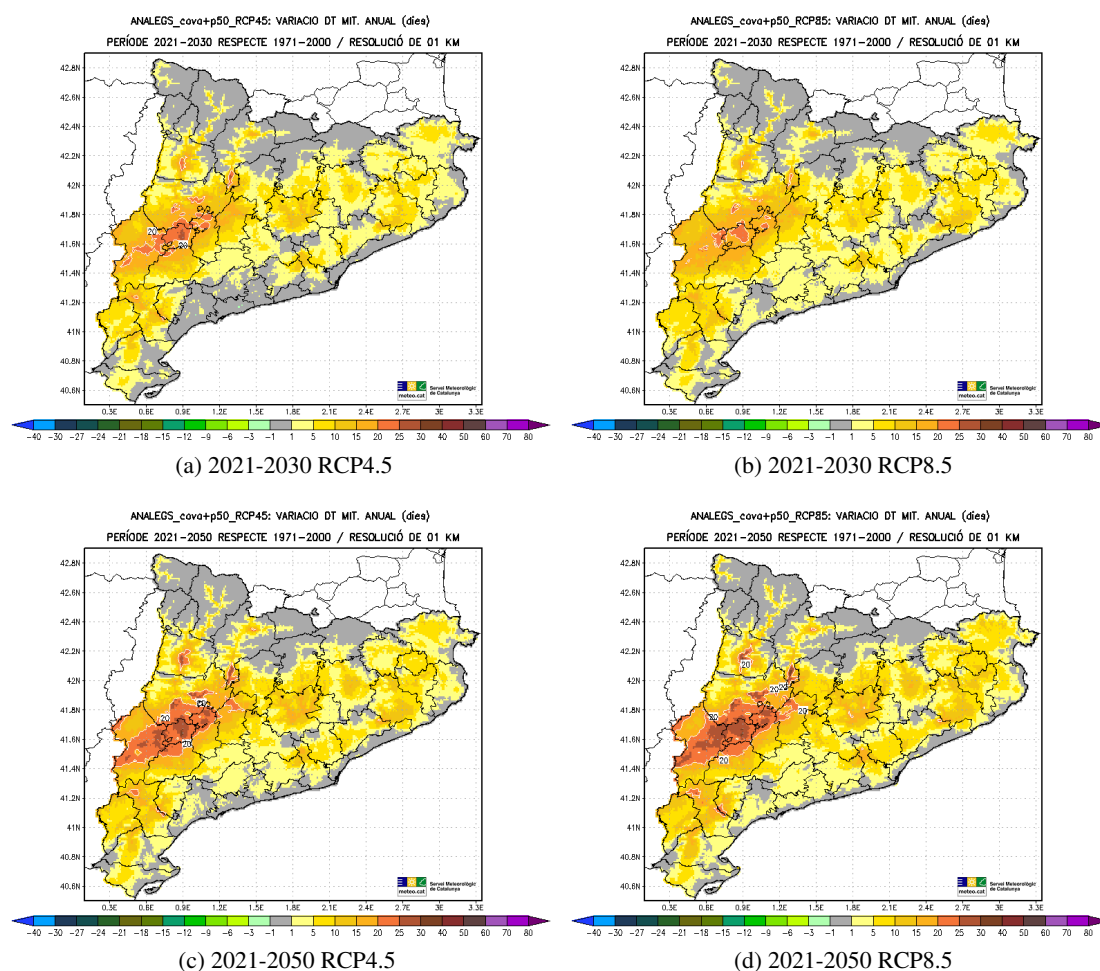


Figura 5.84: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies Tòrrids (DT, dies amb $TX \geq 35^\circ C$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.7 Dies de Glaçada (DG)

Nombre mitjà anual de dies de glaçada

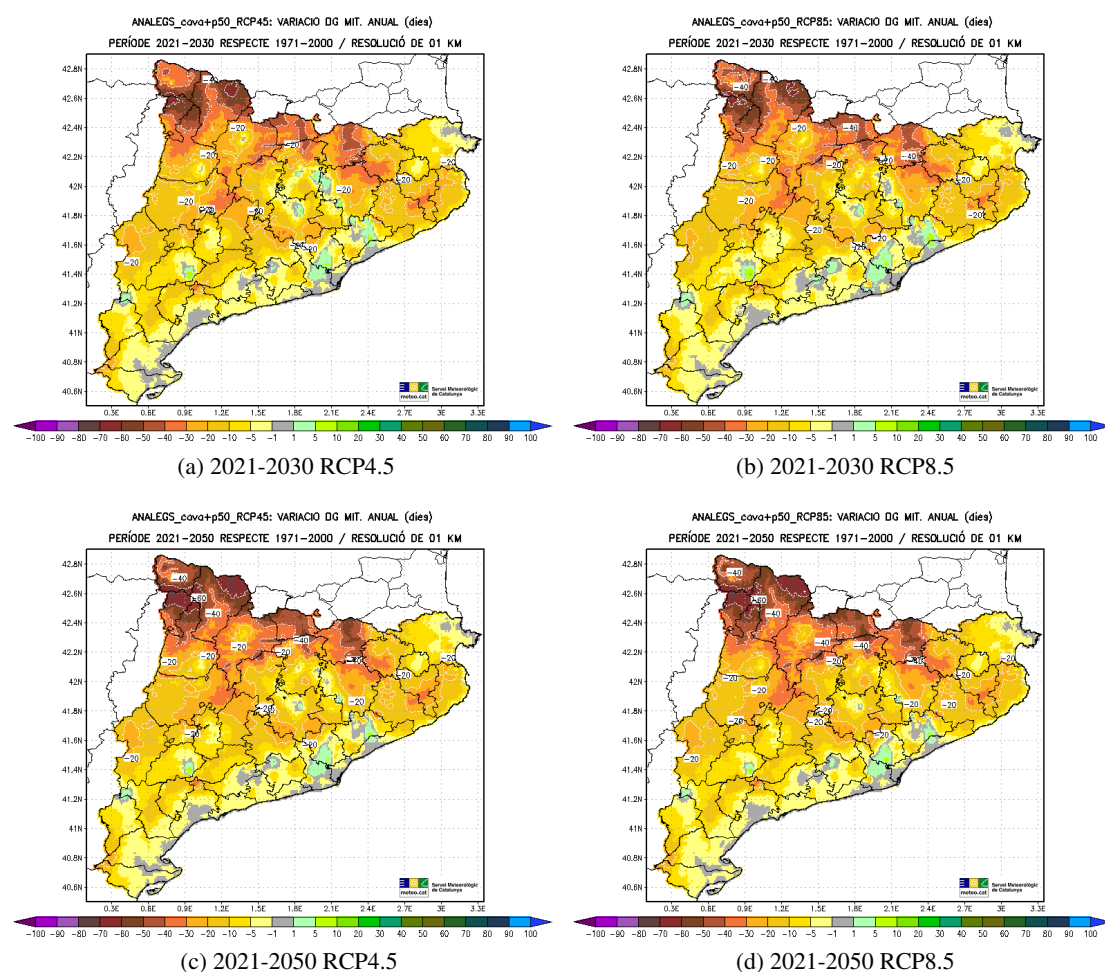


Figura 5.85: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies de Glaçada (DG, dies amb $TN \leq 0^\circ C$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.8 Dies de Fredor (DFR)

Nombre mitjà anual de dies de fredor

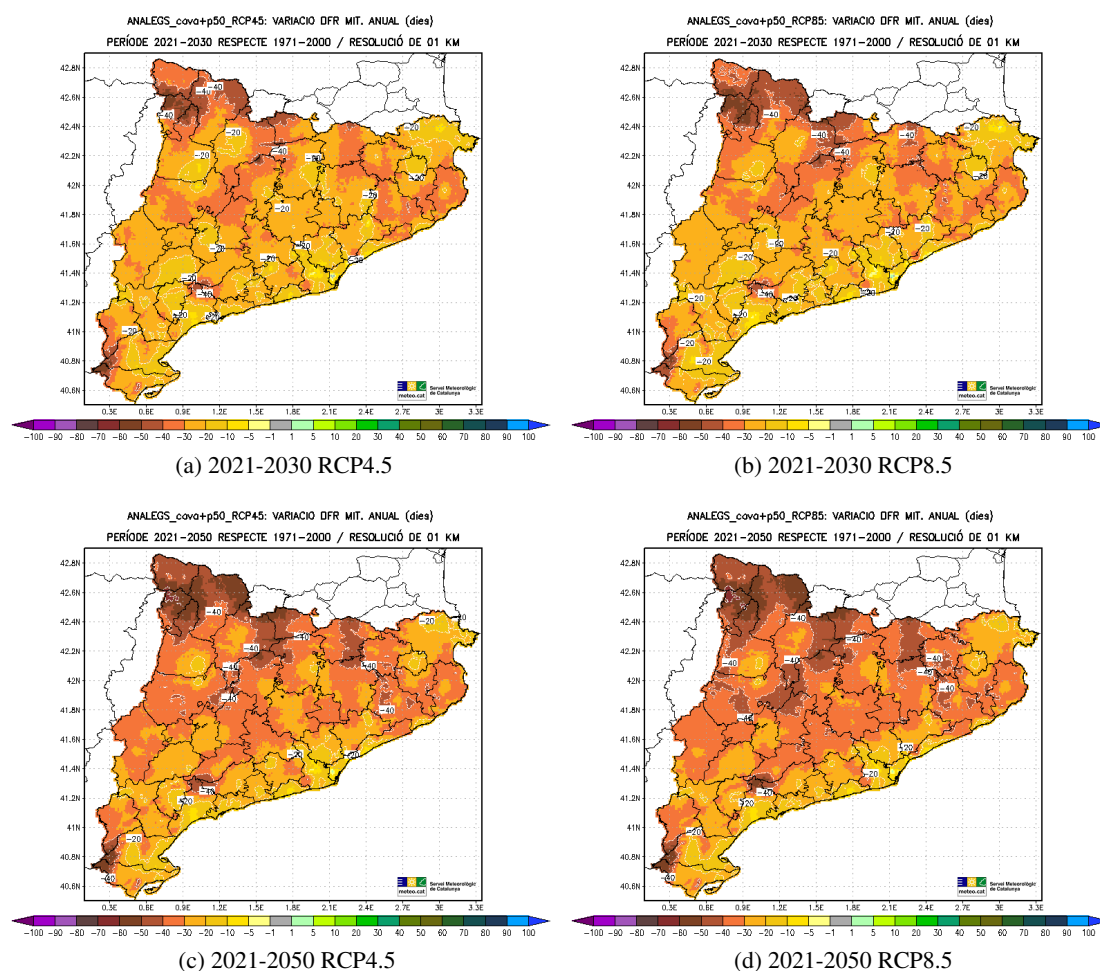


Figura 5.86: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies de Fredor (DFR, dies amb $TM \leq 10^{\circ}C$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.9 Dies Lliures de Glaçada (DLG)

Nombre mitjà anual de dies lliures de glaçada

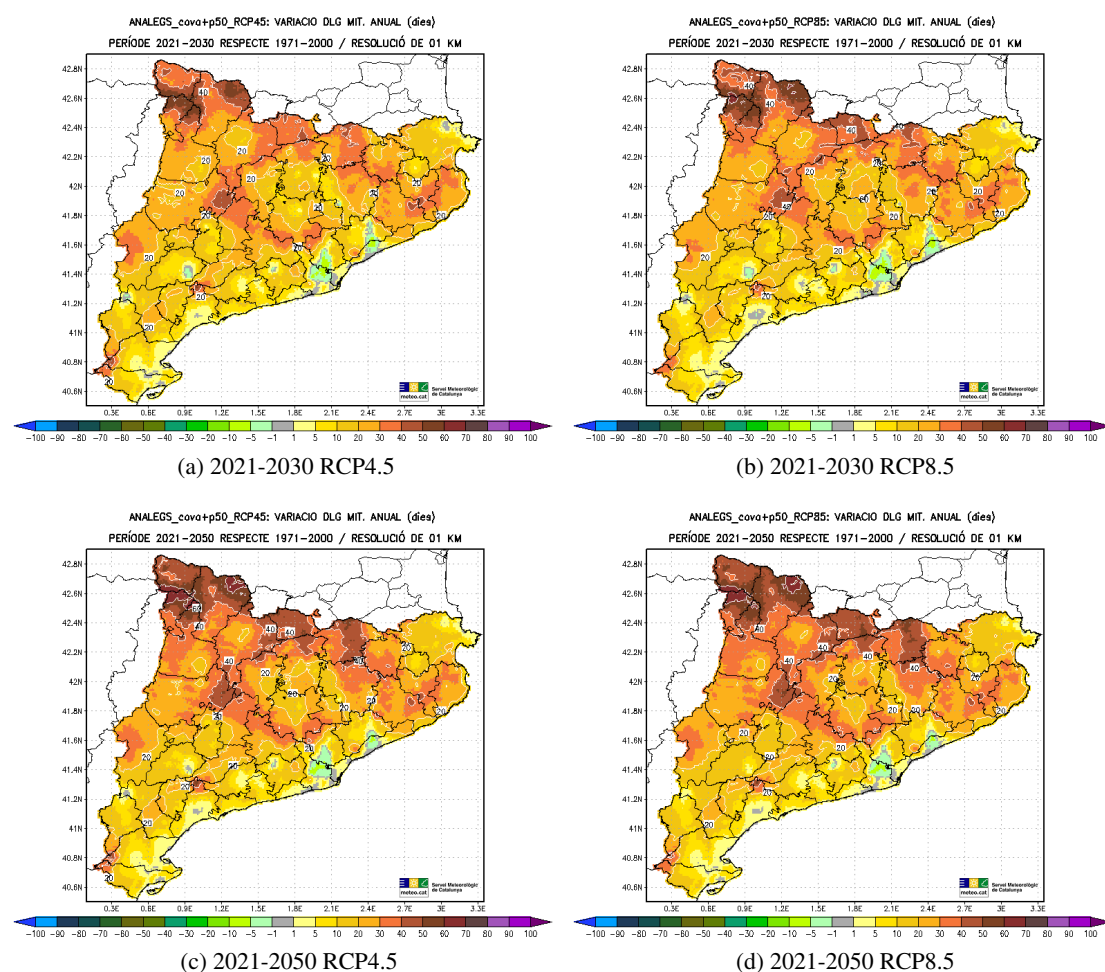


Figura 5.87: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies Lliures de Glaçada (DLG, dies amb $TN \geq 2^{\circ}C$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.10 Nits Tropicals (TR)

Nombre mitjà anual de nits tropicals

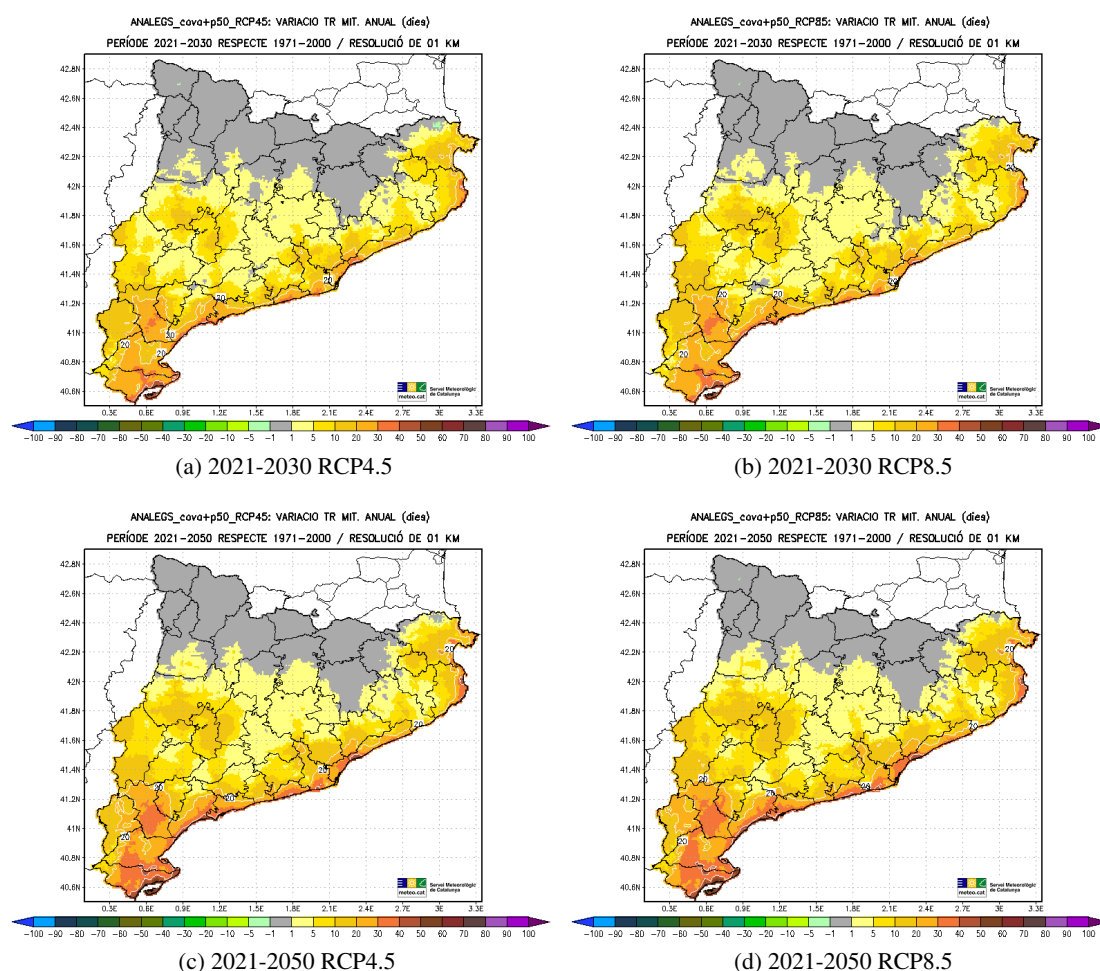


Figura 5.88: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Nits Tropicals (TR, dies amb $TN \geq 20^{\circ}C$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.11 Nits Tòrrides (TO)

Nombre mitjà anual de nits tòrrides

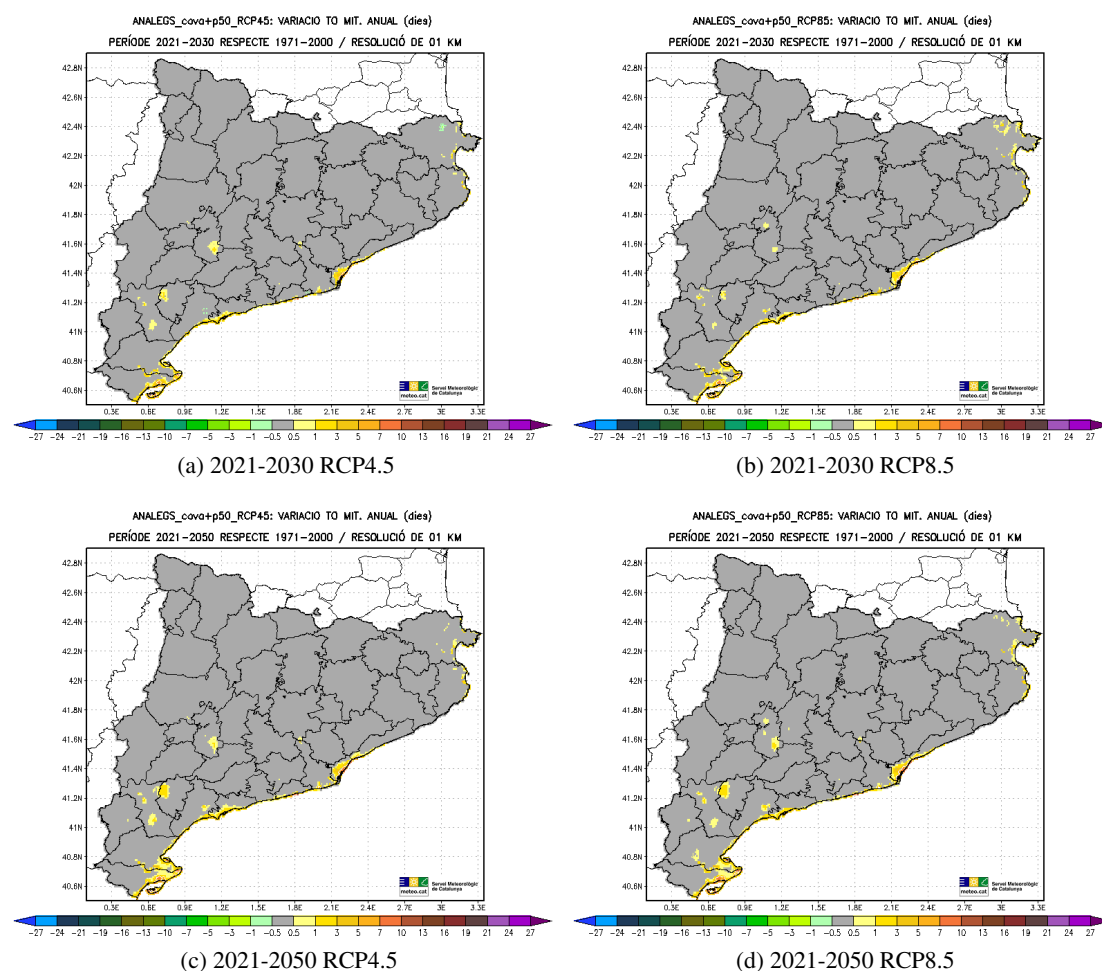


Figura 5.89: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Nits Tòrrides (TO, dies amb $TN \geq 25^{\circ}\text{C}$) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.12 Dies amb Precipitació Feble (n5PPT)

Nombre mitjà anual de dies amb precipitació feble

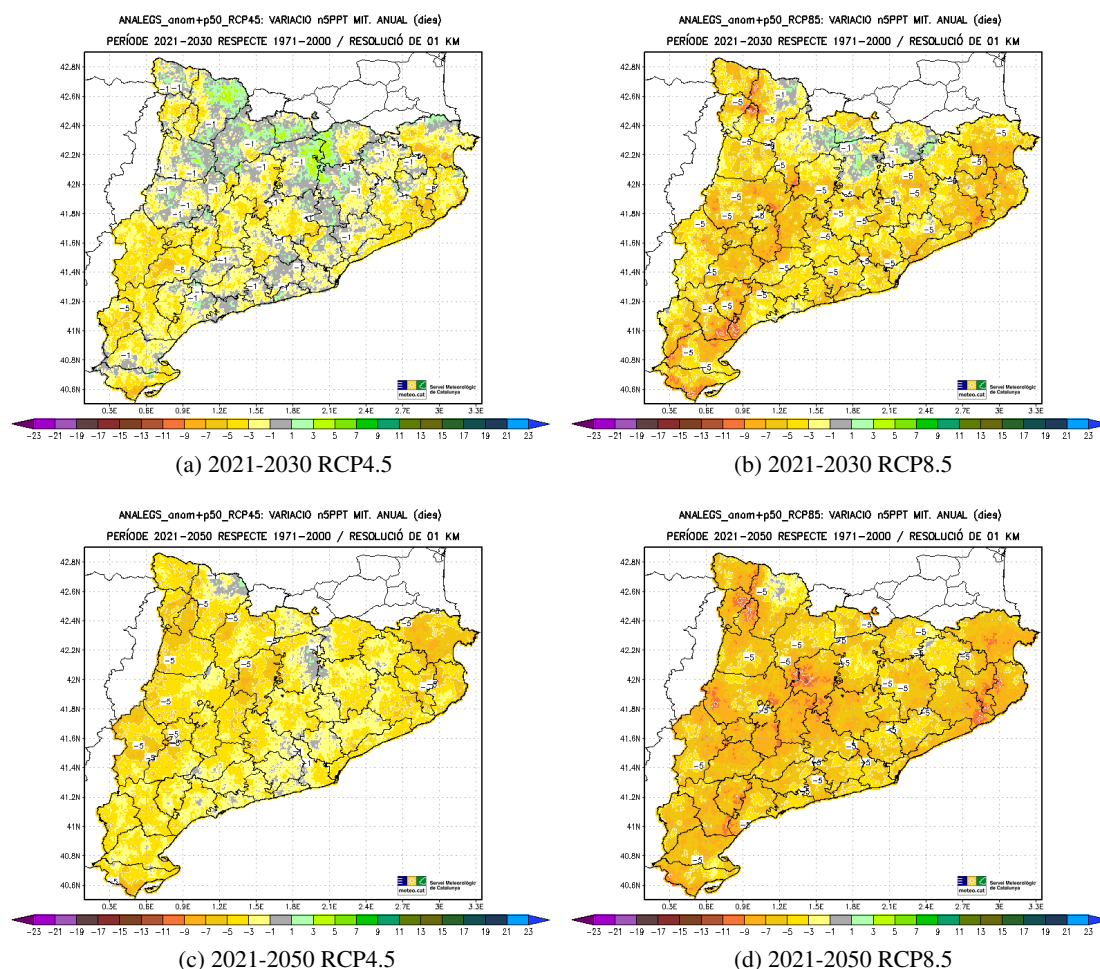


Figura 5.90: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies amb Precipitació Feble (n5PPT, dies amb $PPT \leq 5$ mm) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.13 Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT)

Nombre mitjà anual de dies amb precipitació abundant

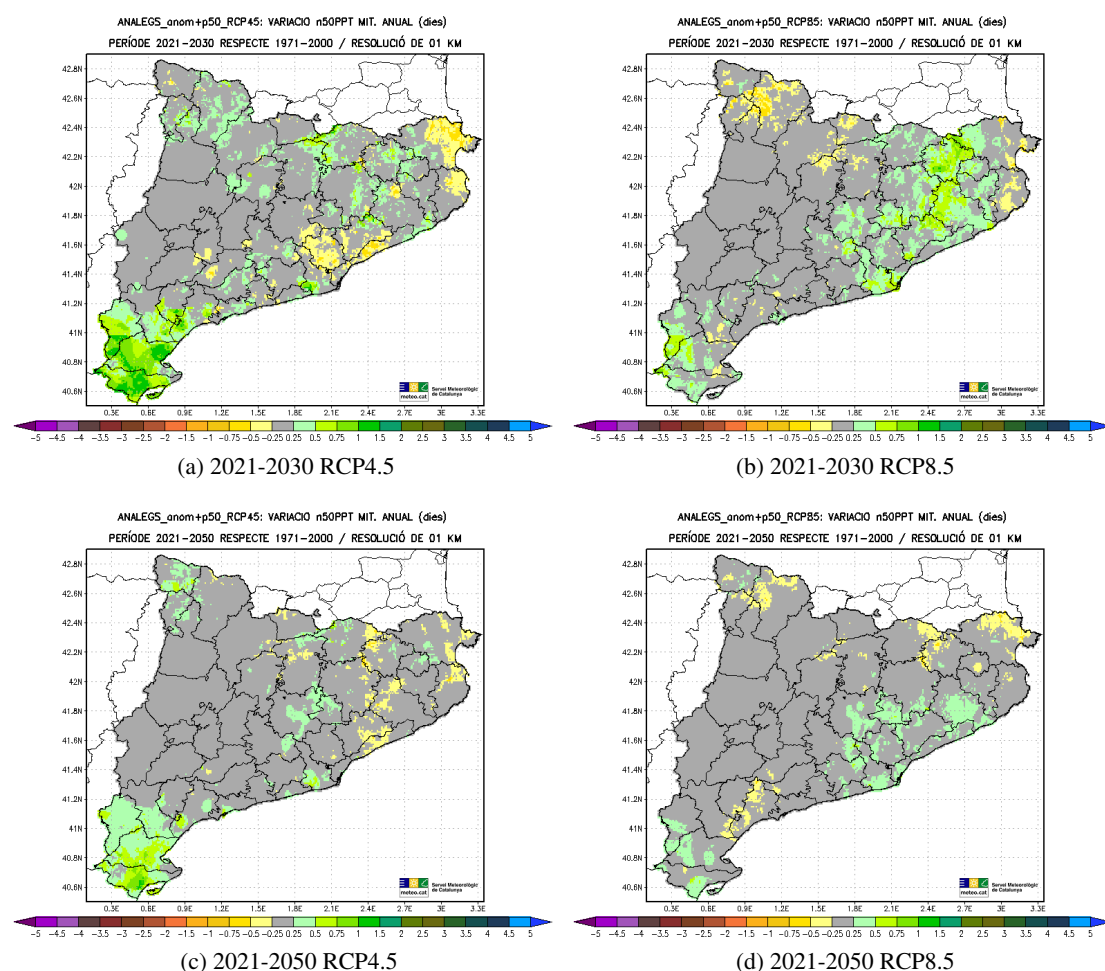


Figura 5.91: Variació projectada (en dies) del nombre mitjà anual de Dies amb Precipitació Abundant (n50PPT, dies amb PPT ≥ 50 mm) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.14 Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS)

Longitud màxima de la ratxa seca anual

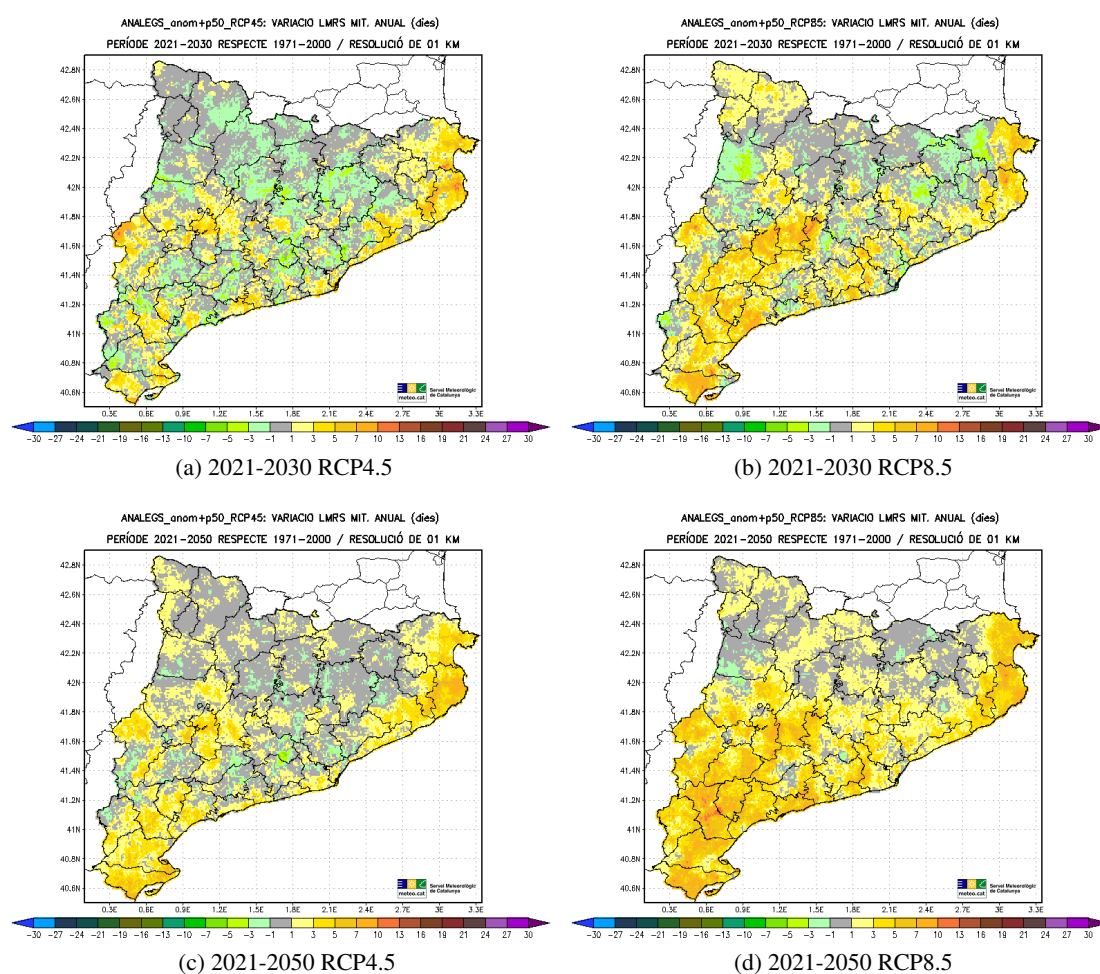


Figura 5.92: Variació projectada (en dies) de la Longitud Màxima de la Ratxa Seca (LMRS, nombre màxim de dies consecutius amb PPT < 1 mm) anual respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

5.3.15 Percentil 95 de la Precipitació Apreciable (p95PPT)

Percentil 95 anual de la precipitació apreciable diària

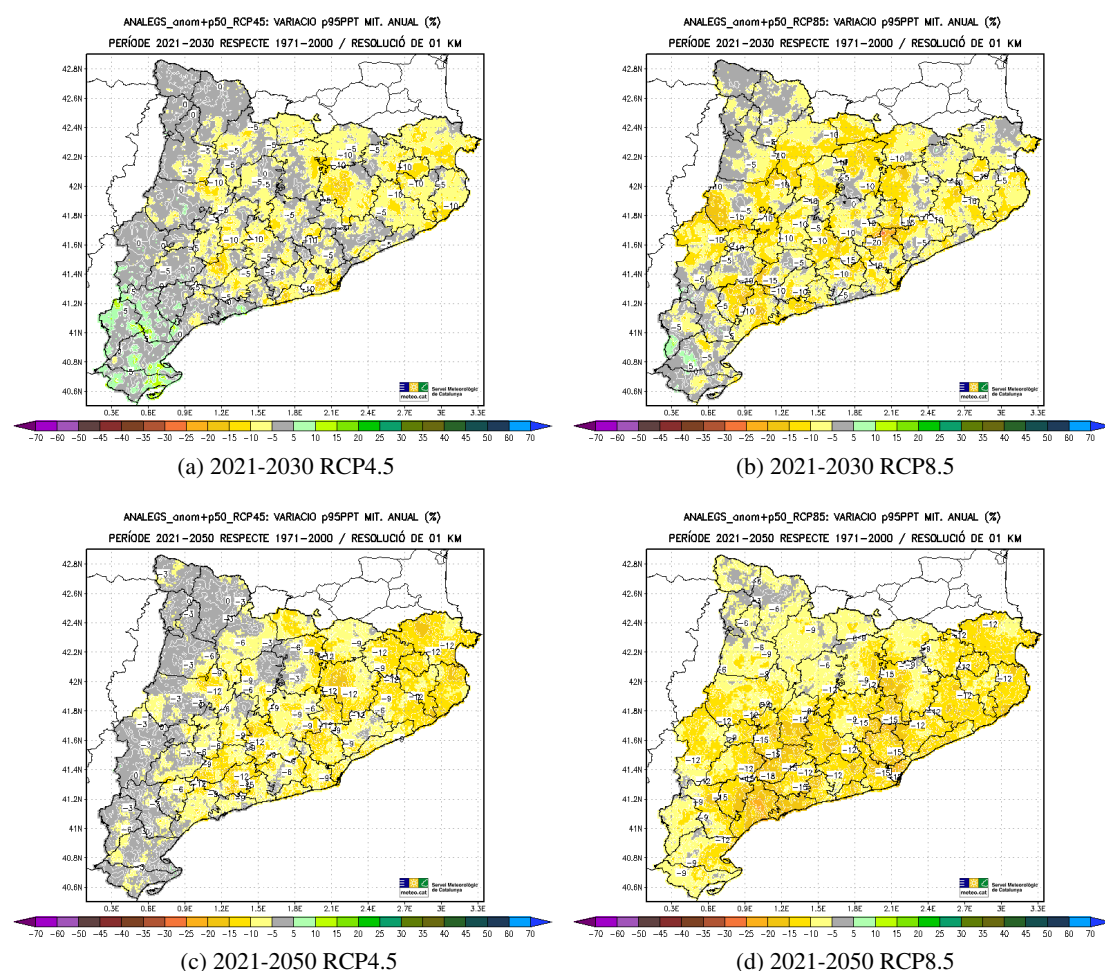


Figura 5.93: Variació projectada (en %) del Percentil 95 anual de la Precipitació Apreciable (PPT $\geq 0,1$ mm) diària (p95PPT) respecte al període de referència 1971-2000, per als períodes 2021-2030 (dalt) i 2021-2050 (baix) i els escenaris d'emissions RCP4.5 (esquerra) i RCP8.5 (dreta).

Discussió i conclusions

L'objectiu del present estudi ha estat la caracterització del 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 1971-2050¹.

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 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 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 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

¹Tot 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.

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.

La metodologia (**tècnica estadística de regionalització climàtica basada en els anàlegs meteorològics**) utilitzada en el present treball reproduïx acceptablement bé les principals característiques termopluviomètriques, tant de Catalunya com de la zona litoral-prelitoral així com la zona interior, però sobreestimant generalment la temperatura i subestimant la precipitació. 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.

La metodologia reproduïx també amb més 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. 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.

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. 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 $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $+600\text{ mm}$. 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.

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 n50PPT 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.

En resum, la simulació forçada amb el model alemany (MPI-ESM) és la que presenta en general una menor diferència entre els seus valors mitjans i els obtingut amb la malla d'observacions a 1 km , i per tant, els seus resultats són més robustos que no pas les simulacions basades en el model canadenc (CanESM2) i americà (GFDL-ESM2G). Les d'aquest últim model són les simulacions menys robustes de les tres desenvolupades.

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 $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ menors a l'interior del país i de prop d' $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $+3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $+3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la zona litoral-prelitoral, però podria ser superior als $+4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a la zona pirinenca. L'increment projectat per la TX és major que el de la TN, projectant-se increments en la TX mitjana anual superiors als $+4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ enfront dels $+3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ per a la TN, segons l'RCP8.5 i cap al 2050.

Tots els increments projectats per a la temperatura a escala anual són estadísticament significatius amb un nivell de confiança del 99 % (veure Taula 6.1). Així, es projecta per a la TM anual una tendència lineal de $+0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni segons l'RCP4.5 i $+0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni segons l'RCP8.5. Per a la TX mitjana anual es projecten $+0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni segons l'RCP4.5 i $+0,48\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni segons l'RCP8.5. Per a la TN mitjana anual es projecten $+0,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ per

²El 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.

Taula 6.1: *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

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 temperatura del BAIC (veure secció 2.3) per al període 1971-2018 (48 anys, veure Taula 6.1) 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 projecta 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.

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 $+0,56\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni durant el període 1971-2018 en front de l'estiu amb $+0,57\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni. La tardor mostra un ritme d'escalfament de $+0,43\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni i a l'hivern es registra un $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 $+0,68\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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).

Així doncs el que s'ha trobat aquí podria ser conseqüència de la tècnica estadística de regionalització climàtica emprada i podria estar relacionat o ser conseqüència de la correcció aplicada a les projeccions regionalitzades a través de les covariances observades en el període de control. Aquesta correcció és necessària per la manca de situacions meteorològiques anàlogues en el present davant de situacions meteorològiques projectades en el futur sense precedents en el període de control, tema el qual ha estat tractat en l'apartat 4.3. Per tal de poder respondre aquesta qüestió al final del present capítol es comparen els resultats obtinguts en les tendències projectades a través del present estudi amb els obtingudes a partir de diferents conjunts de simulacions realitzats amb tècniques dinàmiques de regionalització climàtica (veure Taula 6.4) així com els resultats d'estudis similars per al mateix àmbit geogràfic.

Si observem les tendències obtingudes amb la simulació regionalitzada a partir de les re-anàlisis de l'NCEP-NCAR (Taula 6.1, 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 ($+0,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni) amb les re-anàlisis de l'NCEP-NCAR ja no destaca respecte l'estiu ($+0,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ per decenni), sent la primavera ($+0,46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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 6.1). 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, la qual cosa fa difícil trobar una tendència clara i robusta en aquesta variable (veure Taula 6.2). Així doncs, l'evolució 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% .

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.

L'anàlisi de la tendència lineal que presenten les evolucions projectades de la PPT per a tot Catalunya (Taula 6.2) 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), 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 (veure secció 2.3) 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 6.2). Encara que és pitjor aquesta comparació si s'analitzen les tendències obtingudes amb la simulació a partir de les reanàlisis de l'NCEP-NCAR, les quals 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, 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.

Taula 6.2: 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 %) i verd (sense significació).

Variable	Estació	Tendències de la precipitació (% per decenni)				
		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

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 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 6.3) així com una tendència independentment de l'escenari d'emissions considerat, d'augment per als DC, DT, DLG i 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

Taula 6.3: 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 1971-2015	NCEP-NCAR 1971-2014	CTROL 1971-2005	RCP4.5 2006-2100	RCP8.5 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

tendències observades doncs depèn molt de l'índex. Així es reproduïxen correctament per als DG, DFR, TR, n50PPT i per la resta no tan bé, sobretot per al p95PPT en què les simulacions donen una tendència de signe contrari a l'observada.

Finalment, a la Taula 5.5 es comparen les tendències obtingudes en el present estudi (ESCAT-2020) per a la TM i la PPT amb els resultats de les tendències que es van obtenir en el projecte ESCAT (Cunillera *et al.*, 2012) i que van servir de base per a l'Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic (ESCACC) 2013-2020. L'ESCACC està a punt d'arribar a la seva fi i serà substituïda per l'estratègia ESCACC30, per al període 2021-2030. L'ESCACC30 es basarà en les projeccions aquí presentades. També es comparen les tendències de l'ESCAT-2020 amb els resultats obtinguts del projecte EURO-CORDEX (Jacob *et al.*, 2020), en el qual s'han realitzat un conjunt de simulacions molt ampli amb tècniques dinàmiques de regionalització climàtica a 12,5 km de resolució espacial. De l'anàlisi d'aquestes dades se n'extreu el següent:

- Les tendències obtingudes per a la TM amb les simulacions de l'ESCAT-2020 projecten un ritme d'augment de la temperatura considerant l'escenari RCP8.5 major que els obtinguts amb les simulacions del projecte ESCAT.
- La magnitud de les tendències projectades per les simulacions de l'ESCAT-2020 per als escenaris RCP4.5 i RCP8.5 són similars als valors obtinguts per les simulacions de l'EURO-CORDEX.
- Les tendències projectades per a la PPT sí que semblen mostrar una major concordança

⁴El 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.

entre els tres conjunts de simulacions, malgrat la seva gran variabilitat temporal. Per exemple, és de destacar per a l'RCP8.5 que tant les simulacions de l'ESCAT-2020 com les de l'EURO-CORDEX coincideixen en donar l'estiu com l'estació on la precipitació es reduiria de manera notable i estadísticament significativa.

- En comparació entre les simulacions de l'ESCAT-2020 i les anteriors de l'ESCAT per a la precipitació, s'ha guanyat en significació estadística, sobretot per a l'escenari RCP8.5.
- El comportament anòmal trobat per a la tardor amb les simulacions de l'ESCAT-2020, sent l'estació amb el major ritme d'escalfament per davant de l'estiu, no troba la mateixa correspondència ni a les simulacions prèvies de l'ESCAT ni per a les més recents de l'EURO-CORDEX. Respecte aquestes últimes simulacions, el ritme de l'estiu estaria clarament subestimat amb el conjunt de simulacions de l'ESCAT-2020.

Tenint en compte l'últim comentari, sí que sembla prou plausible que les simulacions estarien sobreestimant el ritme d'escalfament de la tardor i subestimant el de l'estiu. Mirant altres conjunts de simulacions regionalitzades elaborades per altres organismes meteorològics com l'Agència Estatal de Meteorologia de l'estat espanyol (AEMet), en un informe relativament recent (*Amblar Francés et al.*, 2017) es van presentar tot un conjunt d'escenaris regionalitzats a partir dels models de l'*IPCC* (2013) fent ús de diferents tècniques de regionalització climàtica (estadístiques i dinàmiques), així com una recopilació de les simulacions del projecte EURO-CORDEX⁵. Si s'analitzen les projeccions estacionals de temperatura que s'hi presenten, el comportament anòmal projectat a la tardor per les simulacions ESCAT-2020 tampoc és observat per cap de les tècniques de regionalització emprades. Inclús, per a les simulacions regionalitzades amb la tècnica estadística dels anàlegs continua sent l'estiu l'estació de l'any amb un escalfament major, seguida per la tardor i després per la primavera i l'hivern. Resultats en concordança amb els escenaris elaborats prèviament per l'SMC tant en el projecte ESCAT (*Cunillera et al.*, 2012) com en els primers escenaris regionalitzats elaborats (*Barrera-Escoda i Cunillera*, 2011a,b) així com en el conjunt de simulacions del projecte EURO-CORDEX (veure Taula 5.5) o els resultats recopilats per a Catalunya a partir de totes les simulacions globals i regionalitzades disponibles en l'elaboració del Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (*Calbó et al.*, 2016).

Per tant, tenint en compte tot el que s'ha exposat ens els paràgrafs anteriors, es pot concloure que el comportament anòmal trobat en el present estudi per a l'increment de la temperatura a la tardor estaria estretament lligat amb la limitació que té la metodologia emprada a l'hora de no poder trobar situacions anàlogues a situacions meteorològiques futures que no hagin esdevingut mai en el període observacional i que s'havia pogut solucionar en part a partir d'una correcció de les projeccions futures que es basa en les covariances observades en el període de control (veure apartat 4.3). Amb la qual cosa, és d'esperar que el ritme d'escalfament projectat per a la tardor no sigui tan important i el de l'estiu sigui major, possiblement s'haurien d'intercanviar ambdós valors. Aquest seria un punt important a millorar de cara a elaborar noves projeccions amb la tècnica estadística de regionalització climàtica basada en els anàlegs meteorològics. A part, també s'hauria de trobar una solució a la limitació en la projecció dels extrems de precipitació amb la metodologia emprada, també comentat l'apartat 4.3.

⁵Es poden consultar les sortides gràfiques així com obtenir les dades a escala diària o mensual d'aquests escenaris regionalitzats al següent portal d'Internet de l'AEMet: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat.

No obstant tot el que s'ha comentat anteriorment, per al que no hi ha cap mena de dubte analitzant les simulacions de l'ESCAT-2020 i les d'altres conjunts de simulacions similars, és que en el proper trentenni 2021-2050 s'ha d'esperar un allargament de les condicions estiuenques: 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.

Taula 6.4: Tendències projectades durant el segle XXI per a la temperatura mitjana (TM) i la precipitació acumulada (PPT) a partir de diferents conjunts de simulacions regionalitzades per a tot Catalunya: Simulacions regionalitzades dinàmiques pel projecte internacional EURO-CORDEX (Jacob et al., 2020) i el projecte intern entre el BSC i l'SMC ESCAT (Cunillera et al., 2012) i les simulacions regionalitzades estadístiques en aquest informe ESCAT-2020. Els valors de les columnes es calculen a partir del percentil 50 del conjunt de simulacions. 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 %) i verd (sense significació).

Projecte:		EURO-CORDEX		EURO-CORDEX		ESCAT		ESCAT-2020		ESCAT-2020	
Resolució:		12,5 km		12,5 km		10 km		1 km		1 km	
Escenari:		RCP4.5		RCP8.5		SRES ⁷		RCP4.5		RCP8.5	
Simulacions:		16		16		6		3		3	
Regionalització:		Dinàmica		Dinàmica		Dinàmica		Estadística		Estadística	
Variable	Estació	(2006-2100)		(2006-2100)		(2001-2050)		(2006-2100)		(2006-2100)	
Tendències de la temperatura mitjana (°C per decenni)											
TM	Anual	+0,18		+0,45		+0,26		+0,13		+0,41	
TM	Hivern	+0,16		+0,40		+0,27		+0,12		+0,33	
TM	Primavera	+0,15		+0,39		+0,23		+0,13		+0,46	
TM	Estiu	+0,21		+0,54		+0,34		+0,11		+0,37	
TM	Tardor	+0,21		+0,47		+0,33		+0,16		+0,50	
Tendències de la precipitació acumulada (% per decenni)											
PPT	Anual	-0,2		-1,7		-2,1		-0,6		-2,5	
PPT	Hivern	+0,5		-0,8		+2,0		+0,5		-2,0	
PPT	Primavera	-0,5		-1,9		-0,5		-2,7		-3,1	
PPT	Estiu	-0,7		-4,0		-1,3		-0,7		-3,3	
PPT	Tardor	-0,3		-1,4		-2,8		-0,6		-1,7	

⁶El llinar del 90 % de nivell de confiança és considerat massa baix com per a extreure conclusions respecte a la notorietat o no d'una tendència.

⁷Nom dels escenaris d'emissions emprats en el 3r i 4t informes d'avaluació de l'IPCC (2001; 2007). En aquest projecte es van fer servir els escenaris d'emissions B1 (moderat), A1B (intermedi) i A2 (intensiu), amb dues simulacions per a cada escenari i que van servir de base per a redactar l'ESCACC 2013-2020 per part de l'OCCC (2012). La correspondència d'aquests escenaris amb els actuals RCP vindria a ser aproximadament: el B1 seria semblant a l'RCP4.5, l'A1B s'assemblaria a l'RCP6.0 i l'A2 es quedaria força per davall de l'RCP8.5 (semblant a l'A1FI).

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, M. Barnolas, M. Herrero, A. Serra, A. Sairouni, i M. Prohom (2016), *Construction of a temperature and precipitation high-resolution database in Catalonia for the 1970-2014 period. Analyses of recent climatic variability*, 16th European Meteorological Society (EMS) Annual Meeting and 11th European Conference on Applied Climatology (ECAC) 2016, 12-16 de setembre. Trieste, Itàlia (presentació oral). EMS2016-477, <http://scur.cat/YCZ04C>.
- 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/2C0L0G>.
- Anderson, J. L., V. Balaji, A. J. Broccoli, W. F. Cooke, et al. (2004), The new GFDL global atmosphere and land model AM2-LM2: Evaluation with prescribed SST simulations, *Journal of Climate*, 17(24), 4641, doi:10.1175/JCLI-3223.1.
- 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.
- Baur, F., T. Bergeron, C. Kassner, K. Keil, K. Knoche, R. Mügge, G. Pogade, i A. Schulze (1951), *Linkes meteorologisches taschenbuch: Neue Ausgabe I*, 360 pp., Geest & Portig, Leipzig, Alemanya.
- Benestad, R., I. Hanssen-Bauer, i E. Førland (2007), An evaluation of statistical models for downscaling precipitation and their ability to capture long-term trends, *International Journal of Climatology*, 27(5), 649–665, doi:10.1002/joc.1421.
- Buishand, T. A., i T. Brandsma (1999), Dependence of precipitation on temperature at Florence and Livorno (Italy), *Climate Research*, 12(1), 53–63.
- 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.
- 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 Catalans 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>.
- Christensen, J. H. (2005), Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European climate change risks and Effects. prudence Final Report, *Informe tècnic*, 269 pp., Danish Meteorological Institute, Copenhagen, Dinamarca, <http://prudence.dmi.dk/public/publications/PRUDENCE%20Final%20report.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), *Generació d'escenaris climàtics amb alta resolució a Catalunya. Projecte ESCAT*, 57 pp., Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya i Barcelona Supercomputing Center-Centro Nacional de Supercomputación, 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.

- Flato, G. M. (2005), The Third Generation Coupled Global Climate Model (CGCM3). Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, <http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/default.asp?lang=En&n=1299529F-1>.
- Fowler, H., S. Blenkinsop, i C. Tebaldi (2007), Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling, *International journal of climatology*, 27(12), 1547–1578, doi:10.1002/joc.1556.
- 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.
- Giorgi, F., i W. J. Gutowski Jr (2015), Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative, *Annual Review of Environment and Resources*, 40, 467–490, doi:10.1146/annurev-environ-102014-021217.
- Giorgi, F., C. Jones, i G. R. Asrar (2009), Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin*, 58(3), 175.
- 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.
- Goodess, C. M., i P. D. Jones (2002), Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall, *International Journal of Climatology*, 22(13), 1593–1615, doi:10.1002/joc.810.
- 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.
- Gutiérrez, J. M., J. Ribalaya, M. C. Llasat, R. Romero, J. Abaurrea, i E. Rodríguez-Camino (2012), Escenarios-PNACC 2012: Descripción y análisis de los resultados de regionalización estadística, A *Cambio Climático: Extremos e impactos*, editat per C. Rodríguez-Puebla, A. Ceballos-Barbancho, N. González-Reviriego, E. Morán-Tejeda, i A. Hernández-Encinas, pp. 63–72, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), serie A, nº 8, Salamanca, Espanya.
- 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>.
- Hewitson, B. C. (1999), *Deriving regional precipitation scenarios from general circulation models*, Report K751/1/99, 40 pp., Water Research Commission, Pretòria, Sud-Àfrica.

- 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 (2001), *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (TAR)*. [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K.Maskell, and C.A. Johnson (eds.)], 881 pp., Cambridge University Press, UK and USA, <https://www.ipcc.ch/report/ar3/wg1/>.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC-AR4)*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], 996 pp., Cambridge University Press, UK and USA, http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm.
- 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.
- 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.
- Jiménez-Guerrero, P., J. P. Montávez, M. Domínguez, R. Romera, L. Fita, J. Fernández, W. Cabos, G. Liguori, i M. Gaertner (2013), Mean fields and interannual variability in RCM simulations over Spain: the ESCENA project, *Climate Research*, 57(3), 201–220, doi:10.3354/cr01165.
- Joshi, M. M., J. M. Gregory, M. J. Webb, D. M. Sexton, i T. C. Johns (2008), Mechanisms for the land/sea warming contrast exhibited by simulations of climate change, *Climate Dynamics*, 30(5), 455–465, doi:10.1007/s00382-007-0306-1.
- 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.

- Llebot, J. E. (Ed.), (2010), *Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*, 1152 pp., Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, <http://scur.cat/34PB5E>.
- Luterbacher, J., D. Dietrich, E. Xoplaki, M. Grosjean, i H. Wanner (2004), European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500, *Science*, 303(5663), 1499–1503, doi:10.1126/science.1093877.
- 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.
- Nakićenović, N., R. Swart, J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, S. van Rooijen, N. Victor, i D. Dadi (2000), *Emissions Scenarios 2000–Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 570 pp., Cambridge University Press, Cambridge, UK, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/sres/emission/index.php?idp=0>.
- Namias, J. (1951), General aspects of extended range forecasting, *Compendium of Meteorology*, pp. 802–813.
- Ninyerola, M., X. Pons, i J. M. Roure (2000), A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques, *International Journal of Climatology*, 20(14), 1823–1841.
- Ninyerola, M., J. M. Roure, i X. P. Fernández (2005), *Atlas climático digital de la Península Ibérica: metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*, 44 pp., Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- Núñez-Mora, J. (2017), Premio Nacional de observación 2017 Familia Rovira-Monfort: Atzeneta del Maestrat, Castellón, Blog de la Agencia Estatal de Meteorología, <https://aemetblog.es/2017/04/03/premio-nacional-de-observacion-2017-familia-rovira-monfort/>.
- 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.
- Rowell, D. P., i R. G. Jones (2006), Causes and uncertainty of future summer drying over Europe, *Climate Dynamics*, 27(2-3), 281–299, doi:10.1007/s00382-006-0125-9.
- Ruti, P. M., S. Somot, F. Giorgi, C. Dubois, E. Flaounas, A. Obermann, A. Dell'Aquila, G. Pisacane, A. Harzallah, E. Lombardi, B. Ahrens, N. Akhtar, A. Alias, T. Arsouze, R. Aznar, S. Bastin, J. Bartholy, K. Béranger, J. Beuvier, S. Bouffies-Cloch  , J. Brauch, W. Cabos, S. Calmanti, J.-C. Calvet, A. Carillo, D. Conte, E. Coppola, V. Djurdjevic, P. Drobinski, A. Elizalde-Arellano, M. Gaertner, P. Galán, C. Gallardo, S. Gualdi, M. Goncalves, O. Jorba, G. Jord  , B. L'Heveder, C. Lebeaupin-Brossier, L. Li, G. Liguori, P. Lionello, D. Maci  s, P. Nabat, B.   nol, B. Raikovic, K. Ramage, F. Sevault, G. Sannino, M. V. Struglia, A. Sanna, C. Torma, i V. Vervatis (2016), MED-CORDEX initiative for Mediterranean climate studies, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7), 1187–1208, doi:10.1175/BAMS-D-14-00176.1.
- Sairouni, A., J. Mor  , 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>.
- Serrano-Notivoli, R., J. Martín-Vide, M. Saz, L. A. Longares, S. Beguería, P. Sarricolea, O. Meseguer-Ruiz, i M. De Luis (2018), Spatio-temporal variability of daily precipitation concentration in Spain based on a high-resolution gridded data set, *International Journal of Climatology*, 38, e518–e530, doi:10.1002/joc.5387.
- 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.
- SMC (2013a), 10 anys del t  rrid estiu del 2003, Efem  rides del Servei Meteorològic de Catalunya, <http://scur.cat/N9GL3N>, publicat el 13-08-2013.
- SMC (2013b), PRESCAT (PRedicció EStadistica per conjunts a CATalunya), Miscel  l  nia del Servei Meteorològic de Catalunya, <http://scur.cat/34NPJ0>, publicat el 13-06-2013.
- SMC (2015), 30 anys de la Gran Fredorada de gener de 1985, Efem  rides del Servei Meteorològic de Catalunya, <http://scur.cat/P8FHNX>, publicat el 09-01-2015.
- SMC (2017), *Anàlisi de l'evolució recent del clima del Penedès. Períodes 1951-2015 i 1981-2015*, 56 pp., Informe intern.   rea de Climatologia, Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- SMC (2019a), *El temporal de pluja ha deixat m  s 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 (2020a), *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.
- SMC (2020b), *Avanç del Butlletí estacional de primavera 2020*, Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, <http://scur.cat/3PENKJ>, publicat el 08-06-2020.
- 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 der Linden, P., i J. F. B. Mitchell (2009), *ENSEMBLES: Climate change and its impacts at seasonal, decadal and centennial timescales*, 160 pp., Met Office Hadley Centre, Exeter, RU, http://ensembles-eu.metoffice.com/docs/Ensembles_final_report_Nov09.pdf.
- Van Ulden, A. P., i G. J. Van Oldenborgh (2006), Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in Central Europe, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6(4), 863–881, doi:10.5194/acp-6-863-2006.
- 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.

Acrònims i abreviatures

Llistat dels acrònims i abreviatures utilitzats en el present document:

°C - Graus Celsius, unitat de mesura de la temperatura

ACA - Agència Catalana de l'Aigua

AEMET - Agència Estatal de Meteorologia

AMB - Àrea Metropolitana de Barcelona

ASTER - Agrupació Astronòmica de Barcelona

BAIC - Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics de l'SMC

BR - Barcelona Regional

CanESM2 - Versió 2 del model global del sistema Terra del *Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis* (Centre Canadenc per a la Modelització i Anàlisi del Clima) elaborat per al CMIP5 (model canadenc)

CHE - Confederació Hidrològica de l'Ebre

CIC - Conques Internes de Catalunya

CMIP5 - *5th phase of the Climate Model Intercomparison Project*, 5a fase del Projecte d'Inter-comparació de Models Climàtics

CTROL - Control, referint-se a un període de control per a una simulació climàtica

DC - Dies de Calor, aquells que $TX \geq 30\text{ °C}$

DFR - Dies de Fredor, aquells que $TM \leq 10\text{ °C}$

DG - Dies de Glaçada, aquells que $TN \leq 0\text{ °C}$

DGF - Hivern; mesos de desembre, gener i febrer

DLG - Dies Lliures de Glaçada, aquells que $TN \geq 2\text{ °C}$

DT - Dies Tòrrids, aquells que $TX \geq 35\text{ °C}$

EMA - Estació Meteorològica Automàtica

EMM - Estació Meteorològica Manual

ESRL - *Earth System Research Laboratory* (Laboratori de Recerca del Sistema Terra de la NOAA, EUA)

- ESAMB** - Escenaris Climàtics Futurs a Molt Alta Resolució (1 km) per a l'AMB, projecte de recerca conjunt entre l'AMB, BR i l'SMC
- ESCACC** - Estratègia Catalana d'Adaptació al Canvi Climàtic
- ESCAT** - Escenaris Climàtics amb Alta Resolució (10 km) per a Catalunya, projecte de recerca conjunt entre l'SMC i el BSC
- EUA** - Estats Units d'Amèrica
- GFDL-ESM2G** - Model global del sistema Terra del *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory* (Laboratori Geofísic de Dinàmica de Fluids) dels EUA elaborat per al CMIP5 (model americà)
- IPCC** - *International Panel on Climate Change* (Grup Internacional d'Experts sobre el Canvi Climàtic de l'ONU)
- JJA** - Estiu; mesos de juny, juliol i agost
- LMRS** - Longitud màxima de la ratxa seca
- long.** - Longitud
- MAM** - Primavera; mesos de març, abril i maig
- màx.** - Màxim
- MCGC** - Model de Circulació General Climàtic
- mín.** - Mínim
- mit.** - Mitjana
- mm** - mil·límetres, unitat de mesura de la precipitació
- MM5** - *Mesoscale Model 5*, Model Mesoescalar versió 5 de l'NCEP-NCAR i la Universitat de Pennsilvània dels Estats Units d'Amèrica
- MPI-ESM** - Model global del sistema Terra de l'Institut Max Planck de Meteorologia d'Alemanya elaborat per al CMIP5 (model alemany)
- nbre.** - Nombre
- NCEP-NCAR** - *National Centers for Environmental Prediction - National Centers for Atmospheric Research* (Centres Nacionals per a la Predicció Ambiental - Centres Nacionals per a la Recerca Atmosfèrica) de la NOAA dels EUA
- NOAA** - *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Administració Nacional Oceànica i Atmosfèrica dels EUA)
- núm.** - Número
- OBS** - Observacions
- Obs.** - Observatori
- OCCC** - Oficina Catalana del Canvi Climàtic
- ONU** - Organització de les Nacions Unides
- p05** - Percentil 5 d'una mostra de dades
- p50** - Percentil 50 d'una mostra de dades
- p95** - Percentil 95 d'una mostra de dades
- p95PPT** - Percentil 95 anual dels dies amb precipitació apreciable ($\geq 0,1$ mm)
- PMA** - Precipitació Mitjana Anual
- PPT** - Precipitació acumulada
- PRESCAT** - PRedicció EStadística per conjunts a CATalunya, nom que rep la predicció meteorològica operativa de caire probabilístic i basada en tècniques de regionalització estadística del Servei Meteorològic de Catalunya
- RACAB** - Reial Acadèmia de Ciències de Barcelona
- RAM** - Recerca Aplicada i Modelització, àrea del Servei Meteorològic de Catalunya
- RCP** - *Representative Concentration Pathways*, Trajectòries Representatives de Concentracions. Nom dels escenaris d'emissions utilitzats al 5è Informe d'Avaluació de l'IPCC (2014)
- RU** - Regne Unit
- s.** - Segle

s.n.m. - Sobre el nivell del mar

SICCC - Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (*Llebot*, 2010)

SRES - *Special Report on Emission Scenarios*, Informe Especial sobre els Escenaris d'Emissions. Nom que rebien els escenaris d'emissions emprats en els 3r i 4t Informe d'Avaluació de l'*IPCC* (2001; 2007)

ss. - Segles

St. - Sant

Sta. - Santa

SMC - Servei Meteorològic de Catalunya

SON - Tardor; mesos de setembre, octubre i novembre

TICCC - Tercer Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya (*Martín-Vide et al.*, 2016)

TM - Temperatura Mitjana

TMA - Temperatura Mitjana Anual

tme. - Terme

TN - Temperatura mínima

TO - Nits Tòrrides, aquelles que $TN \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

TR - Nits Tropicals, aquelles que $TN \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

TX - Temperatura màxima

WRF - *Weather Research and Forecasting Model*, Model de Recerca i Predicció del Temps dels EUA

XEMA - Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques de l'SMC

XMO - Xarxa Meteorològica d'Osona

XOM - Xarxa d'Observadors Meteorològics de l'SMC