



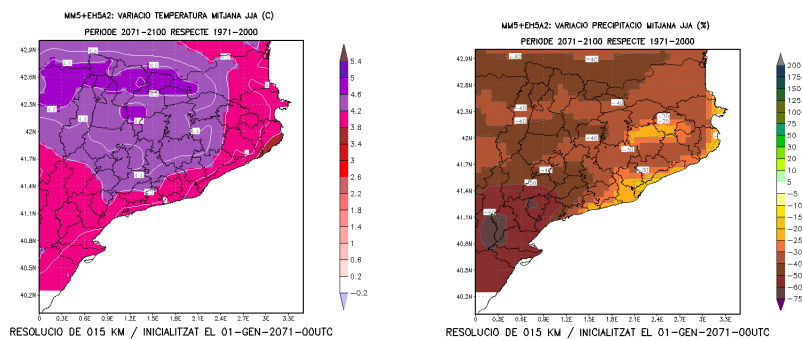
Servei Meteorològic
de Catalunya

Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI

A. Barrera-Escoda i J. Cunillera

EQUIP DE CANVI CLIMÀTIC. ÀREA DE CLIMATOLOGIA
SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA

Juny 2011



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

Índex

1	Introducció	4
1.1	Motivació	4
1.2	Metodologia	6
2	Resultats	9
2.1	Catalunya	9
2.1.1	Quadre resum	9
2.1.2	Projeccions de temperatura	14
2.1.3	Projeccions de precipitació	19
2.1.4	Projeccions d'humitat relativa	28
2.1.5	Projeccions de vent	34
2.2	Pirineu	40
2.2.1	Quadre resum	40
2.2.2	Projeccions de temperatura	44
2.2.3	Projeccions de precipitació	46
2.2.4	Projeccions d'humitat relativa	48
2.2.5	Projeccions de vent	50
2.3	Interior	52
2.3.1	Quadre resum	53
2.3.2	Projeccions de temperatura	57
2.3.3	Projeccions de precipitació	58
2.3.4	Projeccions d'humitat relativa	60
2.3.5	Projeccions de vent	63
2.4	Litoral i Prelitoral	65
2.4.1	Quadre resum	66
2.4.2	Projeccions de temperatura	69
2.4.3	Projeccions de precipitació	71
2.4.4	Projeccions d'humitat relativa	73
2.4.5	Projeccions de vent	76
3	Conclusions i treball futur	78
3.1	Conclusions	78
3.1.1	Catalunya	79
3.1.2	Pirineu	81
3.1.3	Interior	82
3.1.4	Litoral i Prelitoral	83
3.2	Treball futur	85
4	Agraïments	86
5	Apèndix	86
5.1	Anàlisi de tendències a partir d'una tècnica Monte Carlo . . .	86



Servei Meteorològic
de Catalunya



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

5.2 Llistat d'abreviatures i acrònims	88
Bibliografia	91

1 Introducció

Aquest document ha estat elaborat amb la finalitat de donar a conèixer i exposar els resultats obtinguts pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) en relació amb la generació d'escenaris climàtics regionalitzats futurs a Catalunya. Aquesta tasca ha estat desenvolupada majoritàriament a l'Àrea de Recerca Aplicada i Modelització durant els últims tres anys i mig i finalitzada al recent creat Equip de Canvi Climàtic de l'Àrea de Climatologia. El treball desenvolupat ha consistit en l'obtenció d'escenaris regionalitzats futurs a Catalunya i una anàlisi en profunditat de les principals variables meteorològiques en superfície: temperatura a 2 m, precipitació, humitat relativa i velocitat del vent a 10 m. Aquest informe representa la continuació d'un informe preliminar publicat al juliol de 2010 (*Barrera-Escoda i Cunillera*, 2010a), així com una extensió i anàlisi més exhaustiva que la realitzada llavors. També s'ha de comentar que una part dels resultats que es presenten en aquest document s'acaben de publicar recentment en el *Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya* (SICC) del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) en el capítol de *Calbó et al.* (2010), en la redacció del qual l'SMC ha participat activament.

Per a citar aquest document s'ha de realitzar de la següent manera:

Barrera-Escoda, A. i J. Cunillera (2011): *Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI*. Informe tècnic. Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, Barcelona, 95 pp. <http://www.meteo.cat/>

1.1 Motivació

La resolució típica dels models de circulació general climàtics (MCGCs), entre 100 i 300 km, no és suficient per a estudiar les característiques del clima a escala regional o local (a nivell de Catalunya o les seves comarques). Per tant, les projeccions obtingudes directament dels MCGCs per al s. XXI no són útils per a avaluar els impactes a escala regional i local que tindran lloc a causa de l'escalfament global. És per aquest motiu que es recomana l'ús de tècniques de regionalització climàtica (*downscaling* en anglès) per a la realització d'escenaris climàtics futurs a alta resolució (*IPCC*, 2007). Aquestes tècniques consisteixen bàsicament en obtenir les variables meteorològiques principals amb un detall espacial més gran. Existeixen nombroses tècniques de regionalització, les quals es poden dividir en dos grups: estadístiques i dinàmiques. Les tècniques estadístiques utilitzen relacions empíriques que relacionen les variables climàtiques de gran escala (o predictors) amb les variables regionals o locals (predictands). Per una altra banda les tècniques

dinàmiques usen models meteorològics d'àrea limitada (models mesoescalars) per a obtenir les mateixes variables.

La necessitat de baixar d'escala les simulacions dels MCGCs, comentada anteriorment, es fa més palesa encara en zones de la Terra amb una complexa orografia com Catalunya, la qual es troba a més a la zona Mediterrània i, per tant, sota la influència de masses d'aire tant d'origen polar com tropical. La complexa orografia de Catalunya comporta que els processos mesoescalars, com poden ser les pluges orogràfiques o els fenòmens convectius, tinguin un paper molt important en la climatologia del país. Aquests processos no estan ben resolts pels MCGCs o bé no es tenen en compte en el sí d'aquests models, donades les seves baixes resolucions espacials.

L'últim informe de l'*IPCC* (2007), *IPCC-AR4* d'ara endavant, exposa que una de les zones de la Terra més vulnerables al canvi climàtic seria la zona Mediterrània. En aquesta zona es projecta un augment de la temperatura mitjana superior al valor mitjà projectat per al conjunt del planeta, així com una disminució de la precipitació. Concretament, segons l'*IPCC-AR4* s'espera que al Sud d'Europa empitjorin les condicions ambientals (temperatures més altes i més seques) en una regió ja vulnerable a la variabilitat climàtica. En conseqüència, es reduiria la disponibilitat d'aigua, el potencial de generació hidroelèctrica, el turisme d'estiu i, en general, el rendiment dels cultius. S'esperen, a més a més, més riscos per a la salut humana a causa d'una major freqüència d'onades de calor i incendis forestals. Paral·lelament, es preveu per a tot el conjunt d'Europa un augment del risc d'inundacions a l'interior, inundacions costaneres més freqüents i augment de l'erosió (a causa dels temporals i a l'augment del nivell del mar). La majoria dels ecosistemes i organismes s'adaptarien amb dificultat al Canvi Climàtic. Les zones muntanyenques s'enfrontarien a la reculada de glaceres, reducció de la coberta de neu i del turisme d'hivern i a extenses pèrdues d'espècies (en algunes zones fins a un 60% en escenaris d'emissions elevades per al 2080). Per als extrems hídrics (inundacions i seques), l'últim informe de l'*IPCC-AR4* apunta cap a un augment en la variància de la precipitació a causa de l'escalfament global. És a dir, un augment tant en els episodis de precipitacions intenses com de les seques. Així, alguns estudis publicats recentment mostren que els períodes secs i les seques augmentarien a Catalunya durant aquest segle (*Altava-Ortiz, 2010*). Quant als valors anuals de precipitació, per a la zona Mediterrània es preveu una reducció del 10-15%. Aquesta reducció en la precipitació provocaria a més una reducció del 20-40% en la disponibilitat dels recursos hídrics de la zona.

En detall, si s'analitzen el màxim nombre possible de les simulacions climàtiques realitzades en el marc de l'IPCC-AR4 i del projecte europeu *ENSEMBLES*¹, i seleccionant només els valors de les cel·les d'aquestes simulacions que cauen dins de l'àmbit geogràfic de Catalunya (caixa definida per 0° – $3,5^{\circ}$ E i $40,5^{\circ}$ – 43° N), es pot tenir una bona estimació del rang de variació projectat segons aquests models globals per a l'evolució de les temperatures i les precipitacions durant el s. XXI. Aquesta anàlisi s'ha realitzat a l'SMC calculant les variacions en relació al període climàtic de referència 1961-1990. La gran majoria de les simulacions climàtiques emprades a l'IPCC-AR4 i al projecte *ENSEMBLES* estan disponibles lliurement per a la comunitat científica al *World Data Center for Climate* (WDCC) d'Hamburg (Alemanya) a través del portal d'Internet CERA (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/>).

A la Fig. 1 es representen les evolucions anuals de les anomalies de temperatura (Fig. 1a) i precipitació (Fig. 1b) per al conjunt de Catalunya durant el període 1850-2100. També s'hi representen les anomalies mitjanes anuals observades de temperatura de 1869 a 2010 (*Brunet et al.*, 2001, actualitzades amb dades de l'SMC) i de precipitació areal de 1898 a 2010 (*Barrera-Escoda*, 2008, actualitzades amb dades d'*Altava-Ortiz*, 2010 i de l'SMC) a Catalunya. Es pot observar com el rang de variabilitat produït pels models és comparable a l'observat o fins i tot major en el cas de la precipitació. És notable l'increment de temperatura projectat pels diferents models, el qual es troba fitat entre els $1,5^{\circ}\text{C}$ i 6°C , amb un valor mitjà de $3,5^{\circ}\text{C}$, per a finals del s. XXI. Per altra banda, es veu que la gran majoria de valors de temperatura des de finals del segle passat es troben en el rang de valors del percentil 95 de les projeccions. Aquest fet posa de manifest que la gran majoria de models globals estan subestimant l'augment en les temperatures i, per tant, l'augment projectat de temperatura per a aquest segle estaria en la fita superior de les projeccions considerades. Finalment, caldria destacar la gran dispersió de resultats en l'evolució de la precipitació, tot i que malgrat aquesta diversitat de projeccions, domina la seva disminució al voltant d'un 25% cap a finals del s. XXI. S'ha de tenir en compte per a entendre aquesta dispersió de resultats que la precipitació és una variable amb un comportament molt irregular i més en una zona de clima mediterrani com Catalunya.

1.2 Metodologia

L'SMC, pels motius exposats anteriorment, ha desenvolupat durant els últims tres anys una tècnica de regionalització dinàmica del clima futur a Catalunya a partir del model mesoescalar *MM5* (*Grell et al.*, 1994; *Dudhia*

¹més informació sobre el projecte *ENSEMBLES* es pot trobar a l'adreça: <http://ensembles-eu.metoffice.com/index.html>

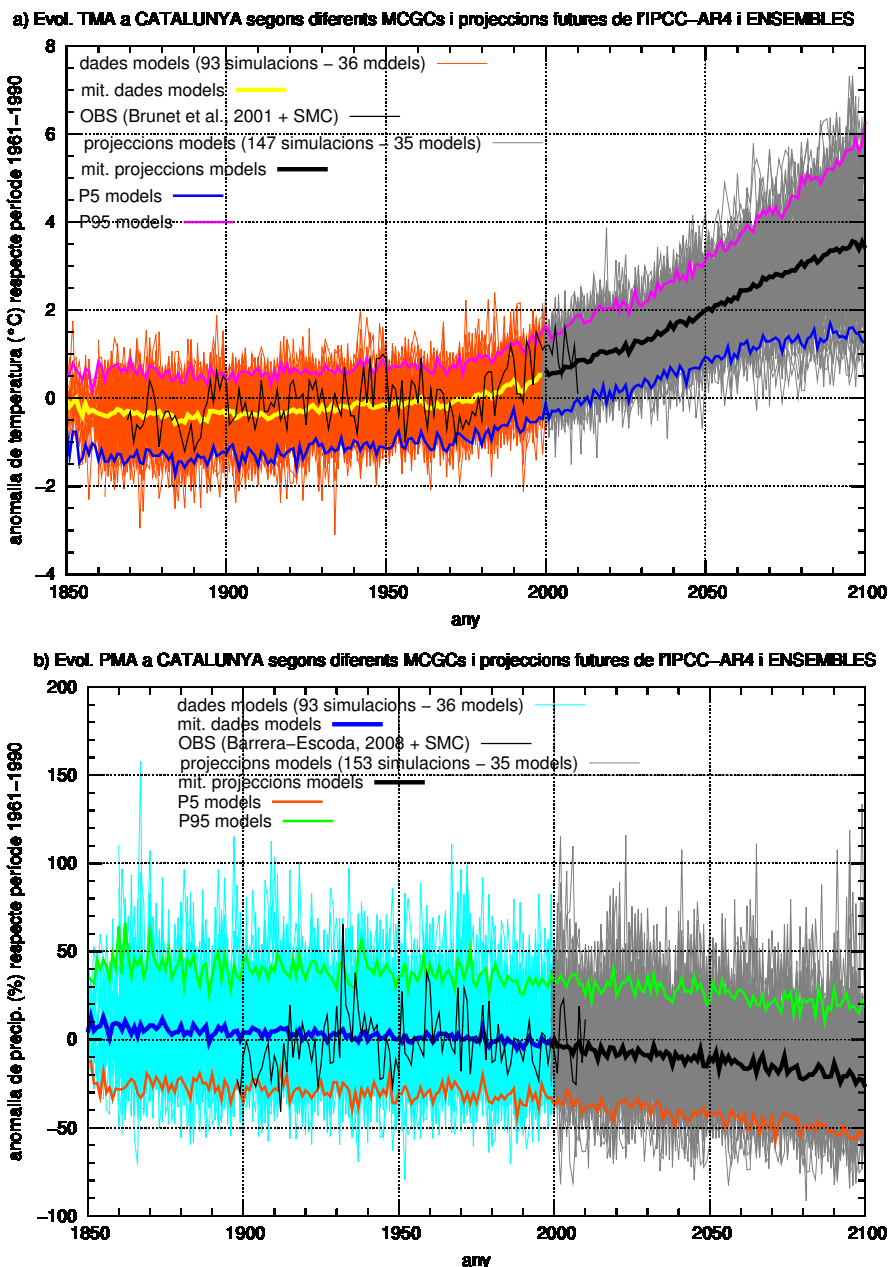


Figura 1: Evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de temperatura (a) i precipitació (b) per al conjunt de Catalunya per al període 1850-2100 obtingudes a partir de les simulacions de diferents models climàtics globals desenvolupades en el sí del quart informe de l'IPCC (2007) i del projecte europeu *ENSEMBLES*. Període de referència 1961-1990. OBS són les observacions, TMA, temperatura mitjana anual, PMA, precipitació mitjana anual, mit., mitjana, evol., evolució, P5, percentil 5 del conjunt de valors anuals de les simulacions i P95, el percentil 95. Dades de les simulacions climàtiques extremes del *World Data Center for Climate* (<http://cera-www.dkrz.de/CERA/>).

et al., 2005) niat a les condicions de contorn subministrades pel model de circulació general acoblat atmosfera-oceà *ECHMA5+MPI/OM* (Roeckner *et al.*, 2003; Marsland *et al.*, 2003) sota diferents forçaments radiatius al s. XXI. S'han tingut en compte dos escenaris d'emissions definits a l'*Informe Especial sobre Escenaris d'Emissions* (IEEE) de Nakićenović *et al.* (2000): un de sever (IEEE A2) i un altre de moderat (IEEE B1). S'ha de comentar que el model *MM5* és un dels models que s'utilitzen en la predicció meteorològica que cada dia elabora l'SMC i la seva fiabilitat és força elevada (Sairouni *et al.*, 2007). A més a més, és un dels models numèrics de predicció a curt termini més àmpliament estesos entre la comunitat internacional de modelització atmosfèrica, ja que és de lliure distribució i d'una execució i adaptació informàtica senzilles sobre múltiples plataformes. Per una altra banda el model *ECHAM5+MPI/OM* ha mostrat ser un dels MCGCs que reproduïen millor el clima actual de la Terra sota els forçaments radiatius coneguts (Van Ulden i Van Oldenborgh, 2006) i, en especial, a la zona Mediterrània (Altava-Ortiz, 2010). Per tant, es pot considerar un dels millors models per a realitzar projeccions futures del clima.

La metodologia emprada per a l'obtenció dels escenaris regionalitzats no es presenta en aquest informe. S'ha de comentar però, que en un estudi previ (Barrera-Escoda i Cunillera, 2010b) s'ha conclòs que és una bona eina per a la regionalització climàtica a Catalunya i, sobretot, per a definir les característiques espaciotemporals de la precipitació i la temperatura: camps mitjans, variabilitat interanual i distribució de freqüències. Tot i així la metodologia emprada presenta algunes llacunes com la incorrecta reproducció del cicle estacional de la precipitació o una sobreestimació general de la mateixa (sobretot a l'hivern i a la primavera). En relació a les temperatures s'observa una menor variabilitat i un esbiaixament fred general (temperatures més baixes que les observades), el qual és intrínsec al model *MM5* tal i com es va concloure a la nota d'estudi de l'SMC de Sairouni *et al.* (2007).

En resum, les simulacions desenvolupades amb l'*MM5* s'han realitzat a través d'una integració formada per tres dominis niats unidireccionalment de 135, 45 i 15 km de resolució horitzontal respectivament i amb 23 nivells verticals. Les simulacions han permès obtenir les projeccions de diferents variables meteorològiques. Bàsicament s'han analitzat amb profunditat els camps de temperatura a 2 m, precipitació, humitat relativa de l'aire en superfície i velocitat del vent a 10 m per a tres períodes del s. XXI: 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100, així com la seva evolució temporal projectada al llarg del present segle. Per una altra banda, s'ha escollit analitzar només aquestes variables en superfície per ser les d'un major interès immediat i ser aquelles que influeixen més directament en la societat i, sobretot, en els recursos hídrics del país.

2 Resultats

En aquest apartat es presenten els resultats de les projeccions dels camps de temperatura a 2 m, precipitació, humitat relativa de l'aire en superfície i velocitat del vent a 10 m a Catalunya, centrant-se en els canvis projectats en la distribució espacial d'aquestes variables (camps mitjans anuals i estacionals) i en les distribucions de freqüència dels seus valors mitjans mensuals. Això últim es coneix com a *Funció Densitat de Probabilitat* (FDP). Per a la precipitació també s'estudien els valors màxims diaris mensuals per a poder analitzar l'impacte que té l'augment en les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEHs) en els valors de precipitació extrema o intensa. També s'analitza en aquest apartat l'evolució temporal projectada durant el present segle de les variables considerades per a poder analitzar les tendències futures a llarg termini per a cadascuna de les variables.

Els resultats que es presenten en aquest informe s'han dividit en dos grans grups. En primer lloc es presenten els resultats considerant tot el conjunt de Catalunya i, en segon lloc, es presenten els resultats zonificats per a les tres grans zones climàtiques en les quals es pot dividir Catalunya: Pirineu, Interior i Litoral-Prelitoral (Fig. 2). En aquest segon grup es posa l'èmfasi en analitzar si les evolucions previstes de les variables considerades tenen una dependència espacial o no, ja que donada la complexa orografia del país és d'esperar que hi hagi diferències apreciables entre les diferents zones. Aquestes zones s'han definit de manera aproximada, delimitant uns polígons sobre la malla de punts del domini de 15 km de la simulació regionalitzada desenvolupada, els quals es mostren a la Fig. 2.

2.1 Catalunya

A continuació es presenta un resum de les projeccions de les variables citades anteriorment durant el s. XXI per al conjunt de Catalunya, per a més endavant centrar-se en cada variable per separat.

2.1.1 Quadre resum

En aquesta secció es presenta de manera resumida els canvis projectats en temperatura, precipitació, humitat relativa i velocitat del vent en superfície (Taula 1 i Taula 2) per al conjunt de Catalunya segons els dos escenaris d'emissions considerats i per a tres períodes d'estudi de 30 anys (2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100) del s. XXI.

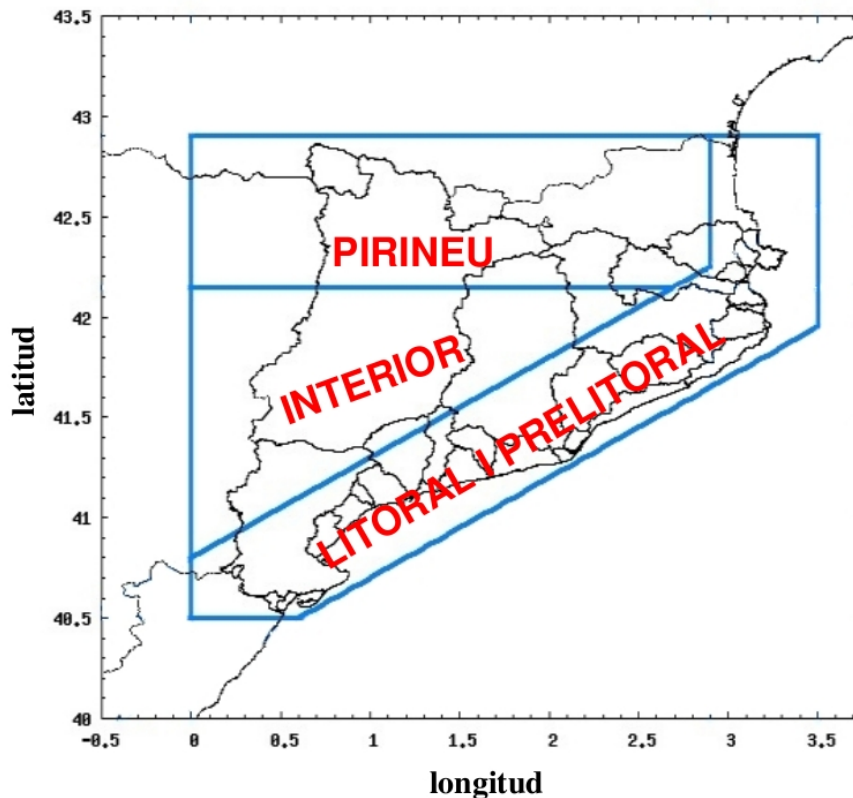


Figura 2: Zonificació de Catalunya utilitzada per a analitzar, a una escala menor que la del conjunt del país, les simulacions regionalitzades desenvolupades. Les divisions que apareixen dins dels contorns de Catalunya són les conques hidrològiques principals segons estan definides per l'ACA (Agència Catalana de l'Aigua).

En detall es té que a la Taula 1 es troben els canvis projectats en la temperatura i la precipitació al conjunt de Catalunya (en una nova caixa definida per $0,15^{\circ}$ – $3,35^{\circ}$ E i $40,5^{\circ}$ – $42,9^{\circ}$ N). Així doncs, en aquesta taula es dona el valor mitjà, màxim i mínim de les variacions projectades en aquestes dues variables per a cada període, escenari i estació de l'any. Aquests valors han estat calculats a partir de tots els punts de malla del domini d'alta resolució (15 km) que es troben en terra ferma i cauen dins de la caixa definida anteriorment. En resum, es pot afirmar que durant aquest segle es projecta un augment de la temperatura mitjana anual per als dos escenaris d'emissions. Aquest augment seria de l'ordre de $0,5^{\circ}$ C per al període 2011-2040, al voltant d' $1,5^{\circ}$ C durant 2041-2070 i de l'ordre de 3° C per a finals de segle (2071-2100). Tots aquests valors respecte als valors mitjans del període de referència 1971-2000. També s'observa un augment de la temperatura en totes les estacions de l'any, essent més acusat a l'estiu i sobretot per a l'escenari A2. En precipitació, per a tots dos escenaris s'obté una disminució

de la precipitació, d'un 5-10%, per al període 2011-2040, que no s'amplifica (sinó el contrari) durant el segon període d'estudi (disminució del 0-5%) per a tornar a disminuir considerablement per a finals de segle entre un 10-20%. De nou, aquests valors són respecte als valors mitjans del període de referència 1971-2000. Així doncs, la disminució de la precipitació no seria un resultat tan robust com l'augment de temperatura projectat, ja que existeixen diferències notables entre períodes (de fet, s'obté una variació nul·la de la precipitació mitjana anual per a l'escenari B1 a mitjans de segle). El comportament a nivell estacional de la precipitació és menys regular i el rang de variació molt més ampli que en el cas de la temperatura. A més a més, existeixen notables diferències entre els resultats obtinguts per a cada escenari a escala estacional, sobretot a mitjans de segle, tot i que cap a finals de segle ambdós escenaris tendeixen a convergir en el signe de la variació projectada tant anualment com estacional.

Per una altra banda, a la Taula 2 es tenen els canvis projectats en la humitat relativa i la velocitat del vent al conjunt de Catalunya (mateixa caixa que la definida per als canvis mostrats a la Taula 1). A grans trets es troba que les variacions en percentatge respecte als seus valors mitjans en la humitat relativa i la velocitat del vent són molt més menors en magnitud que les trobades per a la precipitació, sobretot per a la humitat relativa (inferiors al 5% en valor absolut). S'ha de tenir en compte que la humitat relativa i la velocitat del vent són dues variables meteorològiques la variació mitjana de les quals, tant intraanual com interanual, és força petita (molt petita per a la humitat) així com la variació espacial de les mateixes. A més a més, els valors mitjans d'aquestes dues variables són poc representatius d'aquestes variables, especialment per al vent. En aquest cas és habitual tenir, per exemple, durant tot un mes valors molt baixos i en molts pocs dies puntuals, o només un dia, fortes ventades. És per aquest motiu que petits canvis en el valor mitjà d'aquestes variables podem comportar un increment important dels seus extrems. Amb la qual cosa tindrà més interès analitzar les projeccions en els màxims de vent que no pas en els valors mitjans del mateix.

Analitzant amb més detall cadascuna de les dues variables considerades, és té que les projeccions realitzades mostren una clara disminució de la velocitat del vent durant aquest segle arribant a valors de variació del -10% per a finals de segle amb l'escenari A2. En canvi per a la humitat relativa l'evolució general per a aquest segle no seria tan clara ja que s'alternen per als períodes estudiats augments o disminucions. A nivell estacional les variacions projectades són semblants a les anuals, tot i que amb un rang de variació més ampli que l'anyal. A priori es fa difícil poder sintetitzar un comportament general per a les variacions a cada estació, sobretot per a la humitat relativa, ja que es donen resultats oposats segons l'escenari considerat i el període en qüestió. Per a la velocitat del vent resulta més

Catalunya								
IEEE	Període	Estació	Variació temp. (°C)			Variació precip. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,8	+0,9	+0,2	-8,0	-0,7	-15,9
		DGF	+0,7	+0,8	+0,0	-3,5	+7,1	-13,3
		MAM	+0,6	+0,8	+0,1	-12,8	-4,6	-19,7
		JJA	+0,9	+1,1	+0,4	+5,9	+25,7	-20,6
		SON	+0,8	+1,0	+0,2	-11,9	+8,9	-23,9
	2041-2070	Anual	+2,1	+2,3	+1,6	-8,0	+12,4	-18,1
		DGF	+2,0	+2,3	+1,5	+4,5	+37,6	-18,6
		MAM	+1,8	+2,0	+1,4	-13,3	+11,1	-25,0
		JJA	+2,5	+2,7	+2,0	-23,2	-1,1	-47,3
		SON	+2,1	+2,4	+1,6	-10,6	+9,6	-24,0
	2071-2100	Anual	+3,6	+4,0	+3,3	-16,5	+3,7	-29,7
		DGF	+3,2	+3,5	+3,0	+4,0	+37,1	-20,8
		MAM	+3,2	+3,5	+2,9	-20,8	+9,7	-35,6
		JJA	+4,3	+4,8	+3,6	-39,2	-13,7	-61,6
		SON	+3,9	+4,4	+3,3	-25,3	-0,6	-37,4
B1	2011-2040	Anual	+0,9	+1,0	+0,5	-1,4	+10,8	-14,5
		DGF	+1,0	+1,2	+0,7	+10,7	+40,4	-17,0
		MAM	+0,7	+0,8	+0,4	-11,1	-1,2	-18,0
		JJA	+1,0	+1,2	+0,7	+1,2	+27,0	-26,0
		SON	+0,8	+0,9	+0,4	-2,1	+6,0	-15,0
	2041-2070	Anual	+1,4	+1,5	+1,2	-3,8	+3,2	-12,5
		DGF	+1,3	+1,5	+1,1	-1,2	+20,6	-12,5
		MAM	+1,1	+1,2	+0,9	-11,5	-1,1	-20,3
		JJA	+1,7	+1,9	+1,4	-0,7	+21,7	-25,8
		SON	+1,5	+1,6	+1,2	+2,8	+17,4	-11,9
	2071-2100	Anual	+2,5	+2,8	+2,3	-10,5	+8,0	-21,5
		DGF	+2,2	+2,4	+2,0	+6,0	+35,2	-19,2
		MAM	+2,2	+2,5	+2,0	-13,5	+7,3	-25,5
		JJA	+3,0	+3,4	+2,5	-23,0	+4,0	-47,3
		SON	+2,6	+2,9	+2,3	-21,6	-6,7	-37,1

Taula 1: Resum dels canvis projectats en temperatura a 2 m i precipitació per al conjunt de Catalunya segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEÉE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

Catalunya								
IEEE	Període	Estació	Variació hr. (%)			Variació vv. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,3	+2,7	-1,4	-2,4	+1,3	-6,6
		DGF	+0,6	+3,5	-2,0	-4,5	-1,3	-9,2
		MAM	-0,4	+2,3	-1,8	-0,5	+4,7	-5,7
		JJA	+1,0	+1,9	+0,2	-1,3	+2,4	-4,7
		SON	+0,3	+3,4	-2,4	-3,2	+1,7	-6,6
	2041-2070	Anual	+0,0	+2,4	-2,3	-4,1	+0,7	-8,5
		DGF	+1,6	+4,4	-2,5	-4,0	+2,6	-10,4
		MAM	-0,6	+2,3	-2,1	-1,4	+4,8	-5,8
		JJA	-0,7	+0,4	-2,9	-6,2	-0,7	-11,9
		SON	-0,2	+2,9	-3,5	-5,6	+1,2	-10,2
	2071-2100	Anual	-0,3	+1,7	-3,9	-5,9	-0,6	-10,0
		DGF	+1,8	+4,0	-1,9	-4,5	+3,4	-11,3
		MAM	-0,5	+2,5	-3,4	-3,0	+3,5	-6,4
		JJA	-1,4	+0,7	-5,4	-8,5	-1,8	-16,5
		SON	-1,0	+2,5	-6,4	-9,0	+1,4	-14,2
B1	2011-2040	Anual	+0,5	+1,5	-1,0	-2,3	+1,0	-5,3
		DGF	+1,8	+3,5	-1,7	-2,3	+4,3	-8,0
		MAM	-1,0	+1,2	-1,8	-2,8	+3,2	-5,7
		JJA	+0,9	+1,9	+0,1	-2,0	+1,0	-6,3
		SON	+0,3	+1,6	-1,6	-1,9	+2,0	-4,9
	2041-2070	Anual	+0,6	+1,6	-0,7	-2,5	-0,3	-4,5
		DGF	+0,4	+1,9	-1,4	-2,8	+0,6	-6,3
		MAM	+0,4	+1,5	-1,3	-2,4	+2,8	-4,8
		JJA	+0,4	+1,4	-1,2	-1,6	+1,2	-4,6
		SON	+1,1	+2,8	-0,6	-3,3	+4,5	-7,8
	2071-2100	Anual	-0,1	+1,2	-2,5	-4,7	-0,9	-7,8
		DGF	-1,4	+2,7	-1,6	-4,3	+1,2	-10,7
		MAM	+0,1	+1,8	-2,2	-3,2	+2,1	-6,6
		JJA	-1,3	+0,3	-4,2	-7,1	-2,4	-13,8
		SON	-0,9	+0,9	-3,0	-4,9	+1,6	-8,6

Taula 2: Resum dels canvis projectats en humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m per al conjunt de Catalunya segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEIEE és escenari d'emissions de referència, hr., humitat relativa, vv., velocitat del vent, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

senzilla aquesta síntesi. Així doncs, les projeccions a nivell estacional per al vent també apunten, d'igual manera que les anuals, cap a una disminució general de la seva velocitat arribant a valors de variació inferiors al -15% a l'estiu per al període 2071-2100 i escenari A2. Per a la resta d'estacions es projecten valors màxims de reducció en la velocitat del vent superiors o propers al 10% també per a finals de segle. Tot i així, per a la primavera les disminucions projectades serien en general les de menor magnitud.

2.1.2 Projeccions de temperatura

Els canvis projectats per al camp de la temperatura mitjana anual a 2 m segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per als tres períodes d'estudi del s. XXI es poden observar a la Fig. 3. Els canvis han estat calculats respecte al període de referència 1971-2000.

MM5+EH50M 15 km: Variacions projectades en la TMA respecte la mitjana anual 1971-2000

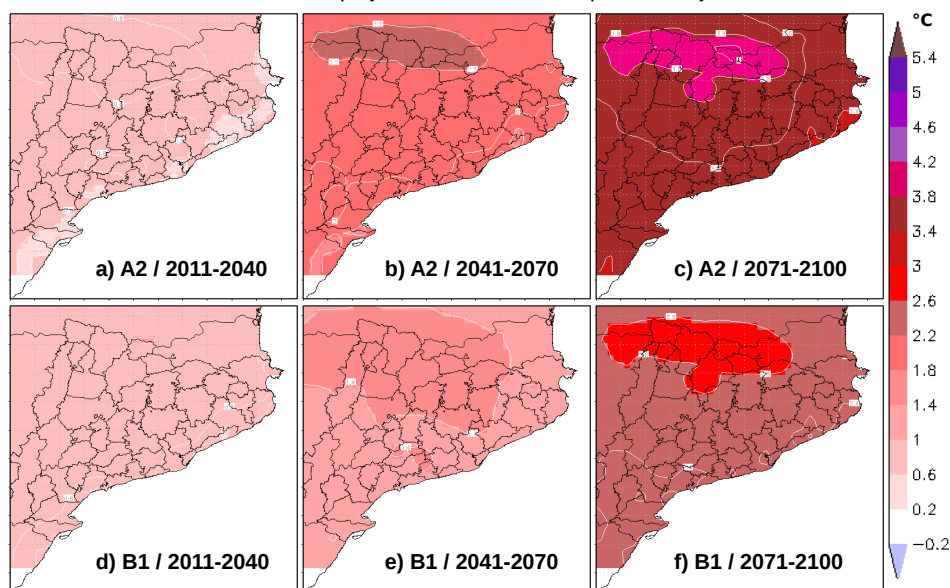


Figura 3: Mapes dels camps de variació projectats de la temperatura mitjana anual (TMA) a 2 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'*MM5* a 15 km per als escenaris d'emissions A2 (a-c) i B1 (d-f), i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000. Les isolínies de variació estan representades cada $0,2^{\circ}\text{C}$.

De la Fig. 3 es pot concloure de manera clara que l'evolució projectada de la temperatura mitjana anual durant el s. XXI presenta un fort augment que podria arribar a ser superior als 3°C en valor mitjà per al conjunt de Catalunya cap a finals de segle. Aquest augment projectat en les temperatures anuals a 2 m seria creixent i robust durant tot el s. XXI, ja que per als dos

escenaris d'emissions considerats s'obté un augment creixent amb el temps i del mateix signe per a ambdós escenaris. Tot i així, s'ha de remarcar que la magnitud de l'augment projectat no seria la mateixa per a tot Catalunya,

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la temperatura a 2 m respecte als valors mitjans 1971-2000

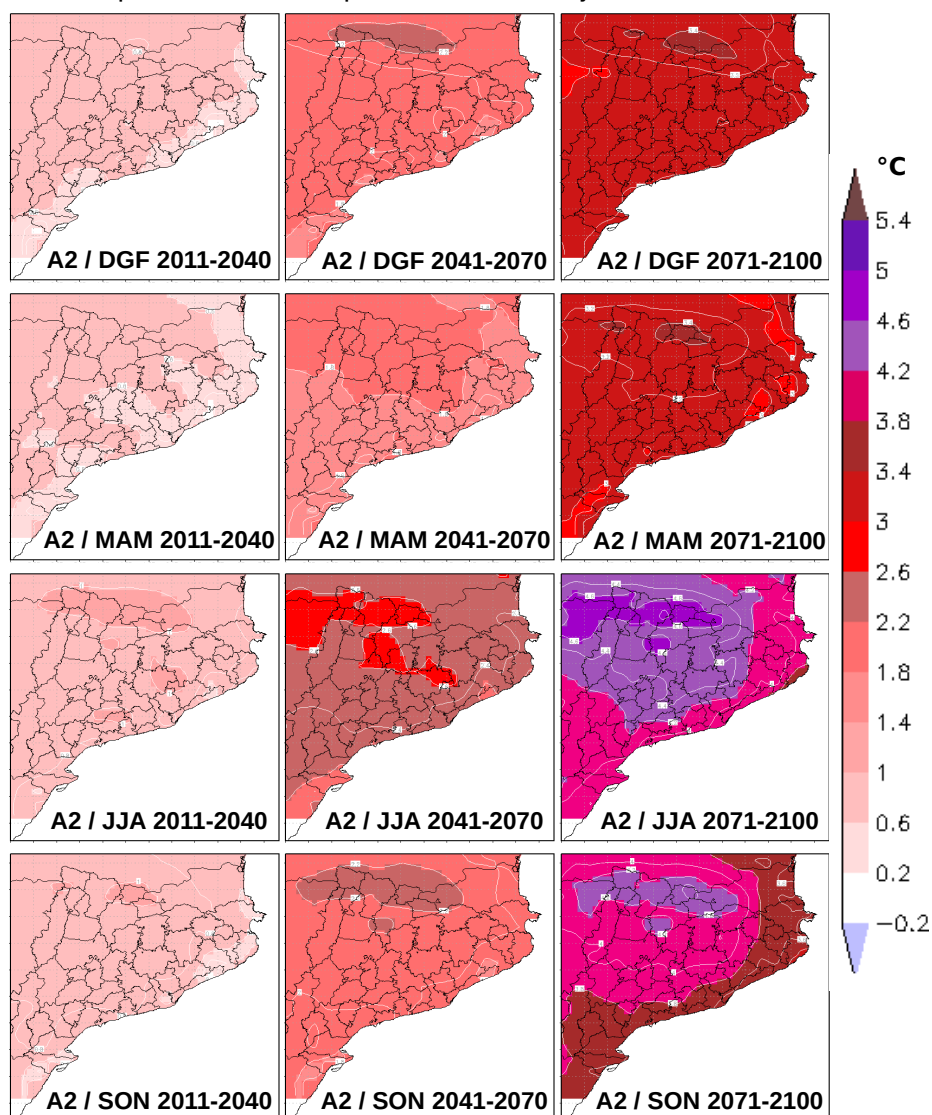


Figura 4: Mapes dels camps de variació projectats de la temperatura mitjana estacional (TME) a 2 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions A2 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000. Les isolínies de variació estan representades cada 0,2°C.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la temperatura a 2 m respecte als valors mitjans 1971-2000

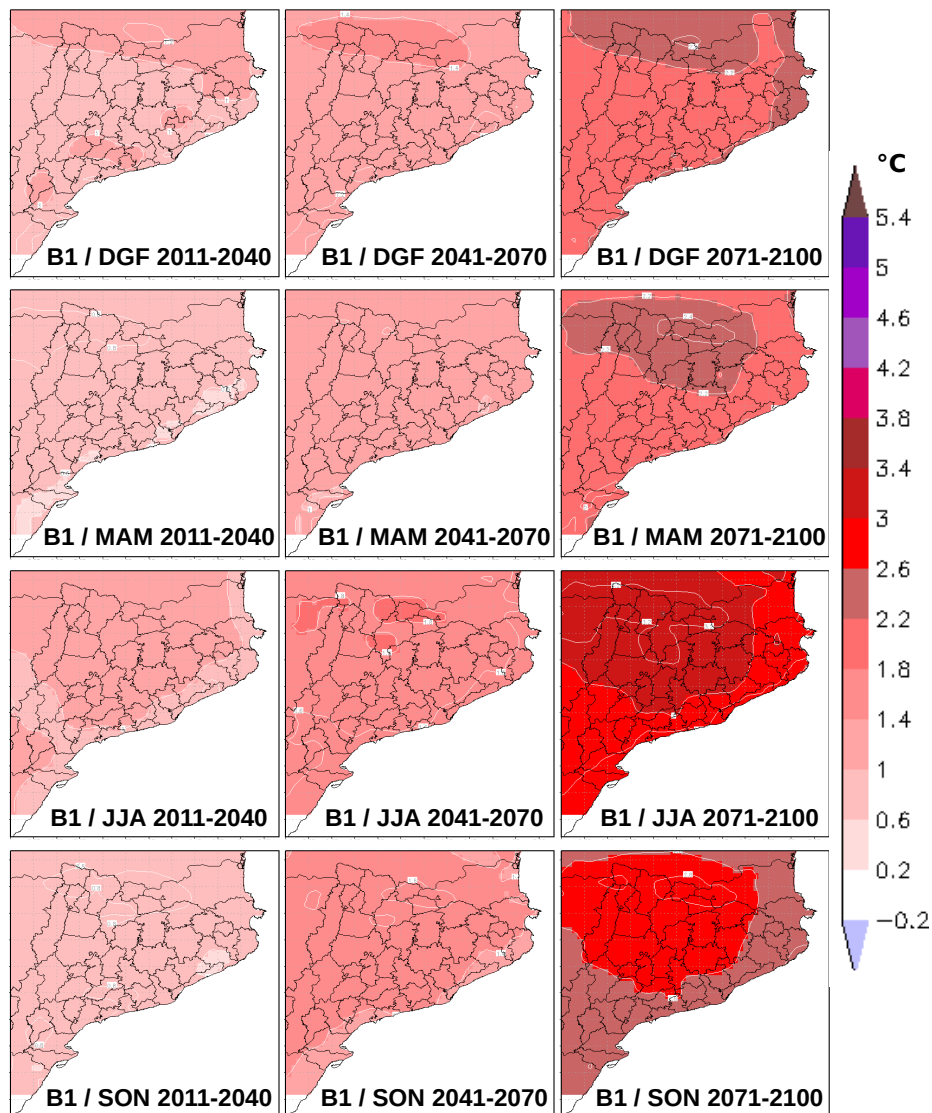


Figura 5: Mapes dels camps de variació projectats de la temperatura mitjana estacional (TME) a 2 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions B1 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000. Les isolínies de variació estan representades cada 0,2°C.

essent molt més important a la zona pirinenca i prepirinenca que no pas a la zona litoral. La diferència entre ambdues zones és superior a 1°C per al Pirineu respecte al Litoral. La zona interior del país es comportaria com a una zona de transició entre el Litoral i la zona pirinenca, en referència a

les variacions projectades. Excepte per al primer període d'anàlisi, en què els augments projectats són lleugerament superiors per a l'escenari B1, el canvis projectats són de major magnitud per a l'escenari A2 que no pas per al B1, sobretot per a finals d'aquest segle.

Per una altra banda, les Fig. 4 i Fig. 5 mostren les variacions projectades a escala estacional. Aquestes variacions són molt semblants a les mostrades a escala anual (Fig. 3) en relació al seu signe i magnitud. Els majors augments de temperatura es projecten durant l'estiu, arribant gairebé a ser de $+4^{\circ}\text{C}$ de mitjana per a finals de segle. Els menors augments per una altra part es projecten a l'hivern, amb valors propers a $+2,5^{\circ}\text{C}$ de mitjana per al mateix període. També s'hi observa que les màximes variacions projectades tornen a esdevenir a la zona pirinenca i les menors a la zona litoral amb l'Interior del país comportant-se de nou com una zona de transició entre ambdues àrees. Finalment, s'ha de comentar que els augments a escala estacional també són majors per a l'escenari A2 que no pas el B1, tret del primer període d'anàlisi.

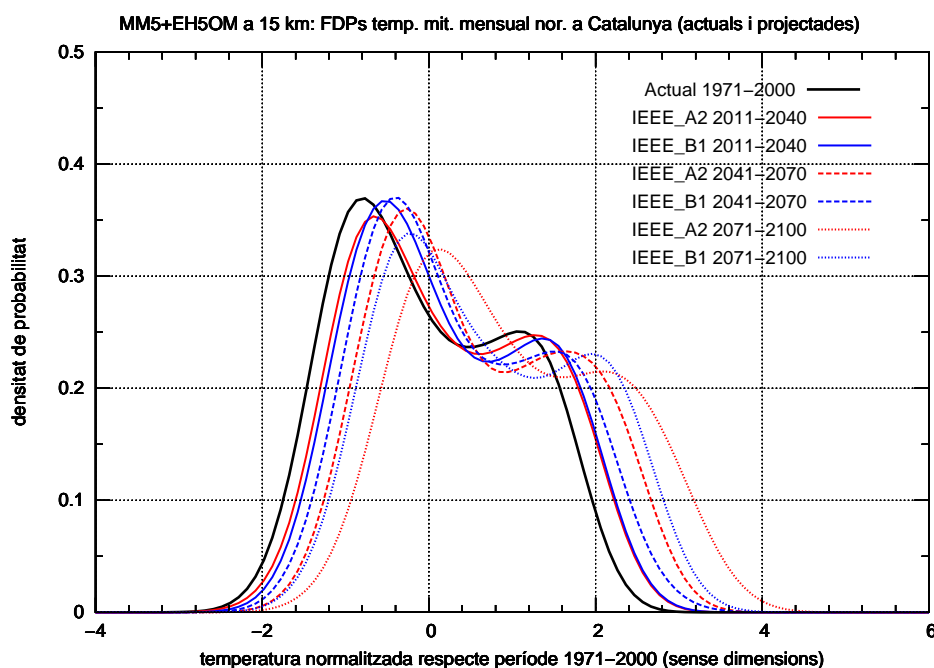


Figura 6: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al conjunt de Catalunya de la temperatura mitjana mensual a 2 m calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000 i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

Pel que fa referència a la distribució de la freqüència de la temperatura mitjana mensual, a la Fig. 6 es representen les FDPs d'aquesta variable calculades per a una simulació del clima actual (1971-2000) i per a les simulacions del

clima futur sota els forçaments radiatius dels escenaris d'emissions A2 i B1 per als tres períodes d'estudi del s. XXI. El més important a destacar de les projeccions obtingudes és l'augment en la probabilitat d'ocurrència dels mesos molt càlids ($z > 2$), el qual seria més important a mesura que avança el s. XXI. Aquest resultat és més marcat per a l'escenari A2 que no pas per al B1. D'altra banda, per als mesos de fred extrem ($z < -2$) també es projecten canvis en la seva freqüència, encara que són menys marcats que en el cas dels mesos molts càlids. Per als mesos molt freds tendria a disminuir la seva probabilitat d'ocurrència a mesura que avanci el present segle i, especialment, per a finals del mateix.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies de temp. mit. anual a Catalunya (actuals i projectades)

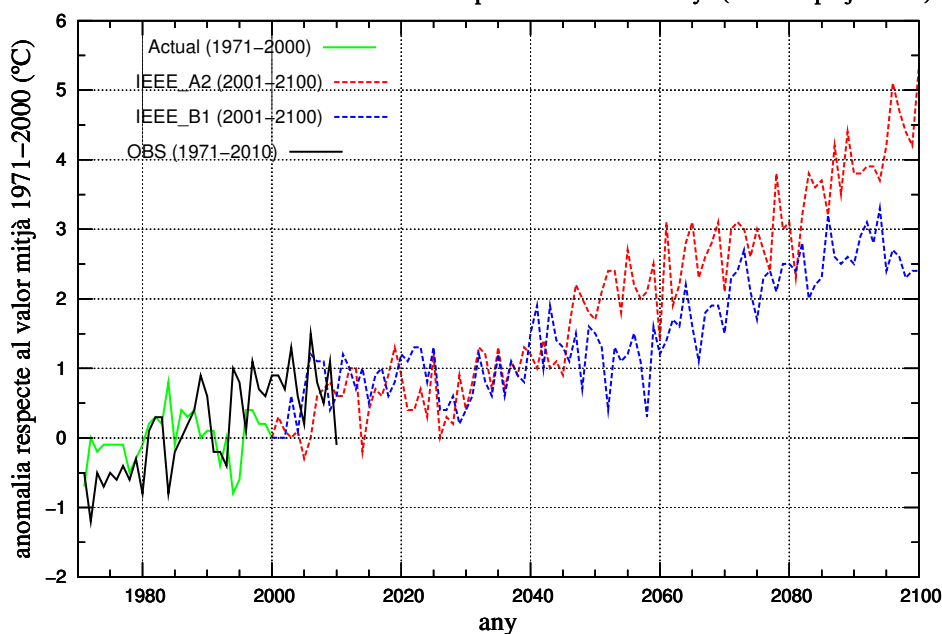


Figura 7: Evolució temporal projectada de les anomalies de temperatura mitjana anual a 2 m per al conjunt de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau. Les observacions estan representades amb un línia negra, les anomalies de les quals han estat calculades a partir de les sèries de temperatura presentades al BAIC 2010 (SMC, 2011).

Si s'analitza ara l'evolució temporal projectada de les temperatures anuals a 2 m al llarg del s. XXI (Fig. 7) es pot veure clarament la tendència de la temperatura a augmentar, la qual podria assolir uns valors d'augment propers als $+5^{\circ}\text{C}$ a finals de segle per a l'escenari d'emissions A2 respecte als valors mitjans del període 1971-2000. La tendència lineal en la temperatura per al present segle es projecta en $+4,5^{\circ}\text{C}$ en 100 anys per a l'escenari A2 i

en $+2,4^{\circ}\text{C}$ en 100 anys per a l'escenari B1. És interessant comentar també que fins a mitjans de segle l'evolució anual de la temperatura es projecta de manera força semblant per a ambdós escenaris i no és fins a finals de segle quan les dues projeccions són força diferents. A gran trets, les projeccions de l'escenari B1 són més baixes que les de l'escenari A2, sobretot per a finals de segle.

2.1.3 Projeccions de precipitació

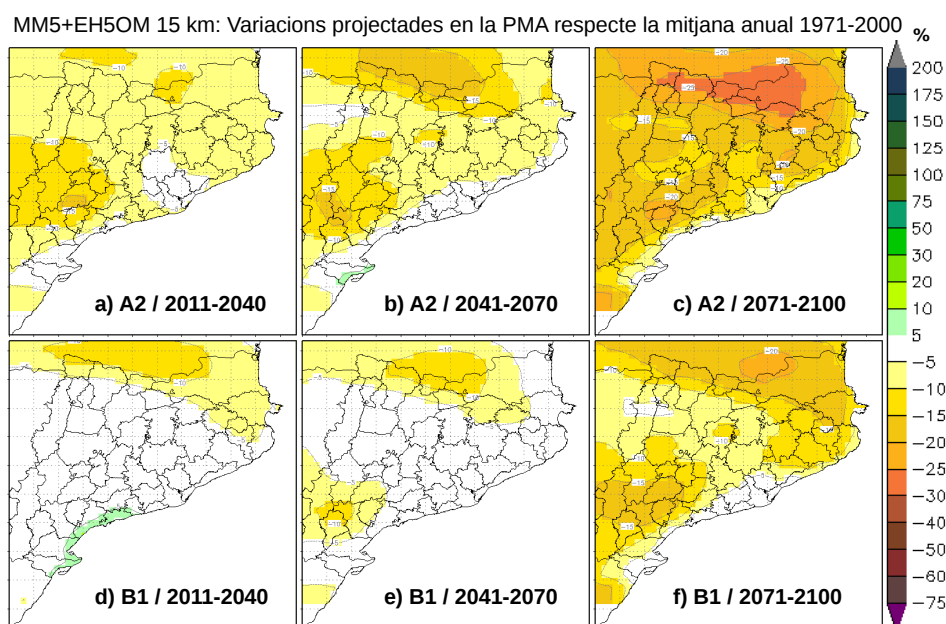


Figura 8: Mapes dels camps de variació projectats de la precipitació mitjana anual (PMA) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'*MM5* a 15 km per als escenaris d'emissions A2 (a-c) i B1 (d-f), i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

Les variacions en el camp de precipitació mitjana anual per als dos escenaris i per als tres períodes d'estudi es representen a la Fig. 8. S'observa una disminució general en la precipitació, però que no seria constant durant el s. XXI ni es produiria amb la mateixa intensitat a tot Catalunya. De fet a gran part del litoral només es projecta o una lleugera disminució o pràcticament cap canvi apreciable en els totals anuals. En alguns punts del litoral inclús podria augmentar la precipitació molt lleugerament (al voltant del 5%). En detall si s'analitzen les zones del país que patirien una reducció més important de la precipitació, es té que la zona pirinenca seria la que patiria una reducció anual major seguida de les Terres de Ponent. Per al Pirineu es projecta una reducció propera al 30% per a l'escenari A2 i finals de

segle i a les Terres de Ponent superior al 20%. Tot i que per als dos primers períodes (2011-2070), les diferències entre ambdós escenaris són importants, per al tercer període (2071-2100) aquestes diferències són poc importants projectant-se una disminució de la precipitació més general i més marcada que afectarà a gairebé tot el país (tret de la zona litoral sud), amb reduccions de precipitació entre 10-15% a gran part del país.

A les Fig. 9 i Fig. 10 es mostren les variacions en els camps de precipitació mitjana estacionals per als tres períodes d'estudi i per als dos escenaris d'emissions considerats, respectivament. Es pot observar primer de tot que les diferències entre escenaris són notables així com entre els tres períodes sota estudi (sobretot entre els dos primers). Per a algunes estacions de l'any els resultats són pocs robustos sobre com seria l'evolució de la precipitació i com d'importants serien els canvis entre els tres períodes analitzats durant aquest segle. Per exemple, per a l'estiu i amb l'escenari A2 es projecta una disminució important de la precipitació per al període 2041-2070 a tot el país, mentre l'escenari B1 projecta augments en algunes zones del país i disminucions molt menys importants a la resta de Catalunya. Només per a l'últim període d'estudi tots dos escenaris coincideixen en una disminució important a l'estiu (més marcada a l'escenari A2 que no pas al B1). Un fet similar succeeix per a la tardor, tot i que els percentatges de variació no són tan grans. De totes formes com que a l'estiu les precipitacions són escasses, petits canvis en el valor total produeixen grans canvis en el percentatge de variació respecte als seus valors normals. Per una altra banda, sembla clar que la precipitació a la primavera es veuria reduïda de forma general i amb percentatges importants de reducció, que podrien arribar a ser propers al 25% per per a l'escenari A2 i finals de segle (2071-2100), i inclús superiors al 30% al Pirineu. També és projectat d'una manera clara un augment general tot i que lleuger (tret de la cara nord del Pirineu) de la precipitació a l'hivern, encara que amb valors superiors al +30% en punts del litoral sud per a l'escenari B1 i finals de segle. Tot i així, tots aquests resultats tenen una validesa més baixa que els obtinguts per a la precipitació anual, ja que la tècnica emprada no és capaç de reproduir correctament el cicle estacional de la precipitació durant el període de control 1971-2000 (*Barrera-Escoda i Cunillera, 2010b*).

A la Fig. 11 es representen les FDPs de la precipitació mitjana mensual obtingudes a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al període 1971-2000 i per a les projeccions segons els escenaris A2 i B1 per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. S'hi pot observar el desplaçament de les FDPs projectades cap a valors més baixos de precipitació, incrementant-se doncs la probabilitat d'ocurrència de períodes secs en el futur, coincidint amb els resultats d'altres treballs a la mateixa zona (*Altava-Ortiz, 2010*). Aquest augment en la probabilitat dels valors baixos de precipitació mensual serà més marcat a mesura que avanci el present segle

(menys important a principis de segle i molt marcat per a finals del mateix). L'augment és més marcat per a l'escenari A2 que no pas per al B1. Per una altra banda, és de destacar la disminució projectada en la freqüència dels valors moderats de precipitació. Això succeeix en tots tres períodes i per a

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la precipitació respecte als valors mitjans 1971-2000

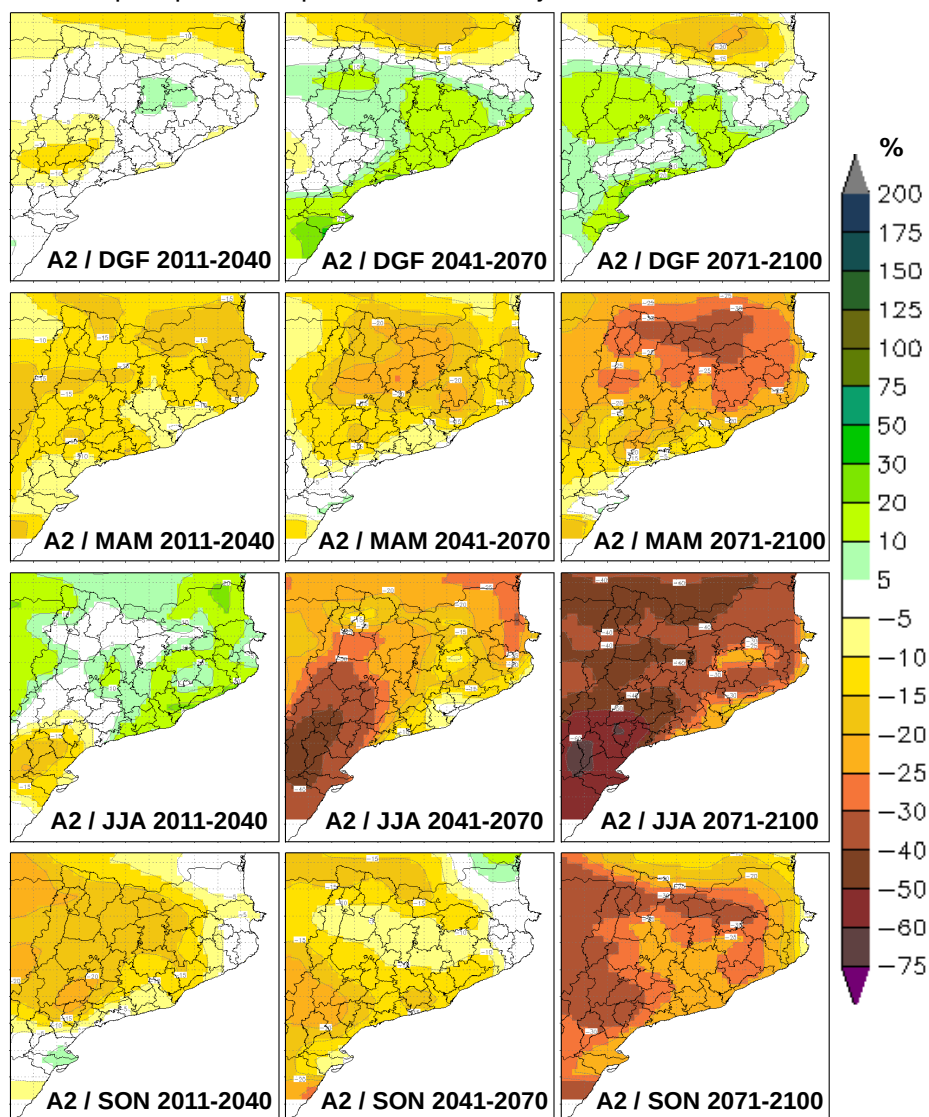


Figura 9: Mapes dels camps de variació projectats de la precipitació mitjana estacional (PME) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions A2 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la precipitació respecte als valors mitjans 1971-2000

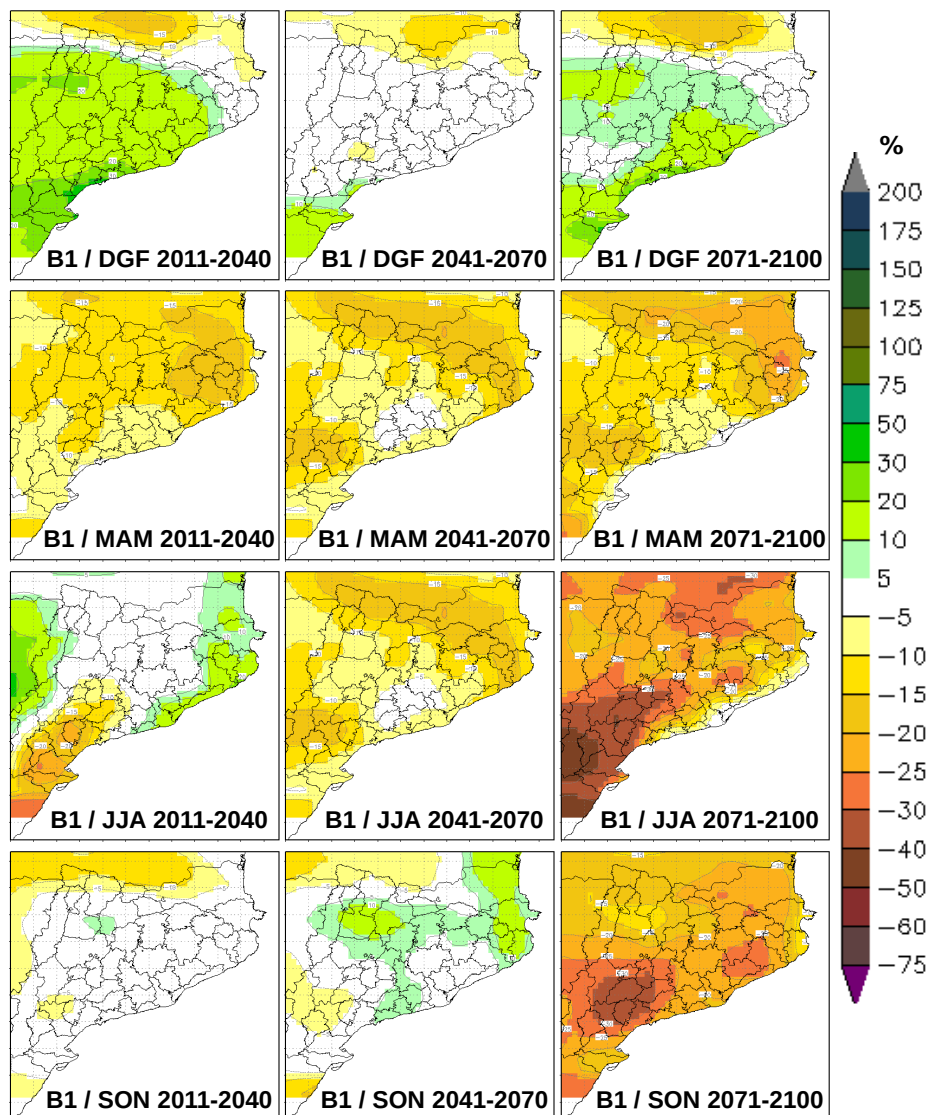


Figura 10: Mapes dels camps de variació projectats de la precipitació mitjana estacional (PME) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions B1 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

tots dos escenaris; tot i que aquesta disminució no és constant en el temps: és més marcada per al primer i tercer període (2011-2040 i 2071-2100) que no pas per al segon (2041-2070).

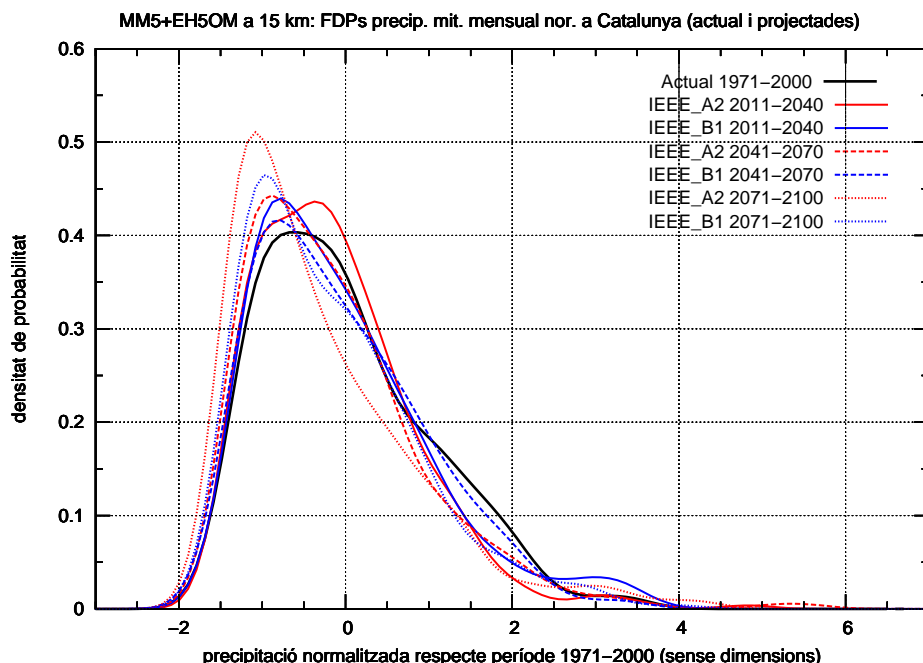


Figura 11: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al conjunt de Catalunya de la precipitació mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

En referència als valors extrems de precipitació (cues de la dreta a les FDPs) es pot veure com per a aquests valors augmentaria la seva freqüència, sobretot cap a mitjans i finals de segle i per a l'escenari A2. Se'n pot deduir, doncs, un possible augment dels episodis de precipitació extremadament abundant (més de 100 mm en 24 h), que podrien provocar inundacions importants, fet però que encara no es detecta (*Barrera-Escoda, 2008*). Per a poder respondre a aquesta última qüestió, s'analitza més endavant l'evolució dels màxims anuals de precipitació diària, així com la seva distribució de freqüències a nivell mensual. Resumint, es pot concloure que és projectada una transferència de probabilitat cap a les cues de l'FDP de la precipitació mensual per als propers 100 anys, amb la qual cosa augmentaria la variabilitat de la precipitació mensual a Catalunya. Per tant, això fa pensar que la freqüència dels extrems hídrics (sequeres i inundacions) podria incrementar-se durant aquest segle.

Analitzant l'evolució temporal de la precipitació mitjana anual projectada (Fig. 12) es pot observar com la tendència projectada a llarg termini no és tan clara com l'obtinguda per a l'evolució projectada en la temperatura mitjana anual (Fig. 7). Es pot observar, en l'evolució de la precipitació

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies de precip. mit. anual a Catalunya (actuals i projectades)

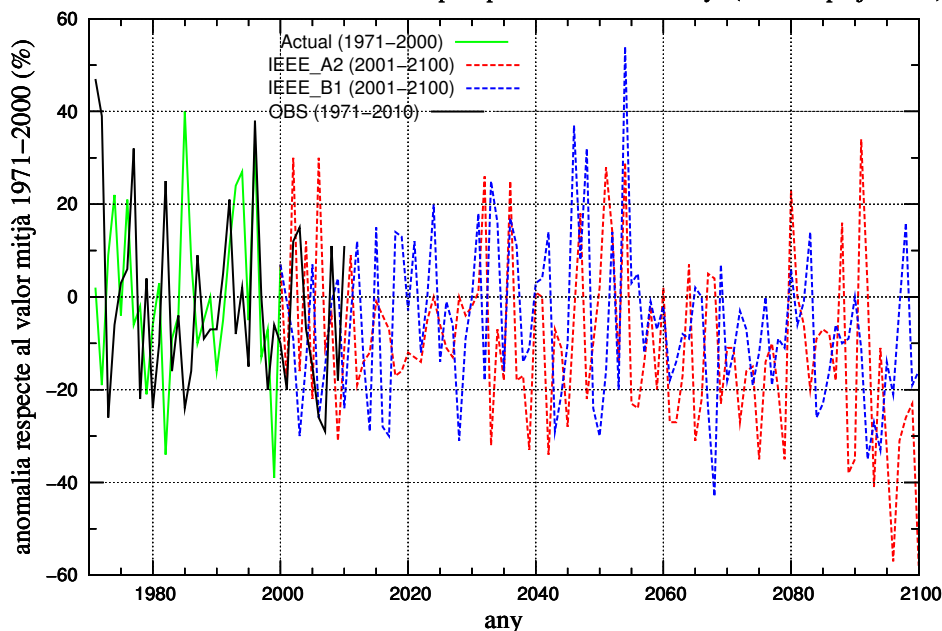


Figura 12: Evolució temporal projectada de les anomalies de precipitació mitjana anual per al conjunt de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau. Les observacions estan representades amb un línia negra, les anomalies de les quals han estat calculades a partir de les sèries de precipitacions presentades al BAIC 2010 (SMC, 2011).

mitjana anual, com fins a mitjans d'aquest segle les simulacions desenvolupades donen una gran variabilitat en la precipitació sense una tendència clara, tot i que en general predominen els valors negatius als positius. Per a la segona meitat de segle, la precipitació anual projectada mostra una tendència molt més clara cap a la disminució, la qual podria arribar a ser molt important per a finals de segle i amb l'escenari A2, assolint-se valors anuals de disminució superiors al 40%.

L'anàlisi de tendències de les projeccions en la precipitació anual (Taula 3) a partir d'un mètode de Monte Carlo per a avaluar la seva significància estadística (Livezey i Chen, 1983; Kunkel et al., 1999; Liebmann et al., 2004) dona com a resultat que només presenta una tendència lineal decreixent, estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%, la precipitació mitjana anual considerant l'escenari A2. En aquest cas, la tendència lineal projectada en aquest segle resulta ser de $-17,0\%$ en 100 anys. En canvi, la projecció regionalitzada realitzada tenint en compte l'escenari B1

no presenta cap tendència estadísticament significativa, ja que la variació lineal de $-8,7\%$ en 100 anys cau dins de l'interval d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo emprat.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	$-17,0$	$+12,33$	$-12,31$	Sí
B1 (2001-2100)	$-8,7$	$+11,50$	$-11,49$	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
B1 (2001-2100)	$-8,7$	$+9,58$	$-9,59$	No

Taula 3: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions de precipitació anual regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per al segle XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

Centrant-se ara en l'anàlisi de les precipitacions diàries, a la Fig. 13 es té l'evolució temporal de les anomalies de la precipitació màxima diària anual. Durant aquest segle es pot observar com per a aquesta variable es projecta un augment important, amb la qual cosa és d'esperar que els episodis de precipitació extremadament abundant (més de 100 mm en 24 h) s'incrementin d'una manera important en el futur. Es confirma per tant, el que ja s'apuntava de l'anàlisi de les FDPs de la precipitació mitjana mensual (Fig. 11), sobretot per a l'escenari A2. Aquest augment es dona per als dos escenaris d'emissions considerats, tot i que és més important per a l'escenari A2 que no pas el B1. També, és de destacar que es projecten valors que augmentarien en més d'un 90% respecte als valors de referència del període 1971-2000 (Fig. 13). Tot i així, s'ha de comentar que per al període de control (1971-2000) la simulació regionalitzada desenvolupada produeix una variabilitat menor de la precipitació diària màxima que l'obtinguda a partir de les observacions, per tant l'increment en els màxims diaris de precipitació podria ser molt més important que l'obtingut per a les simulacions desenvolupades. Però, per una altra banda es té que aquesta menor variabilitat de la simulació en el període de control no es manifesta en el període 2001-2010, per al qual s'obté un rang de variabilitat similar a l'observat per als dos escenaris considerats. La correlació lineal entre valors observats i valors simulats passa de ser de $+0,1$ al període de control a $+0,4$ per al període 2001-2010 i escenari A2.

L'aplicació d'un mètode de Monte Carlo per a avaluar la significativitat de les tendències observades en l'evolució projectada de la precipitació màxima diària anual (Taula 4) ens dona com a resultat que les dues projeccions presenten una tendència lineal estadísticament significativa, amb un nivell

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies de precip. màx. diària anual a Catalunya (actuals i projectades)

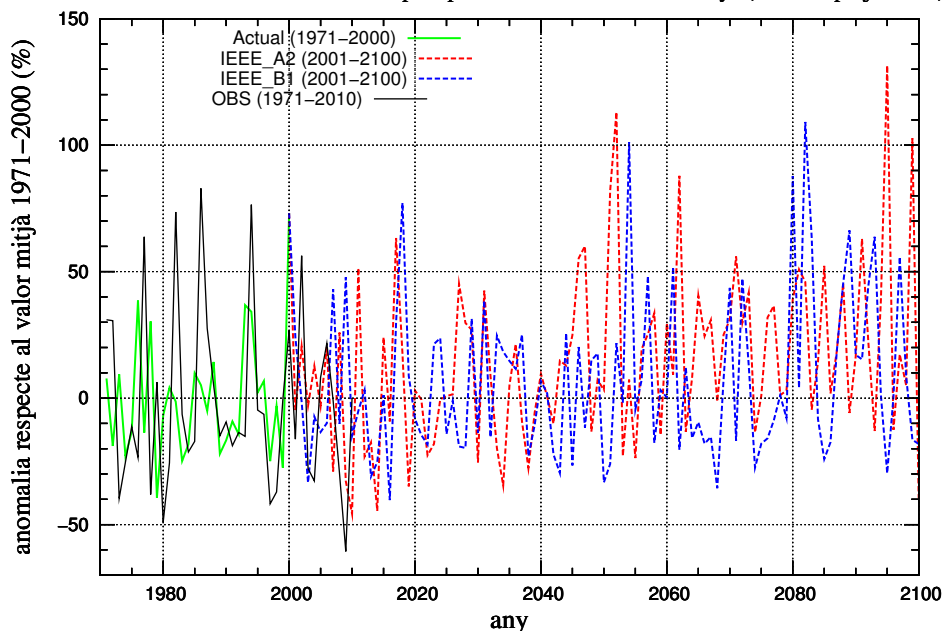


Figura 13: Evolució temporal projectada de les anomalies en la precipitació màxima diària anual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau. Les observacions estan representades amb un línia negra, les anomalies de les quals han estat calculades a partir de diferents fonts: ACA, AEMET, A.M. Tramuntana, ICC (2000), Gázquez Picón et al. (2004), Martín-Vide i Llasat (2000), Martín-Vide (2002), Saladié (2010) i SMC (1997-2010).

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	+36,9	+22,47	-22,18	Sí
B1 (2001-2100)	+18,2	+20,55	-20,31	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
B1 (2001-2100)	+18,2	+17,35	-17,18	Sí

Taula 4: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions de precipitació diària màxima anual regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

de confiança del 95% per a l'escenari A2, i del 90% per al B1. Així doncs, la tendència lineal de la precipitació màxima diària anual en 100 anys per a l'escenari A2 és d'un increment de gairebé el 37%, i del 18% per al B1.

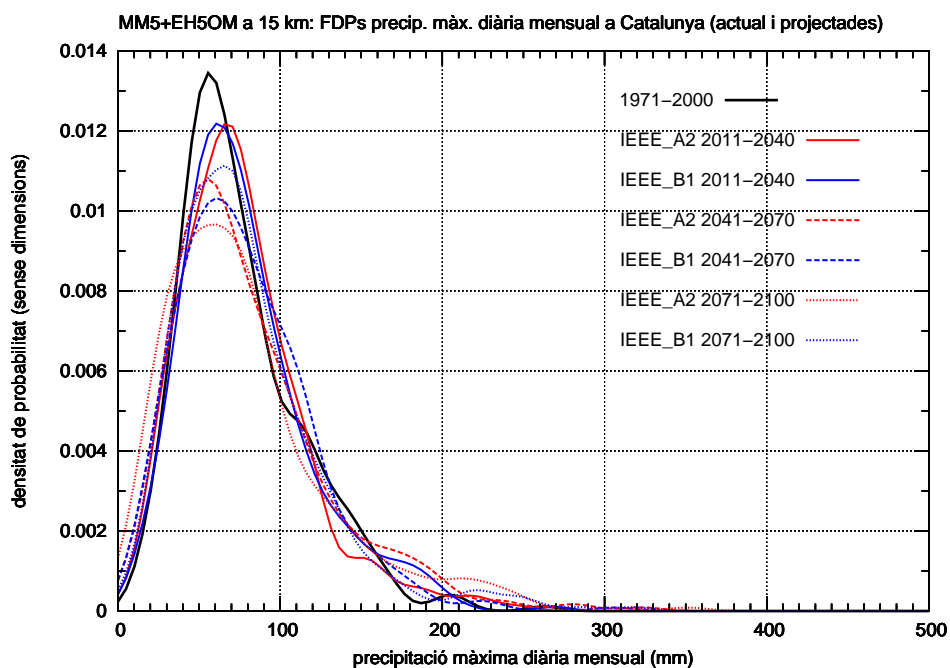


Figura 14: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al conjunt de Catalunya de la precipitació màxima diària mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

Després d'analitzar que existeix una tendència estadísticament significativa en l'evolució temporal projectada dels màxims anuals de precipitació diària per al conjunt de Catalunya durant aquest segle, s'ha d'analitzar si aquesta tendència té o no un reflex en la distribució mensual d'aquests valors. Així doncs, la Fig. 14 representa les FDPs projectades de la precipitació màxima diària mensual durant els períodes 1971-2000 (control) i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per a dos escenaris d'emissions. En aquesta figura es pot veure com durant aquest segle hi haurà un augment en la freqüència dels episodis de precipitació extremadament abundant (> 100 mm en 24 h), el qual serà més important per a l'escenari A2 que no pas per al B1 respecte als valors de referència del període de control. També s'ha de fer notar que la freqüència dels episodis més severos de precipitació (> 250 mm en 24 h) augmentaria d'una manera apreciable ($p < 10^{-3}$) tenint en compte que en el període de referència la probabilitat d'ocurrència és molt baixa ($p < 10^{-5}$) per a aquest tipus d'episodis. Per a l'escenari A2 i finals d'aquest segle es

projecten també probabilitats no nul·les d'episodis de precipitació superiors a 350 mm en 24 h, quan en el període de referència aquestes probabilitats són pràcticament nul·les ($p < 10^{-20}$).

2.1.4 Projeccions d'humitat relativa

MM5+EH5OM 15 km: Variacions projectades en la HRMA respecte la mitjana anual 1971-2000

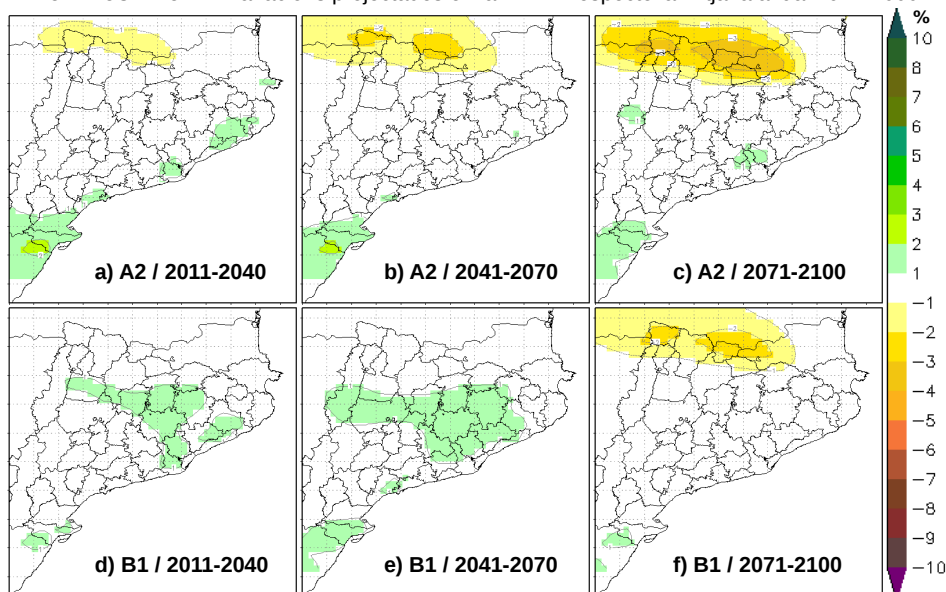


Figura 15: Mapes dels camps de variació projectats de la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana anual (HRMA) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per als escenaris d'emissions A2 (a-c) i B1 (d-f), i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

Les variacions projectades durant aquest segle, en percentatge respecte als valors mitjans del període 1971-2000, per al camp de la humitat relativa mitjana anual en superfície es poden veure a la Fig. 15. Degut a la poca variabilitat que presenta aquesta variable tant intraanual com interanual, que ja s'ha comentat anteriorment, l'escala de representació de les variacions és diferent que la presentada per al cas de la precipitació (Fig. 8, Fig. 9 i Fig. 10). La precipitació és una variable que sol presentar una elevada variabilitat en totes les escales temporals.

A grans trets podem constatar que les simulacions regionalitzades desenvolupades donen una lleugera variació de la humitat relativa mitjana anual durant aquest segle dividint Catalunya en dues zones: meitat sud i meitat nord. A la meitat sud es projecta que la humitat relativa de l'aire en superfície gairebé no variï o augmenti amb uns valors que podrien ser propers al +2% per a l'escenari A2 i a finals de segle, respecte als valors mitjans del

període 1971-2000. En canvi, a la meitat nord es projecta que aquesta variable gairebé no variï o disminueixi amb uns valors de variació que podrien arribar a ser inferiors al -3% a la zona del Pirineu per a finals de segle i l'escenari A2.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la hum. rel. en sup. respecte als valors mitjans 1971-2000

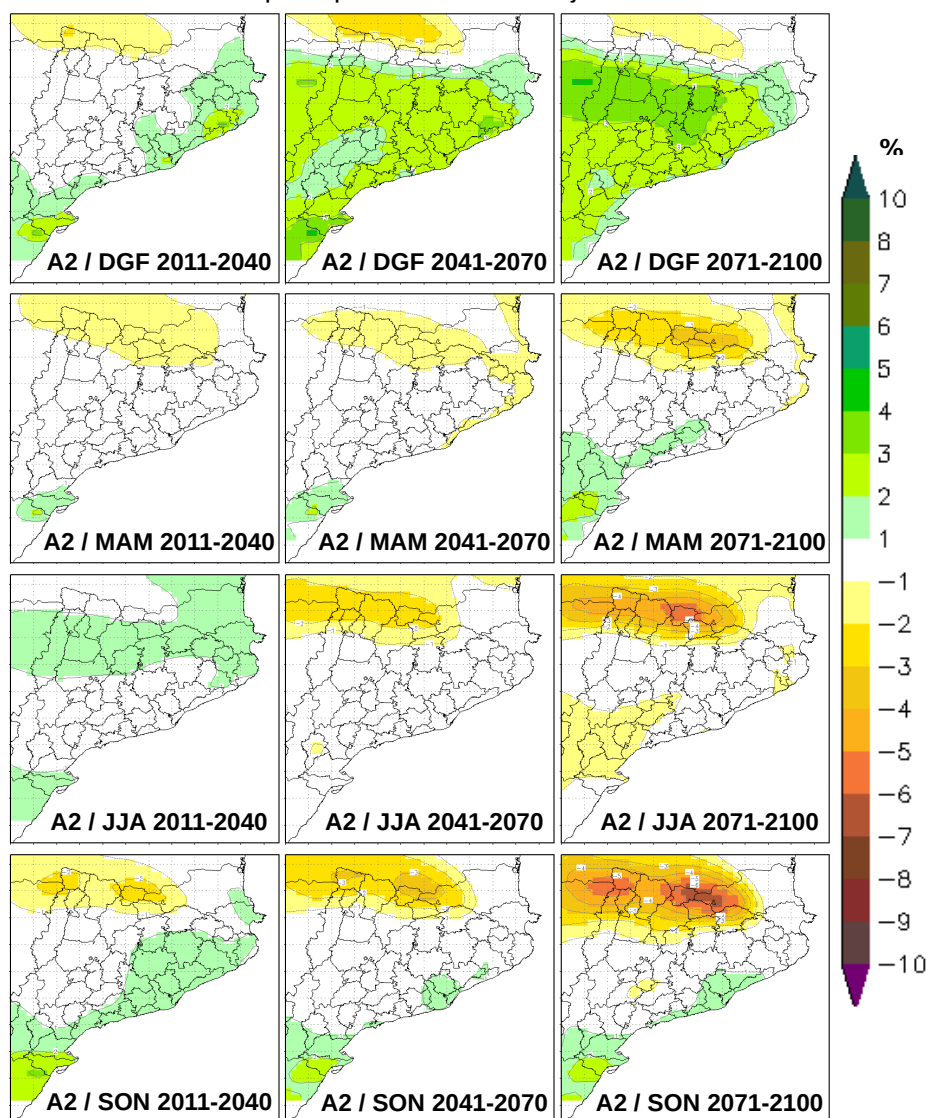


Figura 16: Mapes dels camps de variació projectats de la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana estacional (HRME) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions A2 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la hum. rel. en sup. respecte als valors mitjans 1971-2000

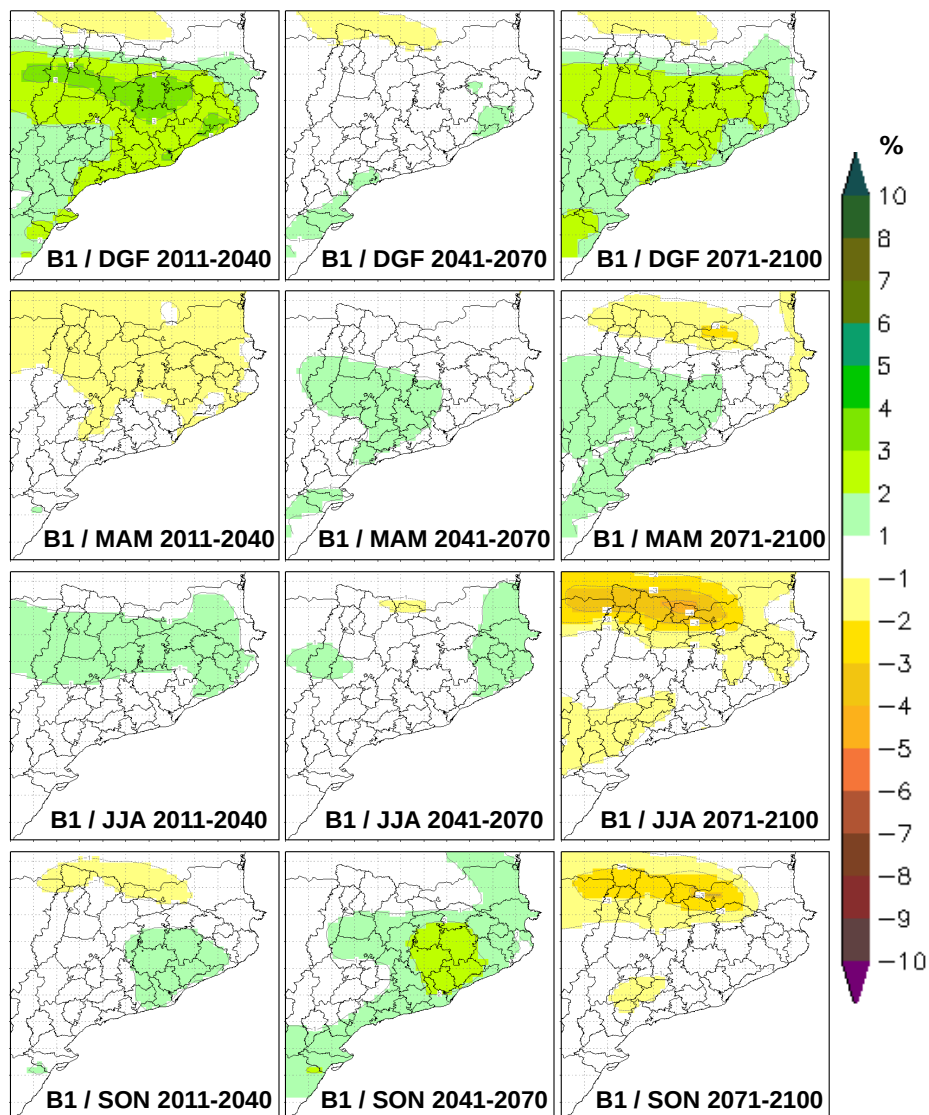


Figura 17: Mapes dels camps de variació projectats de la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana estacional (HRME) obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions B1 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

Les Fig. 16 i Fig. 17 mostren les variacions estacionals en la humitat relativa de l'aire en superfície per als tres períodes d'estudi del s. XXI, respecte al període de referència. Aquestes variacions projectades són similars a les obtingudes a nivell anual, tot i que com és obvi amb més matisos i diferències.

A grans trets es pot concloure que la humitat relativa de l'aire es projecta que augmenti a la costa i al prelitoral, disminueixi al Pirineu i es quedi pràcticament igual a la resta del país durant el s. XXI. Encara que per a l'hivern aquest esquema general no es compleix, ja que es projecta un augment general a tot Catalunya amb valors de variació que podrien ser superiors al +4% a la zona de la Franja d'Aragó i al +3% a gran part del terç nord-oest del país, considerant l'escenari A2 i per a finals de segle.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies d'hum. rel. mit. anual a Catalunya (actuals i projectades)

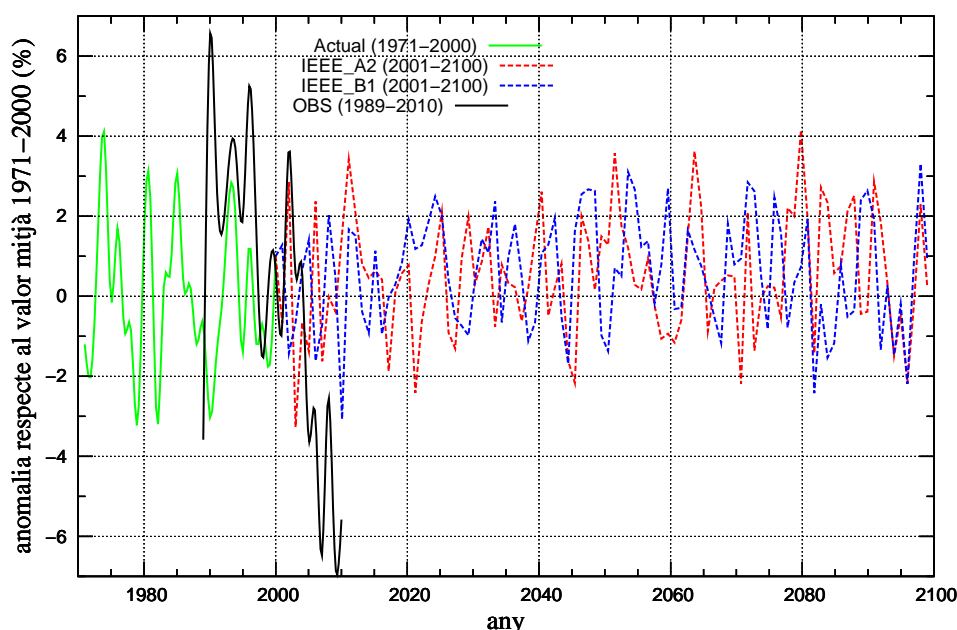


Figura 18: Evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals en la humitat relativa de l'aire en superfície calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al període 1971-2100. Període de referència 1971-2000. Per a les observacions el període de referència és 1989-2010. La simulació de control (1971-2000) apareix en color verd, la simulació amb l'escenari A2 es troba en vermell i la de l'escenari B1, en color blau. Les observacions estan representades amb una línia negra, les anomalies de les quals han estat calculades a partir de les bases de dades de l'SMC.

Per una altra banda s'ha de destacar la disminució que es projecta durant la tardor per al Pirineu que podria arribar a ser del 6% a la zona de la Cerdanya i Principat d'Andorra cap a finals de segle considerant l'escenari A2 (3% al B1). Per a l'escenari B1, l'esquema general és similar, tot i que la tendència general no és tan clara i a més a més les diferències entre períodes són més destacades, així com que són més baixos els valors de variació obtinguts. Comentar també, que per a aquest mateix escenari la reducció de la humitat relativa al Pirineu durant l'estiu cap a finals de segle (superior al 4%) és més important que no pas a la tardor com succeeix considerant l'escenari A2.

A la Fig. 18 es pot observar l'evolució temporal projectada durant el s. XXI de les anomalies mitjanes anuals de la humitat relativa de l'aire en superfície per a tot Catalunya a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km (període de referència 1971-2000). A primer cop d'ull es pot veure com pràcticament aquesta variable romandria sense cap tipus de tendència durant el present segle. S'ha de destacar però, que el rang de variabilitat produït per la simulació és força menor que l'obtingut a partir de les observacions durant el període de control i inicis del s. XXI. Per tant, es podria suposar que les projeccions es quedarien curtes i que fóra d'esperar una major variabilitat i una certa tendència a la disminució. Tot i així, s'ha de comentar que no és freqüent poder disposar de moltes sèries d'humitat relativa en superfície a Catalunya per als últims 30 anys del s. XX. La humitat relativa és una variable que només es mesurava manualment a unes poques estacions principals de l'AEMET, abans que l'SMC comencés a implantar de manera progressiva una xarxa densa d'EMAs per tot el territori cap a finals del segle passat. Aleshores, l'estimació de les anomalies observades i representades a la Fig. 18 no té la longitud temporal mínima i cobertura espacial necessàries, que en el cas de la temperatura i la precipitació sí que se'n disposava, per a la seva correcta avaluació. Així doncs, l'estimació de les anomalies només s'ha pogut realitzar tenint en compte el període de dades (1989-2010) que engloben les dades procedents de l'SMC. Per a gran part d'aquest període el número d'estacions era força petit (entre 2 i 28 fins al 1995). Per tant, s'ha de considerar aquesta evolució com a una referència per a avaluar el rang de variabilitat de la humitat relativa i comparar-lo amb el de les sortides de la simulació regionalitzada. Tenint en compte aquest fet, no es pot afirmar si la tendència a decreixer de la humitat relativa durant el període 1989-2010 que mostren les observacions és real o no.

A la Taula 5 es troba el resum de l'aplicació d'un mètode de Monte Carlo per a avaluar la significativitat de les tendències observades en l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de la humitat relativa de l'aire en superfície per a tot Catalunya. Es pot veure que tal evolució no presenta cap tendència estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%, tal i com ja s'intuïa de l'anàlisi visual de la mateixa evolució (Fig. 18). Les tendències lineals calculades per a cada projecció cauen dins dels intervals d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo (Taula 5).

Analizant ara la distribució de la freqüència de la humitat relativa mitjana mensual (Fig. 19) es pot observar com per a aquesta variable els canvis en la distribució mensual dels seus valors són poc importants, així com que aquesta variable presenta un comportament normal o gaussià, amb equiprobabilitat de valors per sota i per d'amunt del valor mitjà de la mostra. La forma general de totes les FDPs projectades canviaria poc durant els tres

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	+0,38	+1,09	-1,10	No
B1 (2001-2100)	+0,14	+0,99	-1,00	No

IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	+0,38	+0,93	-0,92	No
B1 (2001-2100)	+0,14	+0,83	-0,85	No

Taula 5: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

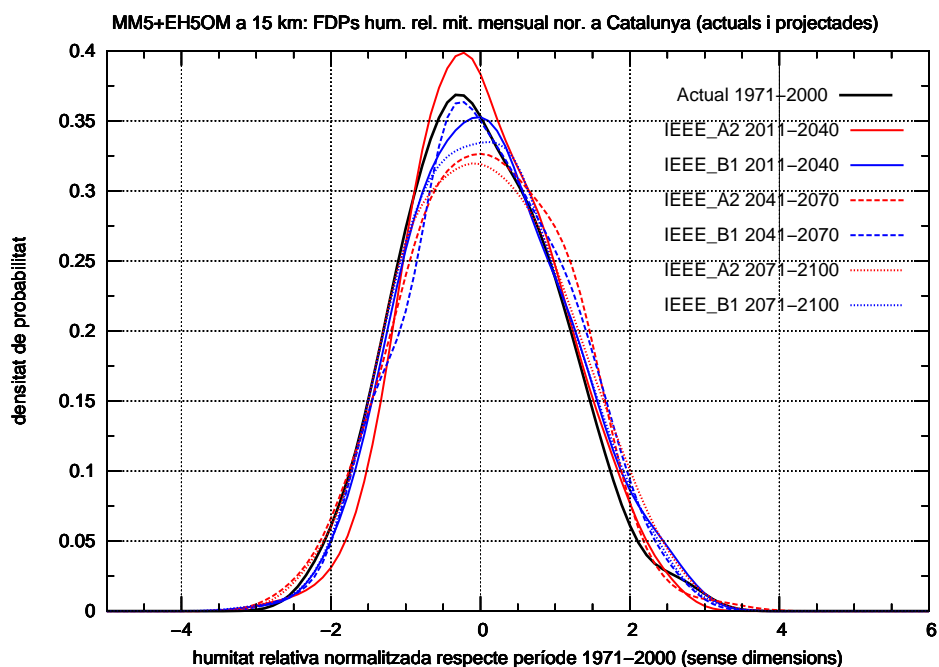


Figura 19: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al conjunt de Catalunya de la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

períodes d'estudi del s. XXI. El fet que l'evolució temporal projectada de la humitat relativa durant el s. XXI no presenti cap tipus de tendència lineal estadísticament significatiu amb un nivell de confiança del 95%, fa que els

canvis en les FDPs projectades siguin petits. Tot i així, sí que s'hi observa una tendència a l'augment de la variabilitat durant aquest segle, ja que la probabilitat dels valors extrems ($|z| > 2$, cues dreta i esquerra de les FDPs) augmenta a mesura que avança el segle, així com la dels valors intermedis ($|z| \in [1, 2]$).

2.1.5 Projeccions de vent

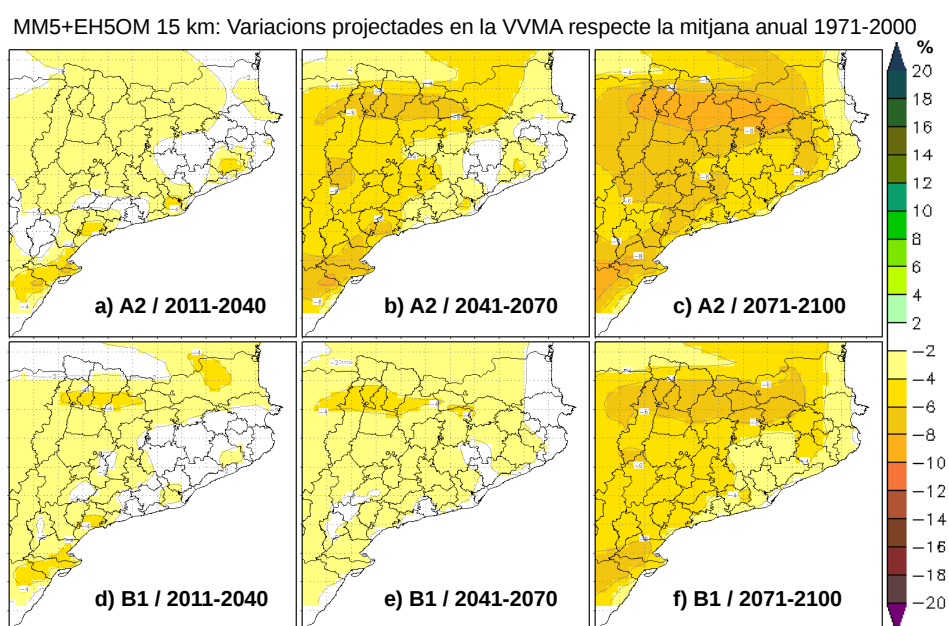


Figura 20: Mapes dels camps de variació projectats de la velocitat del vent mitjana anual (VVMA) a 10 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per als escenaris d'emissions A2 (a-c) i B1 (d-f), i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

A la Fig. 20 es poden veure les variacions regionalitzades de la velocitat mitjana anual a 10 m a Catalunya per als tres períodes del s. XXI i els dos escenaris d'emissions considerats. S'hi pot veure clarament com durant aquest segle la velocitat mitjana del vent a 10 m disminuiria a tot el país, sent les zones del Prepirineu i dels Ports de Tortosa-Beseit per a les quals aquesta reducció seria més important: superior al 8% cap a finals de segle considerant l'escenari A2 i superior al 6% amb el B1. Resulta ser que aquestes zones són de les més ventades del país i, sobretot, a la zona muntanyosa de les Terres de l'Ebre existeixen en l'actualitat nombrosos parcs eòlics que podrien veure afectada la seva activitat durant el present segle, però en especial cap a finals del mateix.

A nivell estacional (Fig. 21 i Fig. 22) el comportament també es força similar a l'obtingut a nivell anual, tot i que amb variacions més marcades, sobretot cap a finals de segle. A gran trets la velocitat mitjana estacional del vent a 10 m es projecta que disminuiria a totes les estacions de l'any.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la vel. del vent a 10 m respecte als valors mitjans 1971-2000

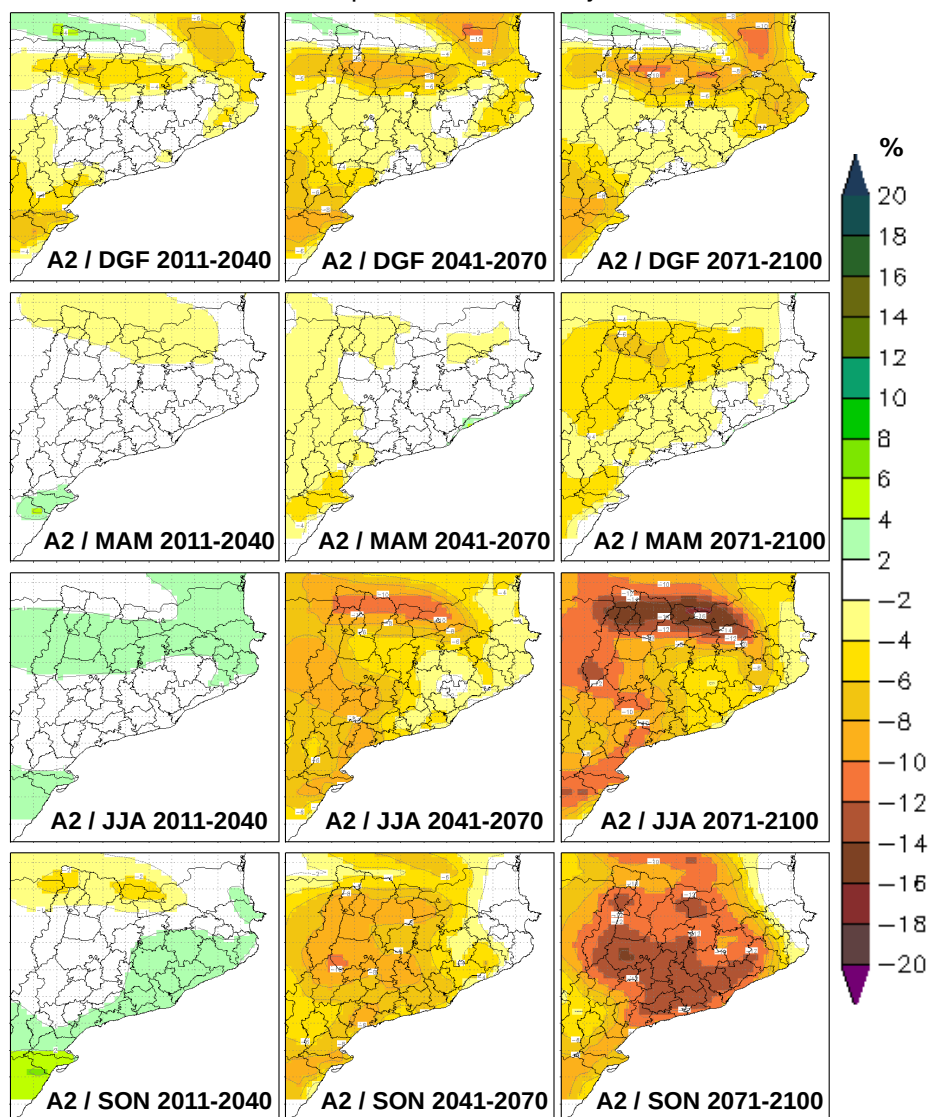


Figura 21: Mapes dels camps de variació projectats de la velocitat del vent mitjana estacional (VVME) a 10 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions A2 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

MM5+EH5OM 15 km: Variacions estacionals projectades en la vel. del vent a 10 m respecte als valors mitjans 1971-2000

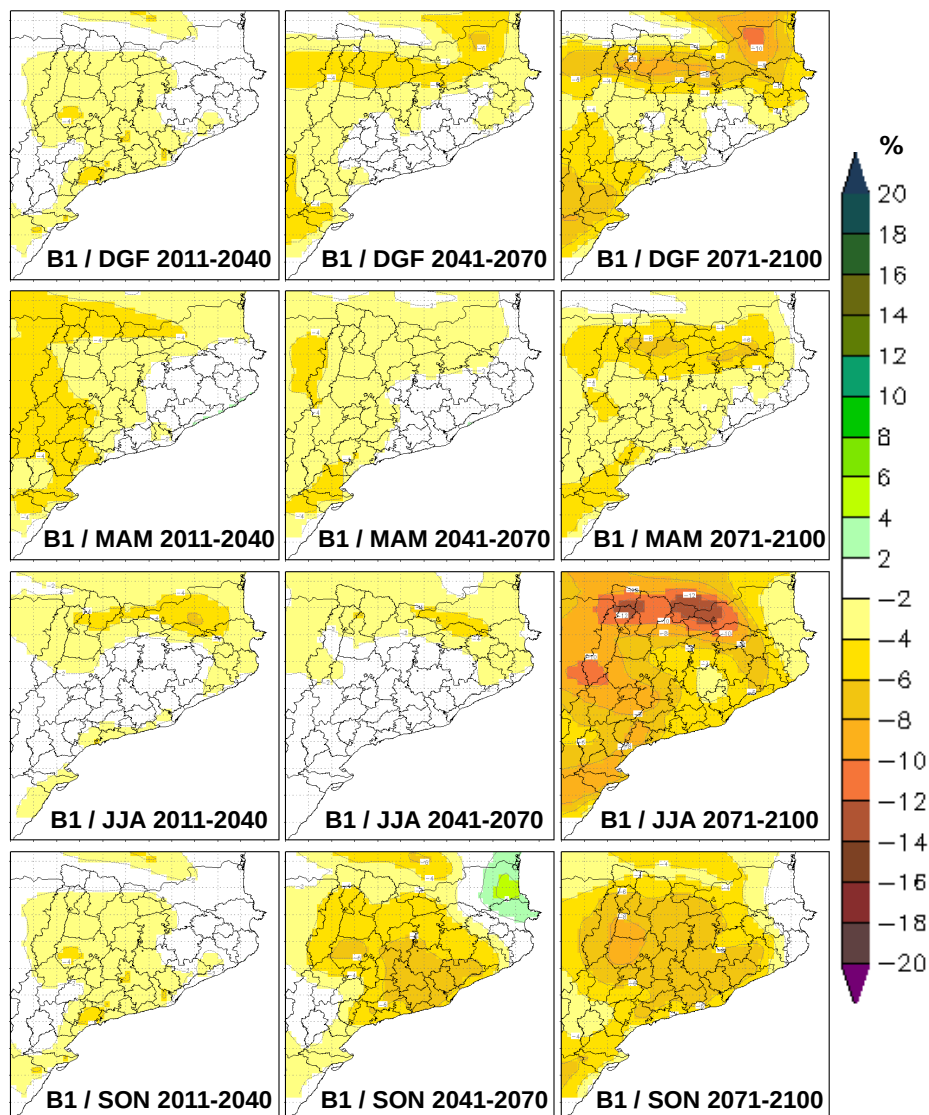


Figura 22: Mapes dels camps de variació projectats de la velocitat del vent mitjana estacional (VVME) a 10 m obtinguts amb la simulació regionalitzada amb l'MM5 a 15 km per a l'escenari d'emissions B1 i per als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100. Període de referència 1971-2000.

També s'observen algunes diferències entre escenaris, però sobretot per al primer període considerat (2011-2040) en el qual la reducció de la velocitat del vent seria en un principi més important considerant l'escenari B1 que no pas l'A2. Per a la resta dels períodes (2041-2100) les reduccions considerant

l'escenari A2 serien més importants que no pas amb el B1. L'estiu, segons les projeccions desenvolupades, seria l'estació que patiria una reducció més important de la velocitat del vent a 10 m, i a pràcticament tot Catalunya, amb variacions inferiors al -6% de mitjana. Les reduccions més importants a l'estiu es produirien amb valors que serien superiors al 16% de reducció al Pirineu per a l'escenari A2 (12% per al B1). Finalment, s'ha de destacar que la zona de l'Empordà, la qual és també una de les àrees més ventades del país, a nivell estacional patiria pocs canvis, ja que o bé es quedaria en canvis inferiors en valor absolut al 2% o bé patiria reduccions que serien inferiors al 5%. Tot el contrari del que succeiria per a les altres zones més ventades de Catalunya: els Ports de Tortosa-Beseit i el Prepirineu.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies de vel. del vent mit. anual a Catalunya (actuals i projectades)

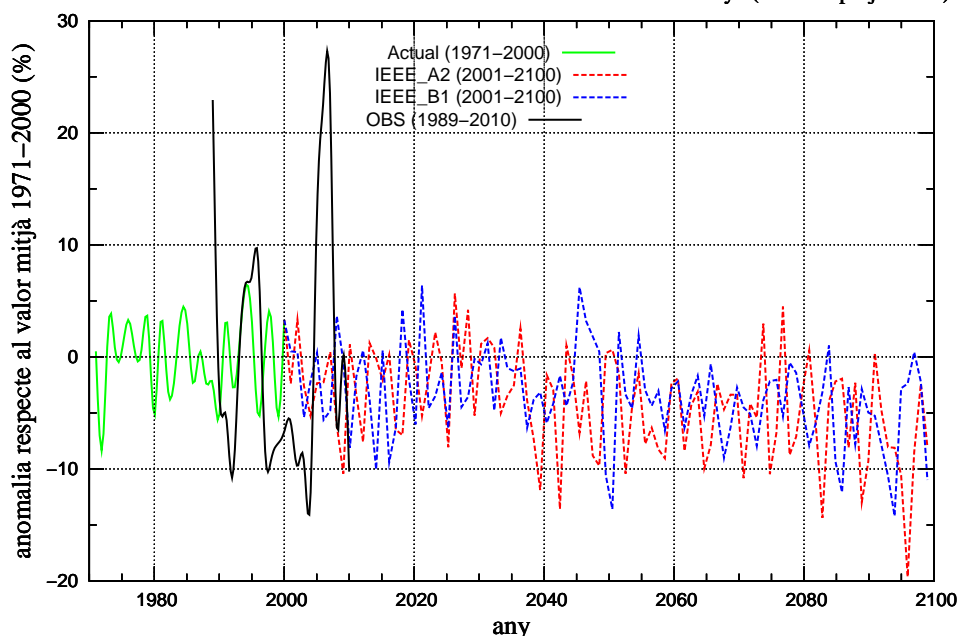


Figura 23: Evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals en la velocitat del vent a 10 m calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2000. Període de referència 1971-2000. Per a les observacions el període de referència és 1989-2010. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau. Les observacions estan representades amb un línia negra, les anomalies de les quals han estat calculades a partir de les bases de dades de l'SMC.

A la Fig. 23 està representada l'evolució temporal projectada durant el s. XXI de les anomalies mitjanes anuals de la velocitat del vent a 10 m per a tot Catalunya a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km (període de referència 1971-2000). Es pot veure com es projecta per al present segle una disminució notable en la velocitat del vent que podria

arribar a valors de reducció superiors al 10% per a finals de segle considerant l'escenari A2. Com succeïa per a la humitat relativa (Fig. 18), la simulació torna a produir un rang de variabilitat menor que l'obtingut a partir de les observacions, amb la qual cosa la disminució observada en les projeccions podria arribar a ser d'una magnitud major a la projectada.

D'igual manera que s'ha comentat quan s'anализava l'evolució temporal projectada de la humitat relativa de l'aire en superfície (Fig. 18), no és freqüent poder disposar de moltes sèries de velocitat del vent en superfície a Catalunya per als últims 30 anys del s. XX, ja que és una variable que només es mesurava manualment a unes poques estacions principals de l'AEMET, abans que l'SMC comencés a implantar de manera progressiva una xarxa densa d'EMAs per tot el territori cap a finals del segle passat. Per tant, l'estimació de les anomalies observades i representades a la Fig. 23 no té la longitud temporal mínima i cobertura espacial necessàries que en el cas de la temperatura i la precipitació sí que se'n disposava per a la seva correcta avaluació. A més a més, s'ha de tenir en compte que el número d'estacions disponibles amb dades útils per a calcular els estadístics del vent és molt variable amb el temps. El nombre de sèries és menor que el disponible per a la humitat relativa. També s'ha de comentar que durant el període que s'ha utilitzat per a calcular les anomalies (1989-2010) els sensors de velocitat del vent han variat la seva alçada de mesura: des dels 2 m sobre el nivell del sòl de les primeres EMAs de l'SMC, fins als 6 m a les estacions d'alta muntanya i als 10 m (l'alçada estàndard de mesura de la velocitat del vent) de la gran majoria de les EMAs de l'SMC més recents. Aleshores, per tal de poder disposar del màxim nombre de sèries per a estimar de la millor manera possible l'evolució de les observacions s'han corregit les mesures del vent a 2 m per a tractar-les com si haguessin estat mesurades a 10 m. Les dades de vent d'alta muntanya no s'han corregit tot i estar mesurades a 6 m, ja que a l'alçada a la qual es troben, superior als 1.500 m, pràcticament no hi existeixen diferències entre el vent a 6 i a 10 m per tractar-se gairebé d'atmosfera lliure. El procés de correcció de les dades de vent a 2 m representa una font més d'error en l'estimació de les observacions que s'ha de tenir en compte.

A la Taula 6 es troba el resum de l'aplicació d'un mètode de Monte Carlo per a avaluar la significativitat de les tendències observades en l'evolució projectada de les anomalies mitjanes anuals de la velocitat del vent a 10 m per a tot Catalunya. Es pot veure que ambdues projeccions presenten una tendència a la disminució de la velocitat mitjana anual del vent amb un valor de variació de $-6,3\%$ en 100 anys considerant l'escenari A2 i d'un $-4,0\%$ en 100 anys amb el B1. Ambdues tendències són estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95%.

La tendència estadísticament significativa que s'ha trobat per a l'evolució

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	-6,3	+3,31	-3,25	Sí
B1 (2001-2100)	-4,0	+2,80	-2,78	Sí

Taula 6: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de velocitat del vent a 10 m regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$ i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

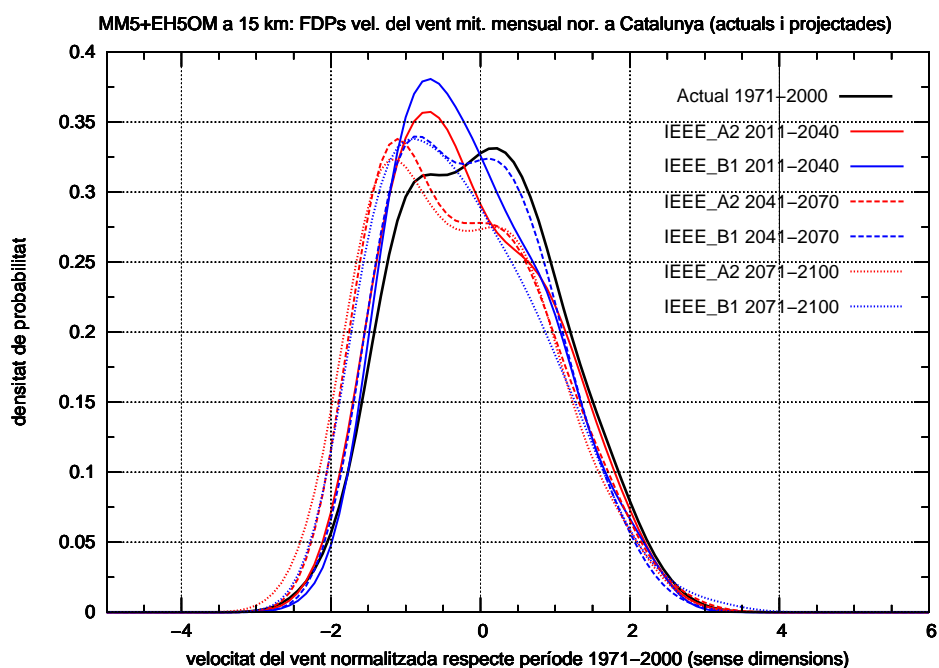


Figura 24: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al conjunt de Catalunya de la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

temporal projectada d'aquesta variable durant el s. XXI té un important reflex en les FDPs projectades de la velocitat del vent mitjana mensual durant els tres períodes d'estudi considerats (Fig. 24). S'hi observen canvis importants en la forma de les FDPs, entre els quals destaca el desplaçament del pic central cap a valors de velocitat del vent més petits que el valor mitjà del període de referència (1971-2000). Amb la qual cosa, és d'esperar una disminució de la velocitat del vent mitjana mensual durant aquest segle.

Cal comentar que les FDPs projectades són força diferents a la forma que presenta l'FDP del període de control (1971-2000). També s'hi observen diferències notables entre períodes sota un mateix escenari d'emissions. Com ja s'ha comentat per al cas de les altres variables d'anàlisi, els canvis en les FDPs són més marcats per a l'escenari A2 que no pas per al B1. De totes les FDPs projectades que s'han analitzat fins al moment, les de la velocitat del vent són aquelles que patirien els canvis més marcats.

2.2 Pirineu

En aquest apartat s'analitzen les variables tractades anteriorment, però centrant-se ara només en el Pirineu (incloent-hi també el Prepirineu). S'han agafat per a fer aquesta anàlisi els punts de malla del domini de 15 *km* de la simulació regionalitzada amb l'*MM5* que cauen dins de la caixa definida per $0^{\circ}-2,9^{\circ}\text{E}$ i $42,9^{\circ}-42,15^{\circ}\text{N}$.

En primer lloc es presenten uns quadres resums amb les variacions projectades màxima, mínima i mitjana per al tres períodes d'estudi del s. XXI i per a diferents escales temporals: anual i estacional (hivern, primavera, estiu i tardor) de les variables d'interès. Després es passa a mostrar les evolucions temporals projectades al llarg d'aquest segle de les mateixes variables, així com les variacions esperades en les FDPs dels valors mitjans mensuals d'aquestes variables per als tres períodes d'estudi del s. XXI. Com fins ara, el període de referència per a les variacions projectades és 1971-2000 (període de control).

2.2.1 Quadre resum

A les Taula 7 i Taula 8 es troben resumits per al conjunt de la zona pirenaica les variacions projectades mitjanes, màxima i mínima a nivell anual i estacional per una banda en la temperatura a 2 *m* i la precipitació (Taula 7), i per una altra banda en la humitat relativa de l'aire en superfície i la velocitat del vent a 10 *m* (Taula 8). En general els valors d'aquestes taules són més grans que els obtinguts per al conjunt de Catalunya (Taula 1 i Taula 2). De l'anàlisi de les taules per al Pirineu es pot destacar el següent:

- Les temperatures mitjanes a l'estiu per a finals de segle (2071-2100) podrien arribar a ser $4,8^{\circ}\text{C}$ superiors a les del període 1971-2000 (amb un valor mitjà de $4,5^{\circ}\text{C}$ superiors) segons l'escenari A2. Per a les precipitacions, fins a un 40% inferiors de mitjana (amb un valor màxim de reducció del 48%) per al mateix període i escenari. Aquesta reducció, a part de ser important en percentatge, és també important en quantitat, ja que l'estiu és l'estació més plujosa de l'any a gran

Pirineu								
IEEE	Període	Estació	Variació temp. (°C)			Variació precip. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,8	+0,9	+0,7	-9,0	-6,1	-10,8
		DGF	+0,7	+0,8	+0,6	-4,8	+6,8	-13,8
		MAM	+0,7	+0,8	+0,5	-14,1	-5,6	-19,7
		JJA	+1,0	+1,1	+0,8	+8,9	+21,9	-1,7
		SON	+0,9	+1,0	+0,7	-13,9	+2,9	-24,9
	2041-2070	Anual	+2,2	+2,3	+2,0	-11,0	-4,2	-18,1
		DGF	+2,1	+2,3	+1,8	-4,0	+12,1	-18,8
		MAM	+1,9	+2,0	+1,7	-15,2	-6,0	-23,4
		JJA	+2,6	+2,7	+2,4	-21,3	-12,3	-28,9
		SON	+2,2	+2,4	+2,0	-10,2	+11,6	-19,8
	2071-2100	Anual	+3,8	+4,0	+3,4	-21,7	-13,9	-29,7
		DGF	+3,2	+3,5	+3,0	-6,0	+14,6	-20,8
		MAM	+3,2	+3,5	+2,9	-26,9	-16,9	-35,6
		JJA	+4,5	+4,8	+4,0	-40,0	-24,5	-48,4
		SON	+4,0	+4,4	+3,6	-26,3	-11,3	-36,8
B1	2011-2040	Anual	+0,9	+1,0	+0,8	-5,0	+3,9	-14,5
		DGF	+1,0	+1,2	+0,9	+1,7	+20,9	-17,5
		MAM	+0,8	+0,8	+0,7	-12,5	-6,2	-17,8
		JJA	+1,1	+1,2	+1,0	+4,1	+22,0	-4,1
		SON	+0,8	+0,9	+0,6	-5,4	+6,0	-15,0
	2041-2070	Anual	+1,4	+1,5	+1,3	-6,4	+0,9	-12,5
		DGF	+1,4	+1,5	+1,2	-4,8	+4,3	-12,5
		MAM	+1,1	+1,2	+1,0	-14,1	-8,0	-20,3
		JJA	+1,7	+1,9	+1,6	-2,9	+18,1	-14,8
		SON	+1,5	+1,6	+1,3	+2,0	+18,8	-13,4
	2071-2100	Anual	+2,6	+2,8	+2,4	-13,5	-4,4	-21,4
		DGF	+2,2	+2,4	+2,0	-3,0	+13,8	-19,2
		MAM	+2,3	+2,5	+2,0	-16,2	-7,2	-25,5
		JJA	+3,2	+3,4	+2,9	-24,0	-14,0	-30,8
		SON	+2,7	+2,9	+2,4	-19,0	-12,7	-25,5

Taula 7: Resum dels canvis projectats en temperatura a 2 m i precipitació per al Pirineu segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEEE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

Pirineu								
IEEE	Període	Estació	Variació hr. (%)			Variació vv. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	-0,3	+0,8	-1,4	-2,6	-0,2	-3,9
		DGF	-0,3	+1,4	-2,0	-4,0	-1,3	-6,6
		MAM	-1,1	+0,1	-1,8	-1,0	+1,2	-3,9
		JJA	+1,5	+1,9	+0,2	-1,7	+0,8	-3,9
		SON	-0,8	+1,0	-2,4	-3,5	+1,2	-5,8
	2041-2070	Anual	-0,9	+0,7	-2,3	-4,5	-1,4	-6,9
		DGF	+0,4	+3,0	-2,6	-4,0	-1,3	-6,6
		MAM	-1,0	-0,0	-1,7	-1,0	+1,2	-3,9
		JJA	-1,5	+0,0	-2,9	-1,7	+0,8	-3,9
		SON	-1,5	+0,3	-3,5	-3,5	+1,2	-5,8
	2071-2100	Anual	-1,6	+0,8	-3,8	-6,7	-2,8	-10,0
		DGF	+0,9	+4,0	-1,9	-5,3	+3,7	-11,3
		MAM	-1,6	+0,3	-3,4	-4,2	+1,0	-6,4
		JJA	-2,4	+0,4	-5,4	-10,6	-3,5	-16,5
		SON	-3,2	+0,6	-6,4	-8,5	+1,1	-12,6
B1	2011-2040	Anual	+0,0	+1,1	-1,0	-2,7	-0,4	-4,5
		DGF	+1,0	+3,4	-1,7	-2,4	+4,3	-7,6
		MAM	-1,4	-0,9	-1,8	-3,5	+1,5	-5,2
		JJA	+1,1	+1,9	+0,3	-3,2	-1,0	-6,3
		SON	-0,4	+0,9	-1,6	-1,7	+1,1	-4,1
	2041-2070	Anual	+0,1	+1,1	-0,7	-3,1	-1,2	-4,5
		DGF	-0,2	+1,1	-1,4	-3,8	-1,0	-6,3
		MAM	+0,1	+1,2	-0,4	-2,9	-1,2	-4,5
		JJA	+0,1	+1,4	-1,2	-2,8	-0,7	-4,6
		SON	+0,5	+2,3	-0,6	-2,7	+4,5	-6,5
	2071-2100	Anual	-0,9	+0,8	-2,5	-5,5	-2,3	-7,8
		DGF	+0,7	+2,7	-1,6	-5,7	+0,5	-10,7
		MAM	-0,7	+1,5	-2,2	-4,0	-0,5	-6,6
		JJA	-2,2	+0,0	-4,2	-8,6	-2,9	-13,8
		SON	-1,5	-0,2	-3,0	-4,6	-0,2	-8,5

Taula 8: Resum dels canvis projectats en humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m per al Pirineu segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEÉE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

part del Pirineu, sobretot a l'Oriental (Garrotxa, Ripollès i Alt Berguedà). Així doncs hi hauria un gran impacte en els recursos hídrics d'aquesta zona. Per a l'escenari B1 es projecten variacions màximes de temperatura de $+3,4^{\circ}\text{C}$ (amb un valor mitjà de $+3^{\circ}\text{C}$) i mitjanes de precipitació de -24% (amb valors màxims de -31%) per a finals de segle.

- Les temperatures hivernals també patirien un augment considerable, tot i que menor que l'estiu. Aquest augment es projecta en $3,2^{\circ}\text{C}$ de mitjana per a finals de segle i escenari A2 ($2,2^{\circ}\text{C}$ per a B1). Aquest augment com és obvi tindria un impacte important en l'estat i qualitat de la neu a gran part de la serralada, ja que es dona simultàniament amb una disminució lleu de la precipitació a tot el Pirineu que podria arribar a ser un 21% inferior cap a finals de segle respecte als valors normals 1971-2000 per a l'escenari A2 i fins al 19% per al B1 i mateix període. Tot i així en algunes zones del Pirineu la precipitació hivernal augmentaria de l'ordre del 10% .
- Les precipitacions mitjanes a la primavera també es reduirien d'una manera apreciable amb valors mitjans de reducció semblants ($13\text{-}16\%$) per als tres períodes d'estudi del s. XXI i per a ambdós escenaris d'emissions, tret de finals de segle i segons l'escenari A2 amb un valor mitjà de reducció de fins al 26% . La magnitud de la reducció és menor que la projectada per a l'estiu. La primavera també és una estació molt plujosa a gran part del Pirineu, amb la qual cosa, les reduccions que es projecten tindrien un important impacte en els recursos hídrics del país, ja que és on es troben totes les capçaleres dels principals rius catalans.
- En precipitació, per a algunes estacions els canvis són pocs robustos, ja que es donen variacions de signe oposat segons escenari o/i període analitzat. Per exemple, a l'hivern es projecta un augment mitjà de $1,8\%$ per al període 2011-2040 i escenari B1, mentre que per a l'A2 es projecta una disminució mitjana del $4,8\%$. Una altra estació amb la mateixa problemàtica és la tardor, per a la qual es projecta una disminució mitjana de l'ordre del 10% per a l'escenari A2 i període 2041-2070, mentres que per al B1 es projecta un augment mitjà de l'ordre del 2% per al mateix període. Amb aquest fet es fa difícil doncs poder avaluar els futurs impactes en els recursos hídrics de la zona tant a l'hivern com a la tardor.
- La humitat relativa patiria canvis molt poc importants, amb valors semblants per a totes les estacions de l'any.
- Els canvis més importants en la velocitat del vent es donarien a l'estiu, amb reduccions de fins a gairebé el 17% cap a finals de segle segons

l'escenari A2 i fins a gairebé el 14% per al B1. Per a la resta d'estacions els canvis serien més modestos.

2.2.2 Projeccions de temperatura

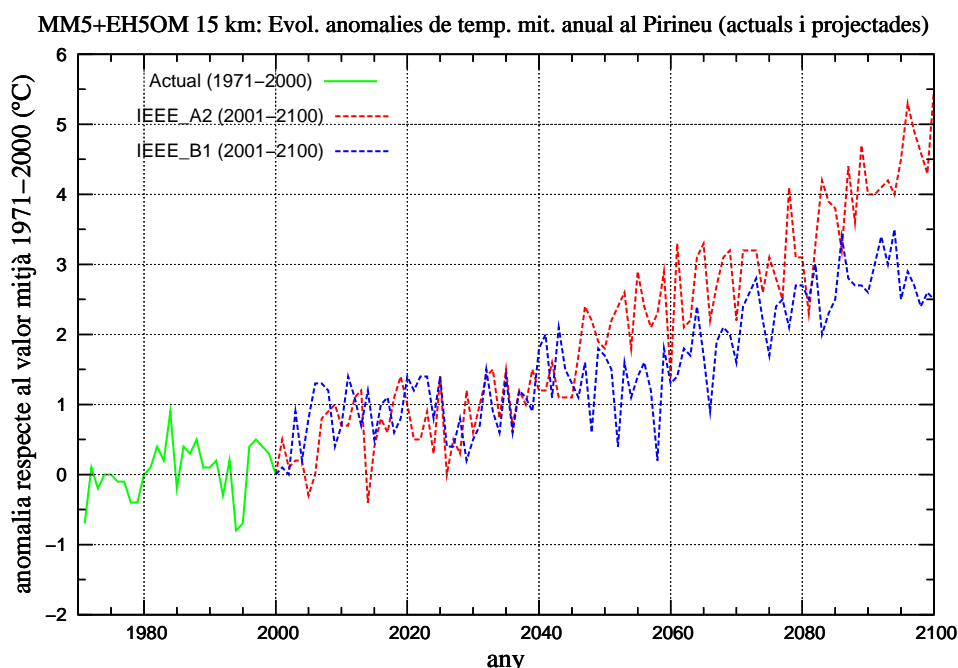


Figura 25: Evolució temporal projectada de les anomalies de temperatura mitjana anual per al Pirineu calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'*MM5* a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 25 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de temperatura de l'aire a 2 m per a tot el Pirineu. Primer de tot, s'hi pot observar el mateix comportament que l'observat a la Fig. 7 per al conjunt de tot Catalunya, tot i que la magnitud dels canvis és més gran per al Pirineu que no pas per a tot Catalunya. En segon lloc, destaca que cap a finals del s. XXI es projecten valors de temperatura mitjana anual que serien gairebé d'uns 5,5°C superiors als valors mitjans del període de referència per a l'escenari A2 (3,5°C per al B1). Així doncs, la tendència lineal projectada de la temperatura per al Pirineu seria de +4,6°C en 100 anys per a l'escenari A2 i de +2,4°C en 100 anys segons el B1. Per a acabar, s'ha de comentar també que l'evolució temporal projectada de la temperatura per als dos escenaris d'emissions considerats és força semblant fins a mitjans de segle, moment a partir del qual l'evolució projectada de les

temperatures se separen la una de l'altra, quedant l'evolució segons l'escenari A2 per damunt de la de l'escenari B1. En canvi, durant la primera meitat d'aquest segle es projecta que l'evolució temporal segons l'escenari B1 estigui lleugerament per damunt de la de l'A2.

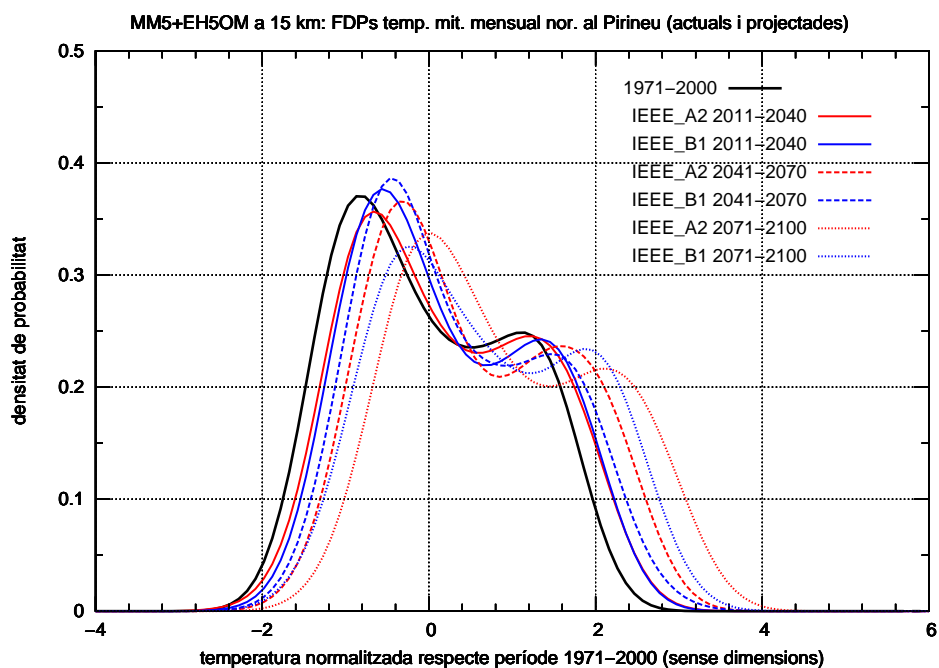


Figura 26: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Pirineu de la temperatura a 2 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

Per una altra part a la Fig. 26 es presenten les FDPs projectades de la temperatura mitjana mensual per als tres períodes d'anàlisi on es pot veure el gran impacte que té l'augment projectat en l'evolució d'aquesta variable durant aquest segle (Fig. 25). A mesura que avança el segle es projecta un desplaçament important de l'FDP de les temperatures mitjanes mensuals cap a valors elevats de temperatura ($z > 2$), la probabilitat d'ocurrència dels quals augmenta de manera molt important, sobretot per a finals de segle. Per tant, al llarg d'aquest segle es projecta un augment considerable dels mesos molt càlids a tot el conjunt del Pirineu. La probabilitat d'ocurrència dels mesos molt freds ($z < -2$) també es veuria modificada durant aquest segle, patint una disminució important, tot i que de menor magnitud que la projectada per als mesos molts càlids. Com és obvi, aquest fet podria tenir un impacte important en l'estat i en la qualitat de la neu a tota la serralada a mesura que avanci aquest segle. Amb temperatures mitjanes mensuals cada

vegada més elevades, la neu que hi caigui tindria unes condicions molt més desfavorables que les actuals per a romandre en cotes mitjanes i/o mitjanes altes.

2.2.3 Projectacions de precipitació

MM5+EH50M 15 km: Evol. anomalies de precip. mit. anual al Pirineu (actuals i projectades)

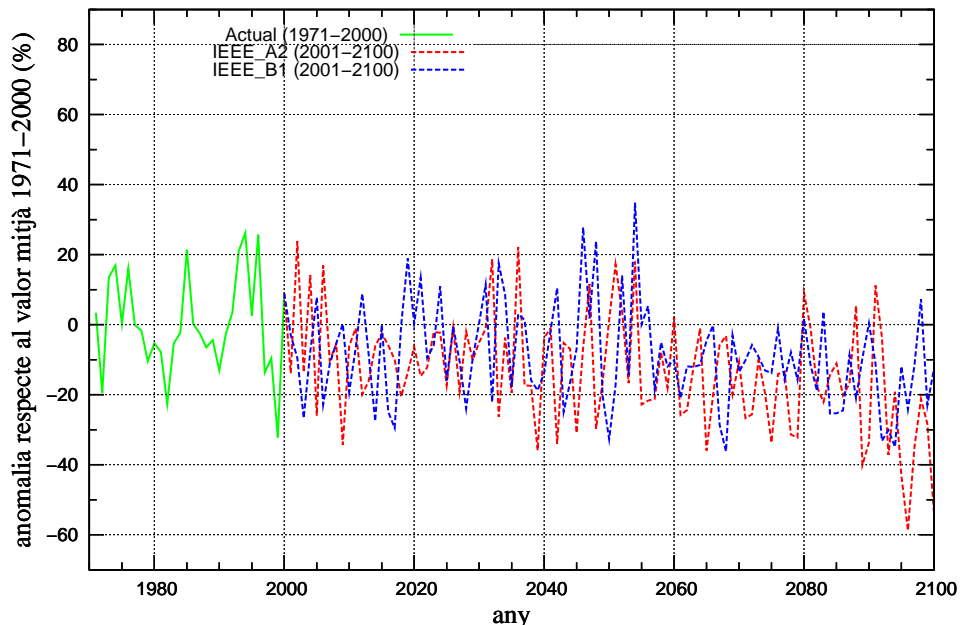


Figura 27: Evolució temporal projectada de les anomalies de precipitació mitjana anual per al Pirineu calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'*MM5* a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 27 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de precipitació. Destaca en primer terme de tot, una certa tendència a la disminució de la precipitació per a ambdós escenaris, però sobretot més marcada per a l'escenari A2, per al qual s'obtenen reduccions de la precipitació mitjana anual superiors al 40% per a finals de segle (amb valors puntuals de gairebé el 60% de reducció). Si s'analitzen les possibles tendències de les evolucions temporals a través d'un mètode de Monte Carlo (Taula 9) resulten ser estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95% per a tots dos escenaris d'emissions. Així doncs, per a l'escenari A2 s'obté una variació d'un $-20,9\%$ en 100 anys i per al B1, d'un $-10,8\%$ en 100 anys. En canvi, quan s'ha considerat tot el conjunt de Catalunya, l'evolució temporal projectada de la precipitació per a l'escenari

B1 no s'ha trobat que fos estadísticament significativa (veure Taula 3). Una altra diferència que presenta el Pirineu respecte al conjunt de Catalunya, és el menor rang projectat de variabilitat anual, el qual és aproximadament un 25% menor.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-20,9	+10,73	-10,80	Sí
B1 (2001-2100)	-10,8	+9,36	-9,36	Sí

Taula 9: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de precipitació regionalitzades per al Pirineu amb l'*MM5* a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$ i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

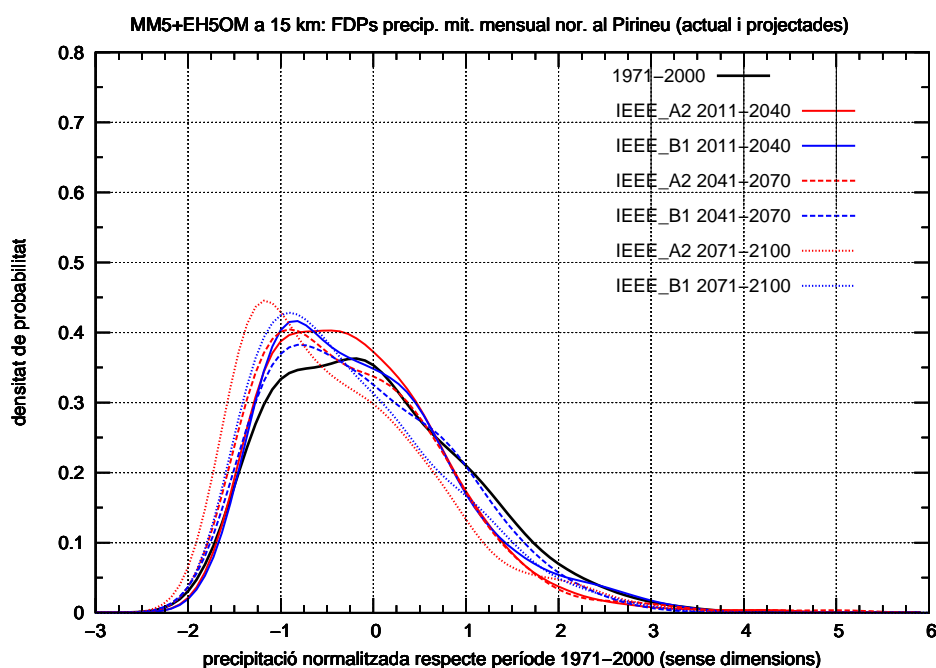


Figura 28: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Pirineu de la precipitació mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

A la Fig. 28 es presenten les FDPs projectades de la precipitació mitjana mensual per als tres períodes d'anàlisi del s. XXI, on es pot observar l'impacte que té la disminució projectada d'aquesta variable durant aquest

segle, sobretot en l'augment notable de la freqüència de mesos secs ($z < -1$) i cap a finals de segle. Per tant, seria d'esperar un augment de l'ocurrència de sequeres. També es té un canvi important per als mesos amb valors moderats de precipitació ($1 < z < 2$). Per una altra part, també es troba com per a finals de segle la probabilitat d'ocurrència de mesos excepcionals de precipitació ($z > 4$) deixa de ser nul·la, en referència al període 1971-2000. Amb la qual cosa, es pot concloure que la variabilitat de la precipitació es veuria augmentada al llarg d'aquest segle. Tots aquests fets també havien estat comentats a l'analitzar les FDPs de la precipitació mitjana mensual per al conjunt de Catalunya. Òbviament, tots aquests canvis podrien tenir un impacte important en els recursos hídrics de la zona i del país en general, ja que gairebé totes les capçaleres dels rius catalans es troben al Pirineu. Degut a l'augment important que es projecta per a la freqüència dels mesos secs, és d'esperar que es vegin disminuïts els cabals dels rius pirinencs i de la resta del país, i amb aquests també el volum d'aigua emmagatzemat als embassaments durant el s. XXI.

2.2.4 Projeccions d'humitat relativa

A la Fig. 29 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície, on es pot destacar que pràcticament no és observable cap tendència al llarg d'aquest segle. Analitzant les possibles tendències amb un mètode de Monte Carlo (Taula 10) es té que només existeix una molt lleu tendència a disminuir la humitat relativa ($-1,5\%$ en 100 anys amb un nivell de confiança del 90%) considerant l'escenari A2. En canvi, per a l'escenari B1 no n'existeix cap d'estadísticament significativa. Per tant, es pot afirmar que aquesta variable patirà pocs canvis durant el s. XXI, d'igual manera que ja s'havia conclòs per al conjunt de Catalunya.

A la Fig. 30 es presenten les FDPs projectades de la humitat relativa mitjana mensual en superfície per als tres períodes d'anàlisi del s. XXI, on es pot veure que els canvis que es produïrien durant aquest segle en les FDPs no són tan marcats com en el cas de les FDPs de les temperatures (Fig. 26) i precipitacions (Fig. 28) mitjanes mensuals. Tot i així, cal destacar l'augment en la probabilitat d'ocurrència dels mesos amb humitats força baixes ($z < -1,5$) respecte al valor mitjà del període de control, fet però que seria més accentuat cap a finals de segle. També destaquen els canvis en el pic màxim de les FDPs, sobretot pel que fa referència a la seva freqüència d'ocurrència. En relació a la variabilitat de la humitat relativa, aquesta patiria pocs canvis amb un rang de variabilitat semblant per a tots els tres períodes d'estudi considerats. En comparació amb l'anàlisi que s'havia realitzat per al conjunt de Catalunya, es tenen algunes petites diferències. Per al Pirineu, les FDPs

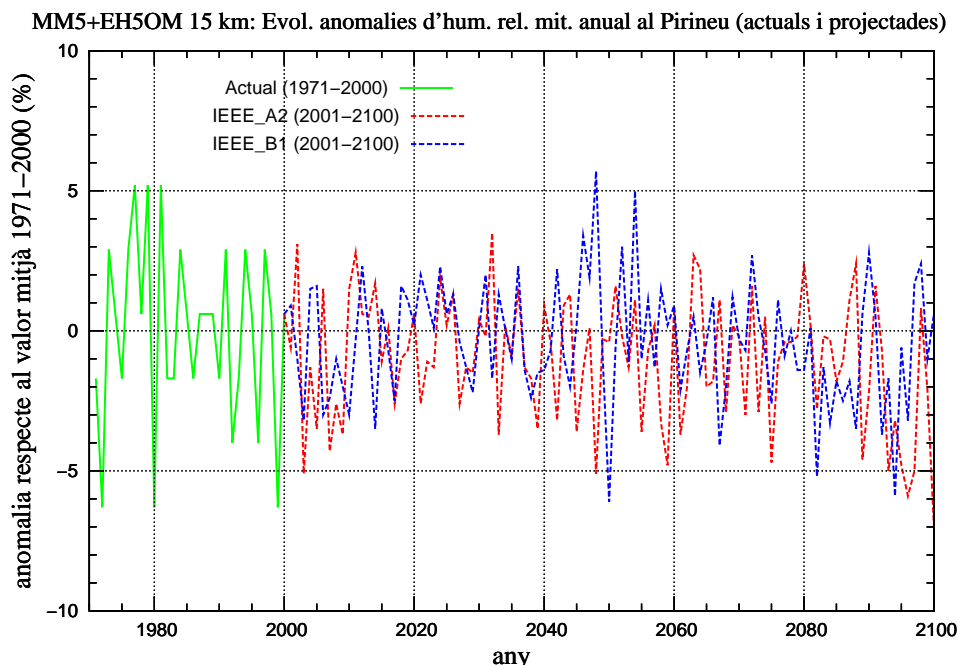


Figura 29: Evolució temporal projectada de les anomalies d'humitat relativa mitjana anual en superfície per al Pirineu calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-1,5	+1,52	-1,50	No
B1 (2001-2100)	-0,9	+1,42	-1,42	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-1,5	+1,27	-1,27	Sí
B1 (2001-2100)	-0,9	+1,19	-1,20	No

Taula 10: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals d'humitat relativa en superfície regionalitzades per al Pirineu amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

tendeixen cap a valors més baixos d'humitat relativa que no pas per a tot Catalunya, on la tendència era cap a valors un poc més elevats que els del

període de referència 1971-2000.

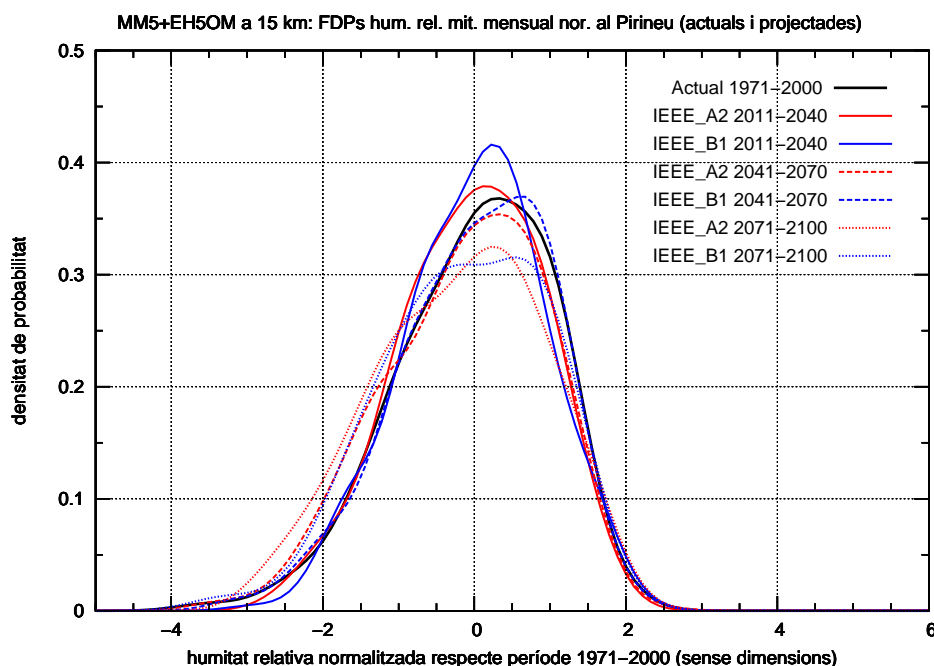


Figura 30: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Pirineu de la humitat relativa de l'aire mitjana mensual en superfície calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

2.2.5 Projectacions de vent

A la Fig. 31 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de velocitat del vent a 10 m, on és observable la clara tendència d'aquesta variable a disminuir durant el s. XXI. S'arriben a projectar valors de reducció superiors al 10% per a finals de segle i considerant l'escenari A2 (de l'ordre del 10% per al B1). Analitzant aquestes tendències amb un mètode de Monte Carlo (Taula 11) es troba que tant l'evolució temporal tenint en compte l'escenari A2 com el B1 presenten una tendència estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%. Aquestes tendències són d'una reducció en la velocitat del vent del 5,5% en 100 anys per a l'escenari A2 i del 4,5% en 100 anys per al B1. També s'ha de destacar de les evolucions projectades un augment en el rang de variabilitat anual de la velocitat del vent a 10 m durant aquest segle respecte al període de referència 1971-2000. Totes aquestes consideracions també s'havien trobat a l'analitzar l'evolució projectada de la velocitat del vent en superfície per

a tot Catalunya.

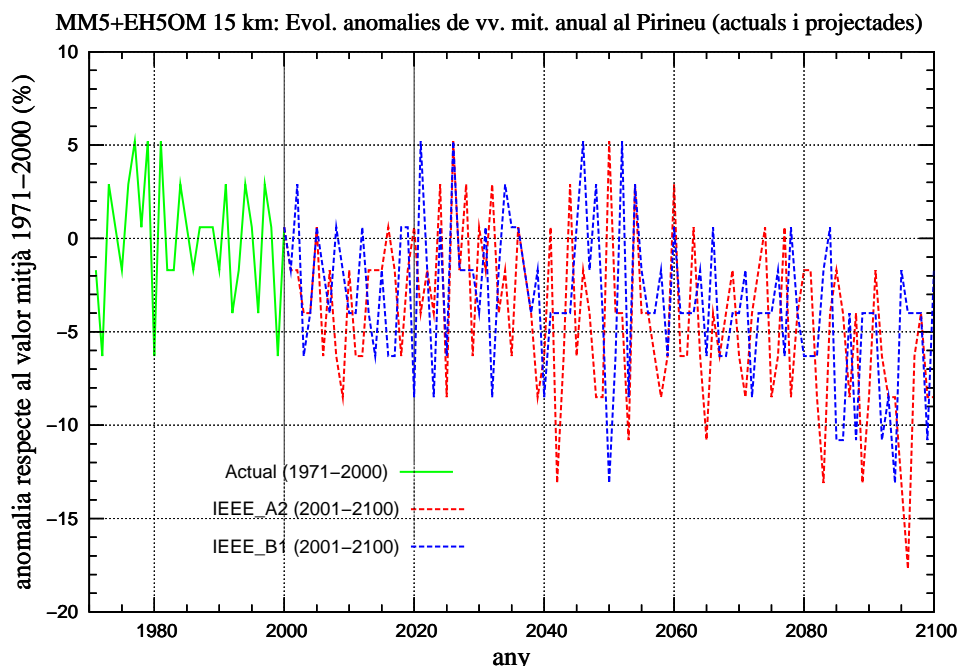


Figura 31: Evolució temporal projectada de les anomalies de velocitat del vent mitjana anual a 10 m per al Pirineu calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-5,5	+2,92	-2,87	Sí
B1 (2001-2100)	-4,5	+2,64	-2,60	Sí

Taula 11: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de la velocitat del vent a 10 m regionalitzades per al Pirineu amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$ i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

A la Fig. 32 es presenten les FDPs projectades de la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual per als tres períodes d'anàlisi del s. XXI. S'hi pot observar com es produeixen canvis importants en aquestes FDPs respecte a l'FDP del període de control. Això, a conseqüència de la tendència estadísticament significativa que presenta l'evolució temporal projectada d'aquesta variable.

El canvi més important de tots seria la forma de les FDPs projectades, que és força diferent del de l’FDP del període de control, la qual és quasi gaussiana.

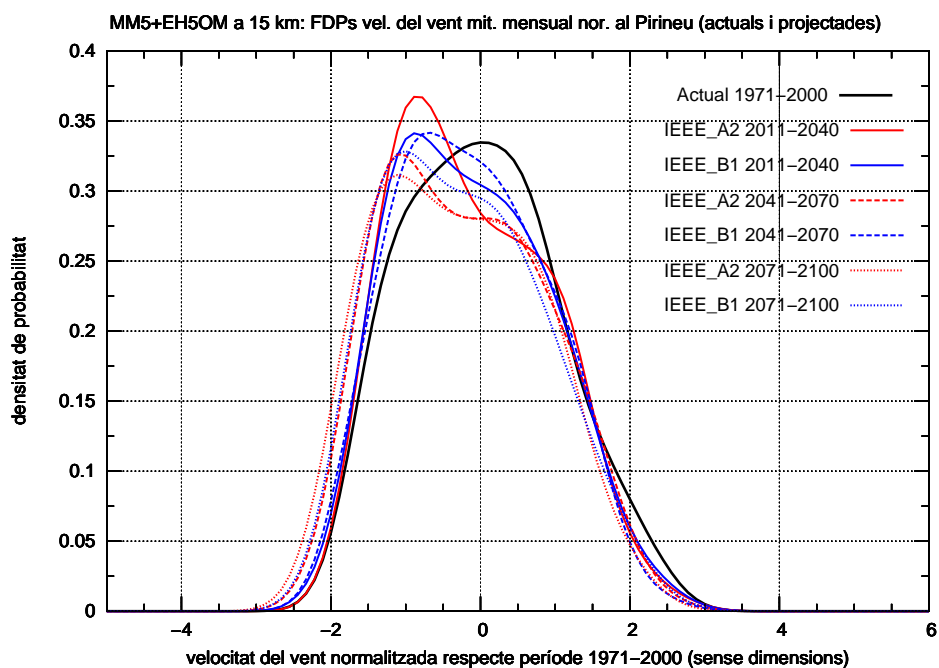


Figura 32: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Pirineu de la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l’MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d’emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

També cal destacar que a mesura que avança el s. XXI augmentaria d’una manera important la probabilitat d’ocurrència dels valors més baixos ($z < -1$) que la mitjana del període de referència. També és de destacar el fet que el pic de les FDPs projectades se situaria vora el valor $z = -1$ i que la freqüència dels mesos amb valors mitjans molt baixos de vent ($z < -2$) gairebé es triplicaria per a finals de segle. Per tant, s’ha d’esperar que durant el s. XXI la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual es vegi reduïda d’una manera considerable al Pirineu, tal i com també ja s’havia trobat per al conjunt del país (Fig. 24).

2.3 Interior

En aquest apartat s’analitzen les variables tractades anteriorment, però centrant-se ara només en la zona interior de Catalunya. S’han agafat per a fer aquesta anàlisi els punts de malla del domini de 15 km de la simulació

regionalitzada amb l'MM5 que cauen dins de la caixa definida per $0^{\circ}-2,9^{\circ}\text{E}$ i els punts de latitud entre els $42,9^{\circ}\text{N}$ i la recta definida per:

$$lat = 40,8 + 0,5 \cdot lon$$

on, lat és la latitud del punt en qüestió i lon , la longitud del mateix punt.

2.3.1 Quadre resum

El resum de les variacions projectades mitjanes, màxima i mínima a nivell anual i estacional per a l'Interior de Catalunya es troben per una banda a la Taula 12 (temperatura a 2 m i precipitació), i per una altra banda a la Taula 13 (humitat relativa de l'aire en superfície i velocitat del vent a 10 m). Els valors representatius d'aquesta zona del país són semblants als trobats per al Pirineu (Taula 7 i Taula 13), tot i que els rangs de variació projectats són més grans que els obtinguts per al Pirineu. De tota la informació contiguda en les taules per a la Catalunya Interior cal destacar el següent:

- Es projecten, per a finals de segle i segons l'escenari d'emissions A2, variacions de la temperatura mitjana a l'estiu de fins a $+4,6^{\circ}\text{C}$ (amb un valor mitjà de $+4,3^{\circ}\text{C}$) en referència als valors mitjans del període 1971-2000. Per a la precipitació mitjana d'aquesta estació es projecten disminucions que podrien arribar a ser del 61% (amb un valor mitjà de reducció de gairebé el 40%) per al mateix període i escenari. Per a l'escenari B1 es projecten per a la mateixa estació i període variacions de temperatura fins a un $+3,3^{\circ}\text{C}$ (amb un valor mitjà de $+3,0^{\circ}\text{C}$) i mitjanes de precipitació d'uns -28% (amb valors màxims d'uns -48%). Tot i que els percentatges projectats de reducció de la precipitació són importants a l'estiu, degut a què és l'estació més seca de l'any a gran part de l'interior del país, aquests percentatges passats a quantitat de precipitació són poc importants. Tot i així, el fet que a l'estació més seca i més càlida hi acabi plovent menys repercutiria en una major sequedat del sòl, i per tant, en un major augment del risc d'incendis forestals.
- La robustesa del canvis en la precipitació d'algunes estacions és poc significativa, ja que s'obtenen variacions força diferents segons períodes i/o escenaris d'emissions. Aquestes discrepàncies són més grans que les trobades per al Pirineu. Així doncs, a l'estiu es projecta un augment mitjà del 15% per al període 2041-2070 i escenari B1, mentre que per a l'A2 es projecta una disminució mitjana del 9%. Una altra estació amb la mateixa problemàtica és la tardor, per a la qual es projecta una disminució mitjana de l'ordre del 6% per a l'escenari A2 i període 2041-2070, mentre que per al B1 es projecta un augment mitjà de l'ordre del 12% per al mateix període. Amb aquest fet es fa difícil,

Interior								
IEEE	Període	Estació	Variació temp. (°C)			Variació precip. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,8	+0,9	+0,7	-10,0	-2,8	-15,9
		DGF	+0,7	+0,8	+0,6	-4,1	+7,1	-12,6
		MAM	+0,6	+0,7	+0,6	-13,4	-6,0	-19,1
		JJA	+0,9	+1,0	+0,8	+3,2	+16,6	-19,6
		SON	+0,9	+0,9	+0,8	-16,9	-2,1	-22,8
	2041-2070	Anual	+2,1	+2,2	+2,0	-10,4	-5,3	-16,1
		DGF	+1,9	+2,1	+1,8	+4,6	+14,0	-8,5
		MAM	+1,8	+1,9	+1,7	-15,1	-1,6	-25,0
		JJA	+2,5	+2,6	+2,3	-29,5	-9,4	-47,3
		SON	+2,1	+2,2	+2,0	-14,5	-6,0	-24,0
	2071-2100	Anual	+3,6	+3,8	+3,5	-16,8	-12,5	-21,4
		DGF	+3,1	+3,2	+3,0	-9,1	+15,8	-2,3
		MAM	+3,1	+3,3	+3,0	-20,6	-9,7	-29,7
		JJA	+4,3	+4,6	+4,0	-43,6	-21,8	-61,4
		SON	+4,0	+4,2	+3,7	-29,2	-21,4	-37,4
B1	2011-2040	Anual	+0,9	+0,9	+0,8	+0,2	+3,2	-5,1
		DGF	+1,0	+1,0	+0,9	+16,1	+24,5	+5,4
		MAM	+0,8	+0,8	+0,7	-10,9	-4,3	-18,0
		JJA	+1,0	+1,1	+1,0	+0,1	+32,6	-22,6
		SON	+0,8	+0,8	+0,7	-1,5	+5,4	-9,2
	2041-2070	Anual	+1,4	+1,5	+1,3	-3,8	+1,4	-11,0
		DGF	+1,3	+1,3	+1,2	-0,9	+9,9	-6,2
		MAM	+1,1	+1,1	+1,1	-10,9	-1,1	-19,8
		JJA	+1,7	+1,8	+1,6	-2,2	+15,0	-23,2
		SON	+1,5	+1,6	+1,4	+0,9	+11,7	-9,5
	2071-2100	Anual	+2,5	+2,6	+2,4	-11,9	-6,8	-19,5
		DGF	+2,1	+2,2	+2,0	+7,6	+15,0	-0,1
		MAM	+2,1	+2,2	+2,0	-13,3	-8,1	-20,2
		JJA	+3,0	+3,3	+2,8	-27,8	-14,4	-47,3
		SON	+2,6	+2,7	+2,5	-25,4	-14,5	-37,1

Taula 12: Resum dels canvis projectats en temperatura a 2 m i precipitació per a la Catalunya Interior segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEÉE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

Interior								
IEEE	Període	Estació	Variació hr. (%)			Variació vv. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,5	+1,2	+0,1	-2,3	+0,1	-3,4
		DGF	+0,7	+1,3	+0,3	-4,8	-2,1	-6,9
		MAM	+0,0	+0,5	-0,9	+0,1	+2,9	-1,7
		JJA	+0,8	+1,6	+0,4	-1,3	+1,2	-3,3
		SON	+0,5	+1,9	-0,4	-3,3	-0,3	-5,7
	2041-2070	Anual	+0,5	+0,9	+0,1	-4,7	-1,2	-6,3
		DGF	+2,3	+2,9	+1,7	-3,6	-0,5	-8,0
		MAM	-0,2	+0,7	-1,0	-2,0	+1,3	-3,7
		JJA	-0,3	+0,4	-1,0	-6,8	-1,8	-9,9
		SON	+0,2	+1,3	-0,6	-7,2	-2,1	-10,2
	2071-2100	Anual	+0,6	+1,0	+0,1	-6,3	-4,8	-7,7
		DGF	+2,8	+3,8	+1,9	-3,9	-1,8	-8,9
		MAM	+0,5	+1,6	-0,9	-3,9	-1,7	-5,9
		JJA	-0,6	+0,7	-1,9	-8,4	-4,0	-12,5
		SON	-0,4	+1,3	-1,7	-10,3	-3,8	-14,1
B1	2011-2040	Anual	+0,6	+1,2	+0,1	-2,2	+0,5	-3,5
		DGF	+2,2	+3,5	+0,9	-1,7	+1,5	-5,7
		MAM	-0,9	-0,1	-1,5	-3,7	+0,8	-5,7
		JJA	+0,9	+1,9	+0,1	-0,7	+1,1	-2,5
		SON	+0,4	+1,6	-0,3	-2,4	-0,1	-4,2
	2041-2070	Anual	+0,9	+1,4	+0,5	-2,7	-1,7	-3,8
		DGF	+0,7	+1,0	+0,5	-2,6	-0,7	-4,7
		MAM	+1,0	+1,4	-0,1	-3,0	-0,9	-4,4
		JJA	+0,6	+1,2	+0,1	-1,0	+0,2	-3,0
		SON	+1,1	+2,8	+0,3	-4,2	-0,2	-7,8
	2071-2100	Anual	+0,5	+1,0	-0,1	-4,9	-3,3	-6,2
		DGF	+2,1	+2,7	+1,3	-3,8	-1,6	-7,4
		MAM	+1,2	+1,8	-0,3	-3,4	-2,0	-4,8
		JJA	-0,7	+0,3	-1,7	-7,3	-3,2	-10,7
		SON	-0,6	+0,2	-1,3	-6,0	-3,0	-8,6

Taula 13: Resum dels canvis projectats en humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m per a la Catalunya Interior segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEEE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

doncs, poder avaluar els futurs impactes en els recursos hídrics de la zona. On si són robustes les projeccions és a la primavera, estació per a la qual es podria veure disminuïda en fins a un 30% la precipitació mitjana estacional per a finals de segle i segons l'escenari A2 (fins a un 20% per a B1). Aquesta reducció tindria greus efectes en els conreus de secà de la zona, ja que és l'època de l'any en la qual fa més falta l'aigua als sembrats i conreus per al seu desenvolupament final.

- Les variacions projectades per a la humitat relativa serien poc importants.
- Les variacions en la velocitat del vent més importants s'espera que es produeixin durant l'estiu i la tardor i cap a finals de segle, amb valors màxims de disminució de l'ordre del 14% segons l'escenari A2 i de l'11% segons el B1. Per a tots tres períodes i per als dos escenaris d'emissions considerats es donen disminucions en la velocitat del vent a 10 m mitjana tant a escala anual com estacional. Amb la qual cosa, és d'esperar que hi hagi un impacte en la capacitat de generació d'electricitat en els diversos parcs eòlics que existeixen a la zona durant aquest segle, amb reduccions que podrien arribar a ser considerables.

MM5+EH50M 15 km: Evol. anomalies de temp. mit. anual a l'Interior (actuals i projectades)

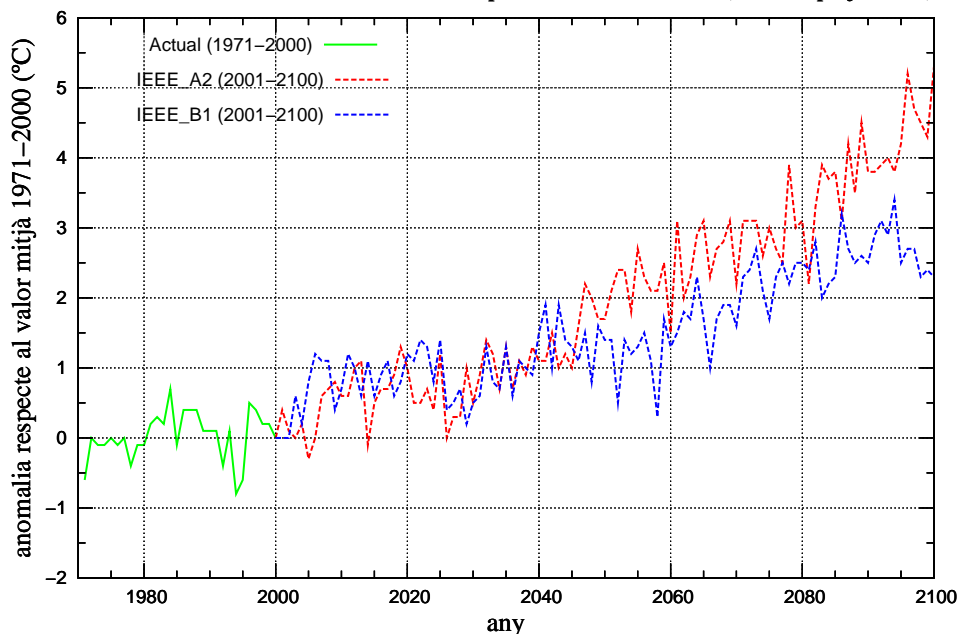


Figura 33: Evolució temporal projectada de les anomalies de temperatura mitjana anual per a la Catalunya Interior calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les del B1, en color blau.

2.3.2 Projeccions de temperatura

A la Fig. 33 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de temperatura a 2 m per a l'Interior de Catalunya, la qual és molt similar a l'obtinguda per al Pirineu (Fig. 25), tot i que amb valors d'anomalies uns $0,5^{\circ}\text{C}$ de mitjana més baixos que els pirinencs. Es pot observar clarament l'augment que les temperatures patirien al llarg d'aquest segle, amb valors mitjans anuals de temperatura, per a finals de segle i escenari A2, que podrien ser uns 5°C superiors als valors mitjans del període de referència. Així, la tendència lineal projectada per a la temperatura mitjana anual és de $+4,5^{\circ}\text{C}$ en 100 anys per a l'escenari A2 i de $+2,4^{\circ}\text{C}$ per al B1. Totes aquestes tendències són estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95%.

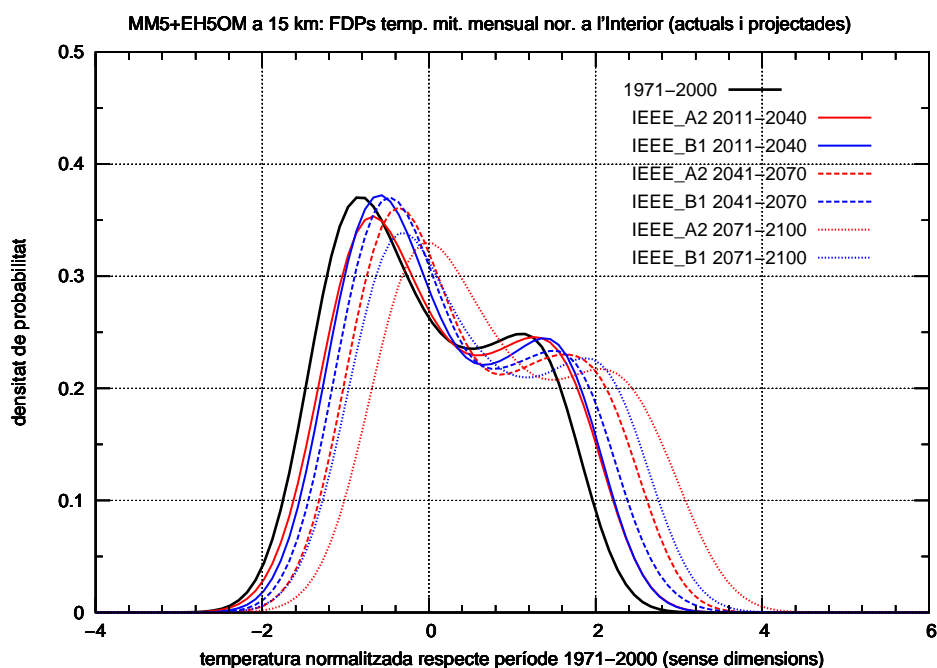


Figura 34: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per a la Catalunya Interior de la temperatura a 2 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

Les FDPs projectades de la temperatura mitjana mensual a 2 m es representen a la Fig. 34, on es pot veure, d'igual manera que al Pirineu (Fig. 26), el gran impacte que té l'important augment projectat de les temperatures durant aquest segle en les FDPs projectades. Aquestes es desplaçarien clarament cap a valors molt més elevats de temperatura respecte a l'FDP del

període de control. És important també l'augment projectat en la freqüència dels mesos molt càlids ($z > 3$), la probabilitat d'ocurrència dels quals augmentaria de manera molt considerable, especialment per a finals de segle. En aquesta zona es passaria de probabilitats d'ocurrència gairebé nul·les per al període de control a probabilitats d'ocurrència de l'ordre de 0,1 o superiors, per a finals de segle. Per una altra banda la freqüència dels mesos freds ($z < -1$) també es veuria molt canviada, tot i que l'ordre de magnitud d'aquest canvi seria menor que el projectat per als mesos molt càlids.

2.3.3 Projeccions de precipitació

MM5+EH50M 15 km: Evol. anomalies de precip. mit. anual a l'Interior (actuals i projectades)

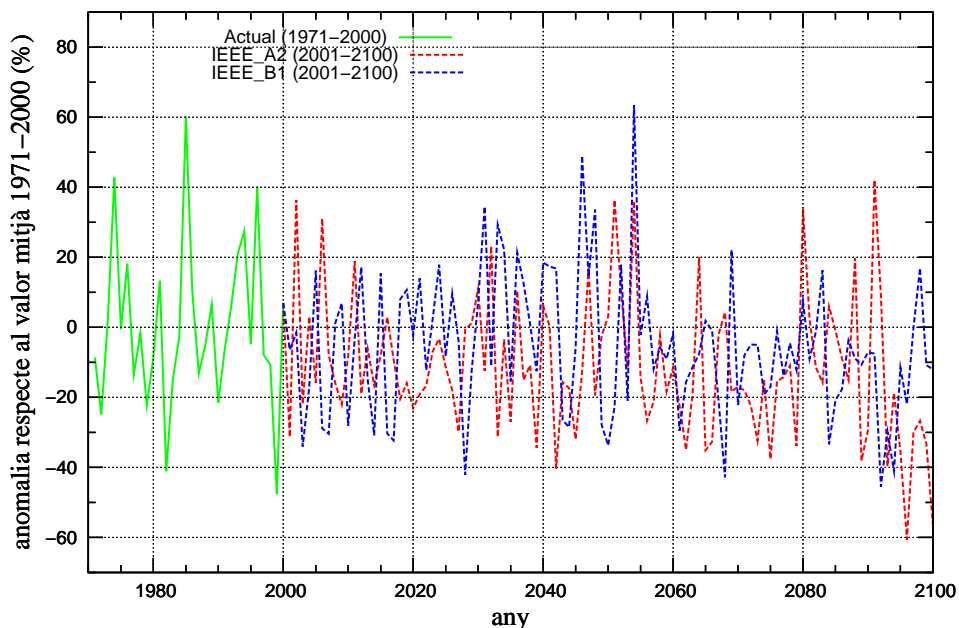


Figura 35: Evolució temporal projectada de les anomalies de precipitació mitjana anual per a la Catalunya Interior calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 35 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies de precipitació mitjana anual per a l'Interior de Catalunya. Primer de tot s'ha de destacar que la variabilitat anual és molt més elevada que l'observada per a la zona del Pirineu (Fig. 27), en gran part deguda a què corresponen ambdues àrees a zones climàtiques ben diferenciades, l'Interior caracteritzat per una pluviometria molt més irregular i amb valors anuals força baixos mentre

que el Pirineu es caracteritza per una pluviometria anual molt més regular i amb valors més elevats. En l'evolució temporal projectada d'aquesta variable no és tan clar detectar a priori l'existència de tendències, tot i que dominen els valors negatius als positius. Tot i així fins al 2060, les diferències entre les projeccions de cada escenari d'emissions serien molt poc importants sense presentar cap tipus de tendència temporal. És per a finals de segle quan les diferències entre escenaris serien més importants i quan semblaria observar-se una certa tendència a la disminució de la precipitació anual. Llavors, es projecten valors que podrien arribar a ser superiors al 50% de reducció per a finals de segle i escenari A2, encara que alternats amb alguns valors d'augment superiors al 30%. Si s'analitzen les possibles tendències en l'evolució temporal projectada amb un mètode de Monte Carlo (Taula 14) s'obté que només l'escenari A2 presenta un tendència estadísticament significativa, amb un nivell de confiança del 95%, d'un $-14,1\%$ en 100 anys. L'escenari B1 no presenta cap tendència estadísticament significativa, ja que la tendència lineal calculada cau dins dels intervals d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo emprat.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	$-14,1$	$+13,61$	$-13,31$	Sí
B1 (2001-2100)	$-9,4$	$+13,45$	$-13,46$	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
B1 (2001-2100)	$-9,4$	$+11,37$	$-11,28$	No

Taula 14: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de precipitació regionalitzades per a la Catalunya Interior amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

A la Fig. 36 es representen les FDPs projectades de la precipitació mitjana mensual per als tres períodes d'estudi del s. XXI i per a l'Interior de Catalunya. Es pot observar, d'igual manera que al Pirineu però amb valors més elevats, el gran augment projectat en la freqüència de mesos secs ($z < -1$). Per tant, és d'esperar que hi hagi un augment dels períodes de sequera a l'Interior durant aquest segle. També cal destacar l'augment en la probabilitat d'ocurrència de mesos excepcionalment plujosos ($z > 3$) cap a finals de segle, per als quals la seva freqüència és pràcticament nul·la durant el període de referència 1971-2000. Aquest augment, tot i que seria força petit, és molt més important que el projectat per al Pirineu i del mateix ordre que el projectat per al conjunt de Catalunya. En conseqüència, també

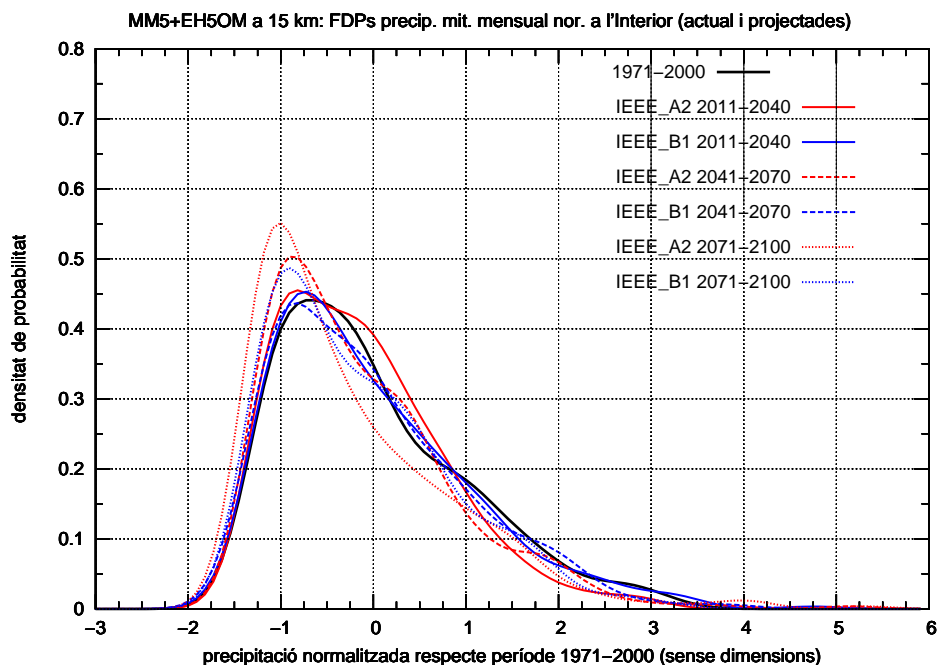


Figura 36: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per a la Catalunya Interior de la precipitació mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

és d'esperar que els extrems de pluja es vegin incrementats durant aquest segle. Com a resultat final, s'espera doncs que hi hagi un major rang de variabilitat tant anual com mensual per a la precipitació durant el s. XXI.

2.3.4 Projeccions d'humitat relativa

A la Fig. 37 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície per a l'Interior de Catalunya on s'aprecia com la variabilitat anual d'aquesta variable es projecta que sigui força menor que durant el període de control, reduint-se en gairebé a la meitat durant el s. XXI. Aquest fet però, no s'observa ni en l'evolució projectada per al Pirineu (Fig. 29) ni per al conjunt de Catalunya (Fig. 15). També es pot observar que no sembla existir cap tipus de tendència en la seva evolució tant per a l'escenari A2 com per al B1. Aquest aspecte sí que el té en comú aquesta evolució amb l'evolució projectada per a la zona del Pirineu o la de tot Catalunya. Si s'analitzen les possibles tendències en les evolucions projectades a partir d'un mètode de Monte Carlo (Taula 15) es troba que no existeix cap tipus de tendència es-

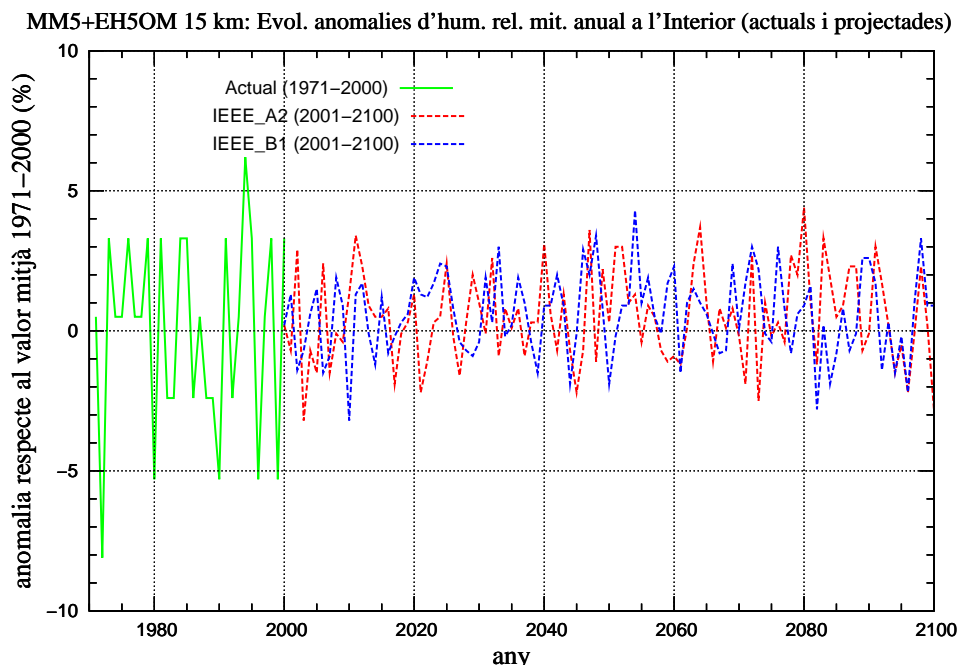


Figura 37: Evolució temporal projectada de les anomalies d'humitat relativa mitjana anual en superfície per a la Catalunya Interior calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'*MM5* a 15 km de 1971 a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	+0,4	+1,09	-1,08	No
B1 (2001-2100)	+0,1	+0,99	-1,00	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	+0,4	+0,92	-0,92	No
B1 (2001-2100)	+0,1	+0,83	-0,85	No

Taula 15: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície regionalitzades per a la Catalunya Interior amb l'*MM5* a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

tadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95% per a ambdós escenaris d'emissions, donat que les tendències lineals calculades cauen dins

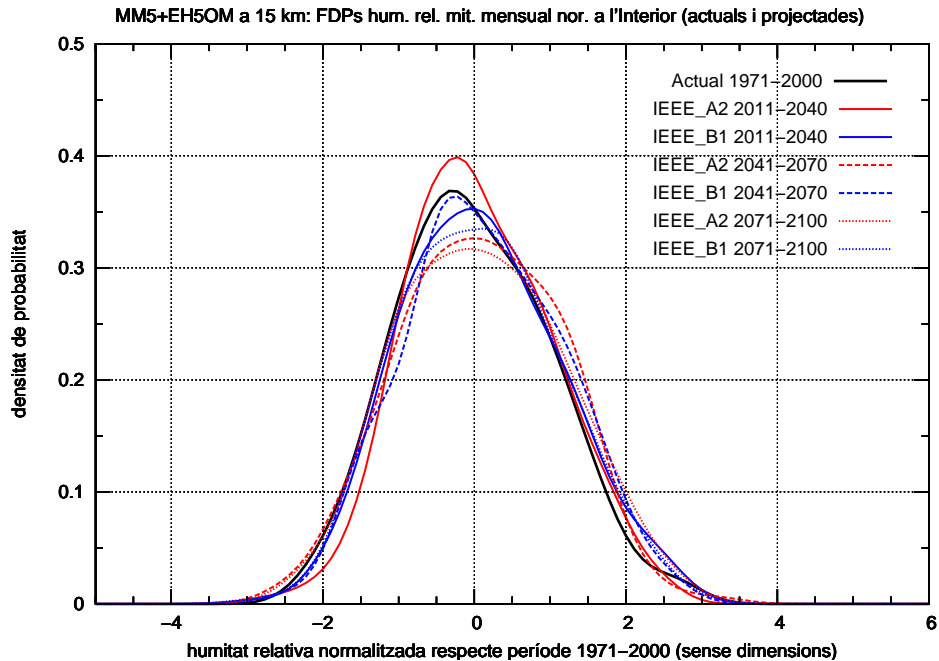


Figura 38: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per a la Catalunya Interior de la humitat relativa de l'aire mitjana mensual en superfície calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

dels intervals d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo emprat. Per tant, es pot concloure que per a la humitat relativa a la zona interior de Catalunya no s'esperen grans canvis durant aquest segle, tret d'una menor variabilitat anual.

A la Fig. 38 es representen les FDPs projectades per a la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana mensual a l'Interior de Catalunya, on es pot veure que les FDPs canviarien poc de forma durant els tres períodes d'anàlisi en comparació amb l'FDP del període de control, tal i com s'ha pogut observar tant per al conjunt de Catalunya (Fig. 19) com al Pirineu (Fig. 30). Les diferències més grans s'observen en la probabilitat d'ocurrència del pics, lleugers augments en la freqüència projectada per als mesos amb valors d'humitat mitjana superiors al valor mitjà del període 1971-2000 ($z > 0$), i lleugeres disminucions en la freqüència projectada per als mesos amb valors inferiors ($z < 0$) a la mitjana del període de referència. Amb la qual cosa, es pot concloure que la distribució de freqüències mensuals per a la humitat relativa tampoc es veuria gaire alterada durant aquest segle per a l'Interior de Catalunya.

2.3.5 Projeccions de vent

A la Fig. 39 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de velocitat del vent a 10 m per a l'Interior de Catalunya on es veu la clara tendència a disminuir durant aquest segle per a ambdós escenaris d'emissions, amb valors de reduccions de gairebé el 15% per a finals de segle. També s'ha de destacar l'augment en el rang de variabilitat anual de la velocitat del vent projectada durant el s. XXI. Ambdós comportaments són semblants als obtinguts per a la zona del Pirineu (Fig. 31) i per al conjunt de Catalunya (Fig. 23), tot i que l'evolució projectada a la zona Interior de Catalunya presenta un rang de variabilitat major que el projectat per al Pirineu i per a tot Catalunya. Finalment, analitzant les possibles tendències en les evolucions projectades de la velocitat del vent a partir d'un mètode de Monte Carlo (Taula 16) es conclou que l'evolució projectada segons l'escenari A2 presenta una tendència a disminuir del 6,4% en 100 anys i el B1 en presenta una altra a disminuir del 4,1% en 100 anys. Ambdues tendències són estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95%.

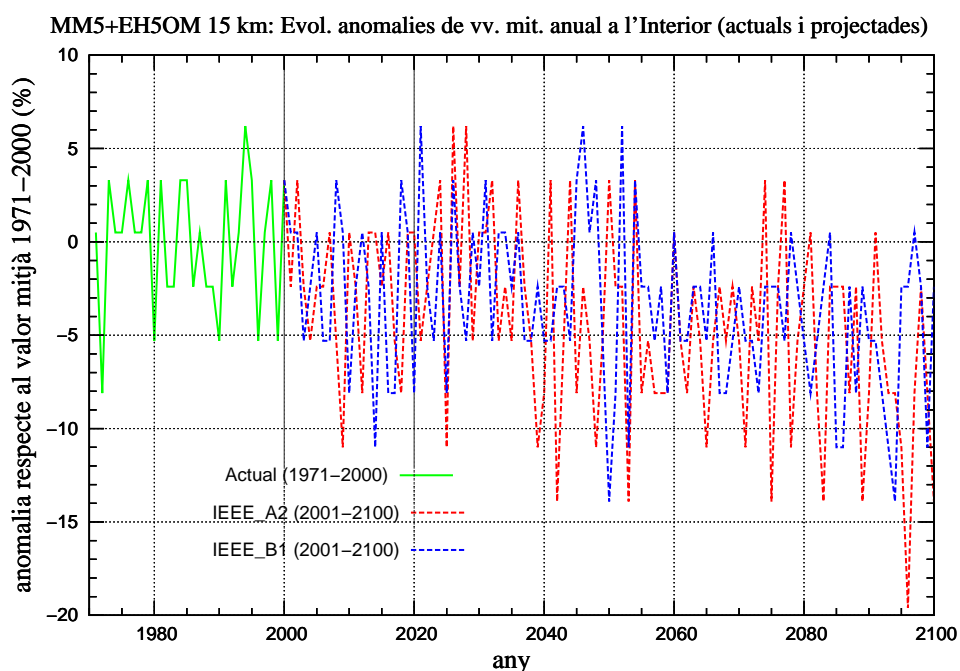


Figura 39: Evolució temporal projectada de les anomalies de velocitat del vent mitjana anual a 10 m per a la Catalunya Interior calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	-6,4	+3,52	-3,50	Sí
B1 (2001-2100)	-4,1	+2,92	-2,89	Sí

Taula 16: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de velocitat del vent a 10 m regionalitzades per a la Catalunya Interior amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

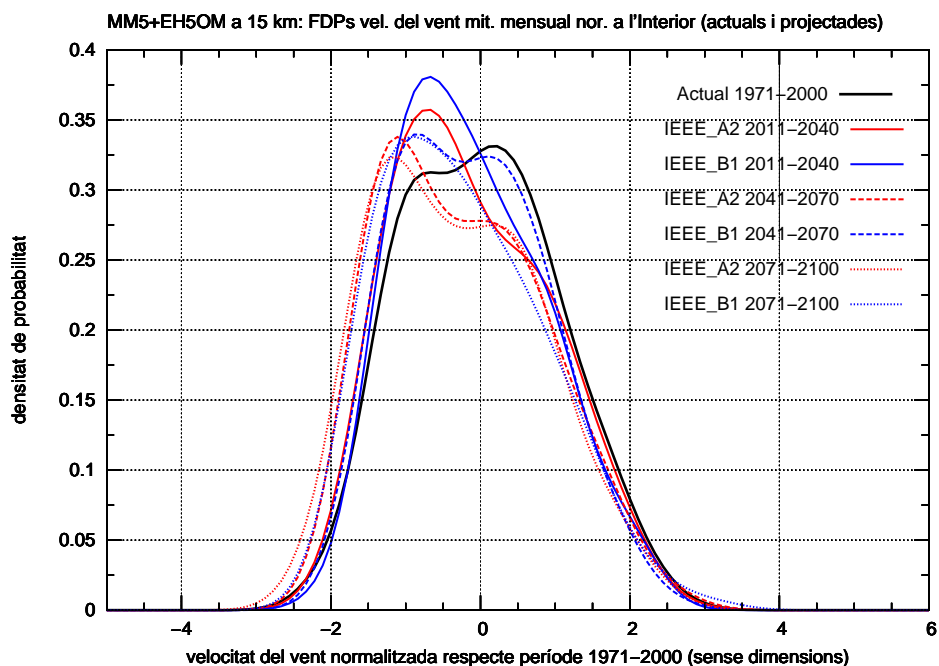


Figura 40: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per a la Catalunya Interior de la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

La Fig. 40 representa les FDPs projectades de la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual per als tres períodes d'estudi d'aquest segle a la Catalunya Interior. Aquestes són molt semblants a les projectades tant per al Pirineu (Fig. 32) com per al conjunt de Catalunya (Fig. 24). Es pot veure clarament l'impacte que té la tendència projectada a disminuir d'aquesta variable en els canvis de les FDPs al llarg del s. XXI: canvien de forma i els seus pics

màxims passen d'estar a prop dels valors mitjans ($z \sim 0$) del període de control, durant aquest període, a valors força per sota de la mitjana del període de referència ($z < -0,5$) durant el s. XXI, especialment per a finals del mateix. També és considerable l'augment en la freqüència dels mesos amb valors de velocitat del vent força més baixos ($z < -1,5$) que la mitjana del període de control. Cal destacar també, el lleu augment que es projecta per a la probabilitat d'ocurrència dels valors de velocitat del vent força elevats ($z > 3$) per a alguns períodes i per a l'escenari B1. Amb totes aquestes consideracions, es pot concloure que la velocitat del vent a 10 m a la zona Interior de Catalunya es veuria modificada durant aquest segle, amb una major freqüència de mesos amb velocitat del vent mitjana força per sota del valor mitjà del període 1971-2000, així com una major variabilitat respecte aquest període, la qual seria més notable cap a finals de segle. Aquest canvi, com és obvi, podria tenir un impacte en el poder de generació elèctrica de nombrosos parcs eòlics que es troben a la zona, el qual es podria veure minvat durant aquest segle, i en especial, per a finals del mateix.

2.4 Litoral i Prelitoral

En aquest apartat s'analitzen les variables tractades anteriorment, però centrant-se ara només en la zona litoral i prelitoral de Catalunya. S'han agafat per a fer aquesta anàlisi els punts de malla del domini de 15 km de la simulació regionalitzada amb l'MM5 que cauen dins de les següents caixes definides per:

- $0^{\circ}-2,9^{\circ}\text{E}$ i els punts de latitud entre les rectes definides per:

$$lat = 40,8 + 0,5 \cdot lon$$

$$lat = 40,2 + 0,5 \cdot lon$$

on, lat és la latitud del punt en qüestió i lon , la longitud del mateix punt.

- $2,9^{\circ}-3,5^{\circ}\text{E}$ i els punts de latitud caiguts entre $42,9^{\circ}\text{E}$ i la recta definida per:

$$lat = 40,2 + 0,5 \cdot lon$$

on, lat és la latitud del punt en qüestió i lon , la longitud del mateix punt.

2.4.1 Quadre resum

A les Taula 17 i Taula 18 es troben resumits per al Litoral i Prelitoral de Catalunya les variacions projectades mitjanes, màxima i mínima a nivell anual i estacional per una banda en la temperatura a 2 m i la precipitació (Taula 17), i per una altra banda en la humitat relativa de l'aire en superfície i la velocitat del vent a 10 m (Taula 18). Els valors que es mostren són molt similars, en general, als obtinguts per a la zona interior del país (Taula 12 i Taula 13) i també als obtinguts per al Pirineu (Taula 7 i Taula 8), però amb un menor grau de semblança. A grans trets cal remarcar que:

- Els canvis projectats en les diferents variables són més modestos que els obtinguts per al Pirineu i l'Interior de Catalunya.
- La temperatura mitjana de l'estiu projectada, segons l'escenari A2 i per a finals de segle, podria arribar a ser d'uns $+4,6^{\circ}\text{C}$, amb un valor mitjà de $+4,1^{\circ}\text{C}$ respecte el període de control. Per a aquest mateix període i escenari es projecten disminucions de la precipitació mitjana d'estiu de fins a gairebé el 62% amb un valor mitjà de l'ordre d'un 35% de reducció respecte als valors mitjans del període de referència 1971-2000. Per a l'escenari B1 es projecten per a la mateixa estació i període variacions de temperatura fins a uns $+3,2^{\circ}\text{C}$ (amb un valor mitjà de $+2,9^{\circ}\text{C}$) i mitjanes de precipitació d'uns -21% (amb valors màxims de -47%). Tot i que els percentatges de reducció de la precipitació serien importants a l'estiu, degut a què és l'estació més seca de l'any a gran part del Litoral i Prelitoral de Catalunya, aquests percentatges passats a quantitat de precipitació són poc importants. Encara que, el fet que a l'estació més seca i més càlida de l'any hi acabi plovent menys, repercutiria en una major sequedat del sòl i, per tant, en un major augment del risc d'incendis forestals a la zona.
- La robustesa dels canvis projectats en precipitació per a totes les estacions de l'any és baixa ja que es troben resultats força diferents d'un període a un altre, i inclús entre els resultats dels escenaris per a un mateix període. Per tant, es fa gairebé impossible poder concloure a grans trets quin serà el canvi esperat per a cada estació de l'any així com valorar quin seria l'impacte en els recursos hídrics de la zona.
- Els canvis projectats en la humitat relativa de l'aire serien molt poc importants.
- Es projecta una reducció de la velocitat mitjana del vent a 10 m, tan anual com estacional, per a tots els tres períodes d'estudi així com per als dos escenaris d'emissions considerats. Aquesta reducció es projecta que arribi a ser important, de l'ordre de fins al 16% per a l'estiu a finals de segle i segons l'escenari A2 (13% per al B1). Per a la tardor

Litoral i Prelitoral								
IEEE	Període	Estació	Variació temp. (°C)			Variació precip. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,7	+0,9	+0,2	-6,5	-0,7	-11,9
		DGF	+0,6	+0,8	+0,0	-3,0	+7,1	-13,8
		MAM	+0,6	+0,7	+0,1	-12,4	-4,6	-19,7
		JJA	+0,9	+1,1	+0,4	+7,6	+25,7	-20,6
		SON	+0,7	+1,0	+0,2	-6,3	+8,9	-19,4
	2041-2070	Anual	+2,0	+2,2	+1,6	-5,3	+12,4	-17,3
		DGF	+2,0	+2,2	+1,5	+6,7	+37,6	-18,7
		MAM	+1,8	+2,0	+1,4	-10,5	+11,1	-22,9
		JJA	+2,4	+2,6	+2,0	-20,4	-1,1	-45,4
		SON	+2,0	+2,3	+1,6	-7,1	+11,6	-20,5
	2071-2100	Anual	+3,5	+3,9	+3,3	-14,3	+3,7	-29,7
		DGF	+3,2	+3,4	+3,0	+3,9	+37,1	-20,8
		MAM	+3,1	+3,4	+2,9	-18,4	+9,7	-35,6
		JJA	+4,1	+4,6	+3,6	-35,0	-13,7	-61,6
		SON	+3,7	+4,3	+3,3	-21,5	-0,4	-33,2
B1	2011-2040	Anual	+0,8	+1,0	+0,5	-1,7	+10,8	-14,5
		DGF	+1,0	+1,2	+0,7	+9,8	+40,4	-16,3
		MAM	+0,7	+0,8	+0,4	-11,3	-1,2	-18,0
		JJA	+1,0	+1,2	+0,7	+1,7	+23,2	-25,9
		SON	+0,7	+0,8	+0,4	-1,5	+4,9	-15,0
	2041-2070	Anual	+1,4	+1,5	+1,2	-3,0	+3,2	-12,4
		DGF	+1,3	+1,5	+1,1	-0,6	+20,6	-12,4
		MAM	+1,1	+1,3	+0,9	-11,2	-1,2	-20,3
		JJA	+1,6	+1,8	+1,4	+2,5	+21,7	-25,8
		SON	+1,4	+1,6	+1,2	+4,9	+18,8	-6,4
	2071-2100	Anual	+2,5	+2,7	+2,3	-9,5	+8,0	-21,4
		DGF	+2,2	+2,4	+2,0	+7,8	+35,2	-19,1
		MAM	+2,2	+2,4	+2,0	-13,5	+7,3	-25,5
		JJA	+2,9	+3,2	+2,5	-20,1	+4,0	-47,3
		SON	+2,5	+2,9	+2,3	-21,4	-6,2	-35,1

Taula 17: Resum dels canvis projectats en temperatura a 2 m i precipitació per a la zona litoral i prelitoral de Catalunya segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEEE és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

Litoral i Prelitoral								
IEEE	Període	Estació	Variació hr. (%)			Variació vv. (%)		
			Mit.	Màx.	Mín.	Mit.	Màx.	Mín.
A2	2011-2040	Anual	+0,7	+2,7	-1,0	-2,2	+1,3	-6,6
		DGF	+1,1	+3,5	-1,3	-4,4	-1,3	-9,2
		MAM	-0,3	+2,3	-1,8	-0,7	+4,8	-5,7
		JJA	+1,0	+1,8	+0,3	-1,1	+2,4	-4,7
		SON	+1,1	+3,4	-2,0	-2,4	+1,7	-6,6
	2041-2070	Anual	+0,2	+2,4	-1,9	-3,3	+0,7	-8,5
		DGF	+1,6	+4,4	-2,1	-4,3	+0,3	-10,4
		MAM	-0,6	+2,3	-2,1	-0,8	+4,8	-5,8
		JJA	-0,4	+0,4	-2,0	-4,8	-0,7	-11,2
		SON	+0,4	+2,9	-3,1	-4,0	+1,2	-9,3
	2071-2100	Anual	+0,0	+1,7	-3,7	-4,9	-0,5	-9,5
		DGF	+1,4	+3,2	-1,9	-5,1	+0,9	-11,3
		MAM	-0,4	+2,5	-3,3	-1,7	+3,5	-5,3
		JJA	-1,0	-0,0	-4,5	-6,7	-1,8	-15,8
		SON	+0,1	+2,5	-6,3	-7,2	+1,4	-13,8
B1	2011-2040	Anual	+0,5	+1,5	-0,8	-2,1	+1,0	-5,3
		DGF	+1,8	+3,5	-1,3	-3,1	+1,6	-8,0
		MAM	-0,9	+1,2	-1,8	-1,6	+3,2	-5,4
		JJA	+0,9	+1,7	+0,1	-2,3	+1,0	-6,3
		SON	+0,6	+1,6	-1,5	-1,4	+2,0	-4,9
	2041-2070	Anual	+0,7	+1,6	-0,5	-2,1	-0,3	-4,1
		DGF	+0,6	+1,9	-1,0	-2,5	+0,6	-6,3
		MAM	+0,2	+1,5	-1,4	-1,6	-2,8	-4,8
		JJA	+0,7	+1,4	-0,7	-1,5	+1,2	-4,6
		SON	+1,5	+2,8	-0,1	-2,4	+4,5	-7,6
	2071-2100	Anual	-0,1	+1,2	-2,2	-4,0	-0,9	-7,5
		DGF	+1,4	+2,7	-1,1	-4,4	+1,2	-10,7
		MAM	-0,1	+1,7	-2,2	-2,6	+2,4	-6,6
		JJA	-1,0	+0,0	-3,4	-5,7	-2,4	-13,0
		SON	-0,5	+0,9	-3,0	-3,9	+1,6	-7,8

Taula 18: Resum dels canvis projectats en humitat relativa en superfície i velocitat del vent a 10 m per a la zona litoral i prelitoral de Catalunya segons els escenaris d'emissions A2 i B1 i per a cada estació climàtica (anual, hivern, primavera, estiu i tardor) obtinguts amb les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km. Període de referència 1971-2000. IEEÉ és escenari d'emissions de referència, temp., temperatura, precip., precipitació, DGF, l'hivern (Desembre-Febrer), MAM, la primavera (Març-Maig), JJA, l'estiu (Juny-Agost), SON, la tardor (Setembre-Novembre), Mit., mitjana, Màx., valor màxim i Mín., valor mínim.

també es projecten disminucions màximes semblants. Cal destacar que per a l'hivern també es projecten disminucions importants que podrien arribar a ser superiors al 10% per a finals de segle i per a ambdós escenaris. És important tenir en compte aquests fets perquè la gran majoria de parcs eòlics del país es troben als extrems sud i nord del prelitoral, amb la qual cosa durant aquest segle la generació d'electricitat en aquests parcs es podria veure minvada.

2.4.2 Projeccions de temperatura

MM5+EH50M 15 km: Evol. anomalies de temp. mit. anual al Litoral–Prelitoral (actuals i projectades)

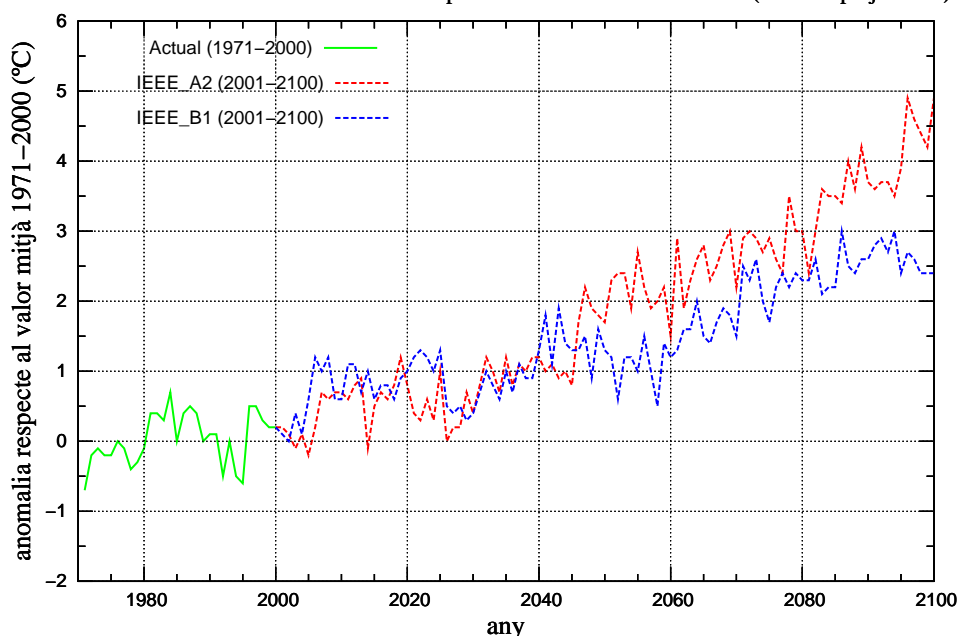


Figura 41: Evolució temporal projectada de les anomalies de temperatura mitjana anual per al Litoral i Prelitoral de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'*MM5* a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 41 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de temperatura a 2 m per al Litoral i Prelitoral de Catalunya on es torna a observar l'important augment que es projecta per a aquesta variable, tal i com també mostren les evolucions projectades de tot Catalunya (Fig. 3), Pirineu (Fig. 25) i l'Interior de Catalunya (Fig. 33). Així, es podrien arribar cap a finals de segle a valors de temperatura mitjana anual d'uns 5°C superiors als del període de control, tenint en compte l'es-

cenari A2 (per al B1 serien de gairebé 3°C superiors). Tot i així, l'augment projectat és de menor magnitud que el trobat per al Pirineu (1°C inferior), l'Interior de Catalunya o tot el país (0,5°C inferior). També cal destacar que l'evolució projectada per als dos escenaris d'emissions seria molt semblant fins a mitjans de segle i, a partir d'aleshores, apareixerien diferències notables entre ambdues evolucions. L'augment de temperatura és més marcat per a l'escenari A2 que no pas al B1. En resum, s'obté una tendència lineal de +4,4°C en 100 anys per a l'escenari A2 i de +2,3°C en 100 anys per al B1.

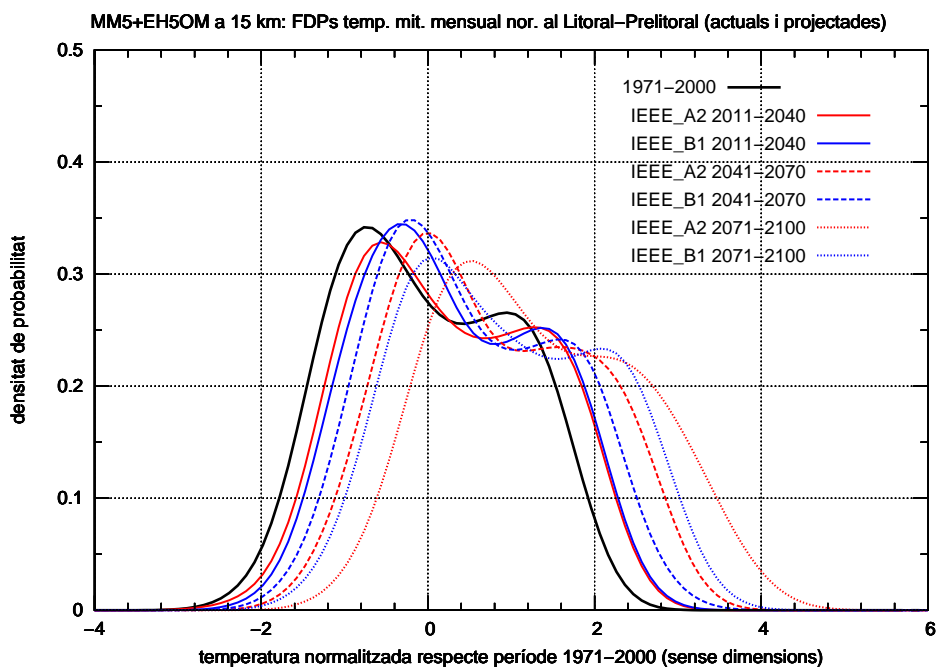


Figura 42: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya de la temperatura a 2 m mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

Les FDPs projectades de la temperatura a 2 m mitjana mensual per als tres períodes d'anàlisi i per a la zona litoral i prelitoral de Catalunya es troben a la Fig. 42. En aquesta figura es pot veure, tal i com ja s'ha vist per a tot Catalunya (Fig. 6), Pirineu (Fig. 26) i Interior de Catalunya (Fig. 34), el gran impacte que té l'augment projectat de les temperatures en les FDPs projectades, les quals pateixen un important desplaçament cap a valors de temperatura molt més grans que la mitjana ($z > 2$) del període de referència 1971-2000. Així doncs, durant aquest segle és d'esperar un gran augment de la freqüència dels mesos molt càlids ($z > 2$) i una disminució important

de la probabilitat d'ocurrència dels mesos molt freds ($z < -2$).

2.4.3 Projeccions de precipitació

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies de precip. mit. anual al Litoral–Prelitoral (actuals i projectades)

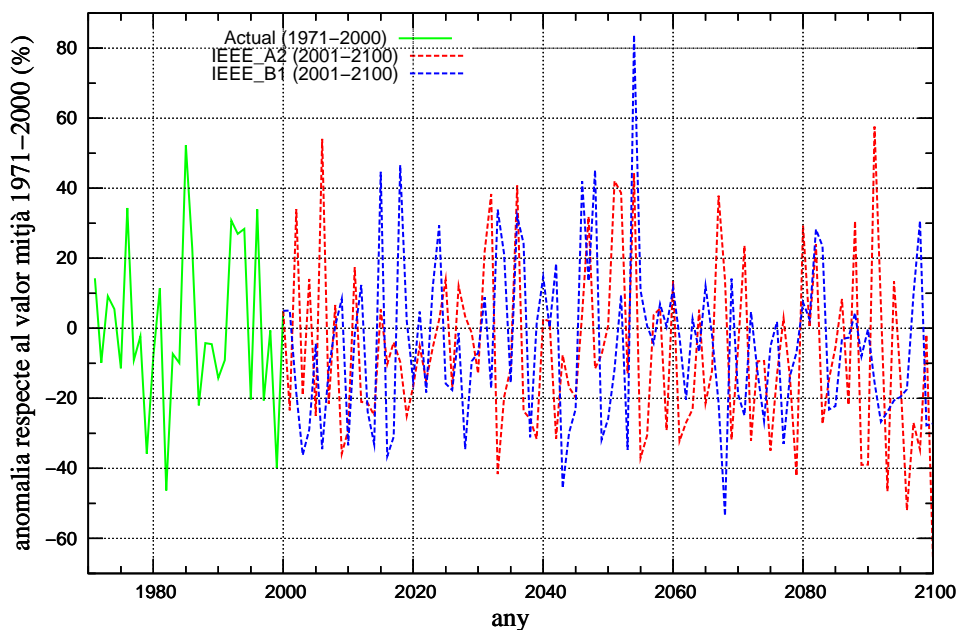


Figura 43: Evolució temporal de les anomalies de precipitació mitjana anual per al Litoral i Prelitoral de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 43 es presenta l'evolució temporal projectada de la precipitació al Litoral i Prelitoral de Catalunya on sembla no haver-hi cap tipus de tendència al canvi a priori. Aquest fet és diferent al que presentaven tant les evolucions projectades per al conjunt de Catalunya (Fig. 8) com per a la zona pirinenca (Fig. 27) i l'interior del país (Fig. 35). També cal destacar que es projecta una major variabilitat anual durant el s. XXI respecte al període de control, assolint-se augments anuals superiors al 30% per a mitjans de segle i segons l'escenari B1. Aquesta variabilitat és major que la presentada a l'evolució projectada d'aquesta mateixa variable per a la zona interior o per a tot Catalunya, i encara molt més gran que la trobada per a la zona pirinenca. Si analitzem les possibles tendències a la zona litoral i prelitoral a partir d'un mètode de Monte Carlo (Taula 19) es troba que no existeix cap tendència estadísticament significativa ni amb un

nivell de confiança del 95% ni del 90%, ja que els valors calculats per a les tendències lineals d'ambdós escenaris cauen dins de l'interval d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo emprat. Per tant, és d'esperar que a escala anual la precipitació al Litoral i Prelitoral no pateixi cap canvi destacable durant aquest segle.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-9,5	+16,63	-16,81	No
B1 (2001-2100)	-1,8	+15,40	-15,67	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-9,5	+13,96	-14,23	No
B1 (2001-2100)	-1,8	+13,15	-13,02	No

Taula 19: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de precipitació regionalitzades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

L'elevada variabilitat anual que es projecta en l'evolució temporal de la precipitació mitjana anual durant aquest segle per al Litoral i Prelitoral de Catalunya té un important reflex en les FDPs projectades d'aquesta variable per al s. XXI (Fig. 44). S'hi observa un augment important de la freqüència dels mesos més secs ($z < -1$), que també s'ha trobat per al conjunt de tot Catalunya (Fig. 11), Pirineu (Fig. 28) i l'Interior (Fig. 36). Amb la qual cosa, s'hauria d'esperar un augment dels períodes secs per a aquest segle. Per una altra part, es projecta un augment apreciable de la probabilitat d'ocurrència dels mesos excepcionalment plujosos ($z > 4$), amb probabilitats d'ocurrència que passen de ser gairebé nul·les, per al període de referència 1971-2000, a ser de l'ordre de 0,01 per a tots tres períodes d'anàlisi durant el s. XXI. Per tant, s'ha d'esperar per a aquesta zona un augment en la freqüència dels episodis amb precipitacions molt abundants (superiors a 100 mm en 24 h) durant aquest segle. Finalment, s'ha de comentar que per a aquest rang de valors ($z > 4$), la zona litoral i prelitoral és la que mostra un major canvi respecte al període de control, comparant aquest resultat amb els que es projectens tant per a la zona pirinenca com a l'interior del país. Per la qual cosa, l'augment dels mesos excepcionalment plujosos que es projecta per a tot Catalunya es deuria en gran part per l'augment important que es projecta per al Litoral i Prelitoral.

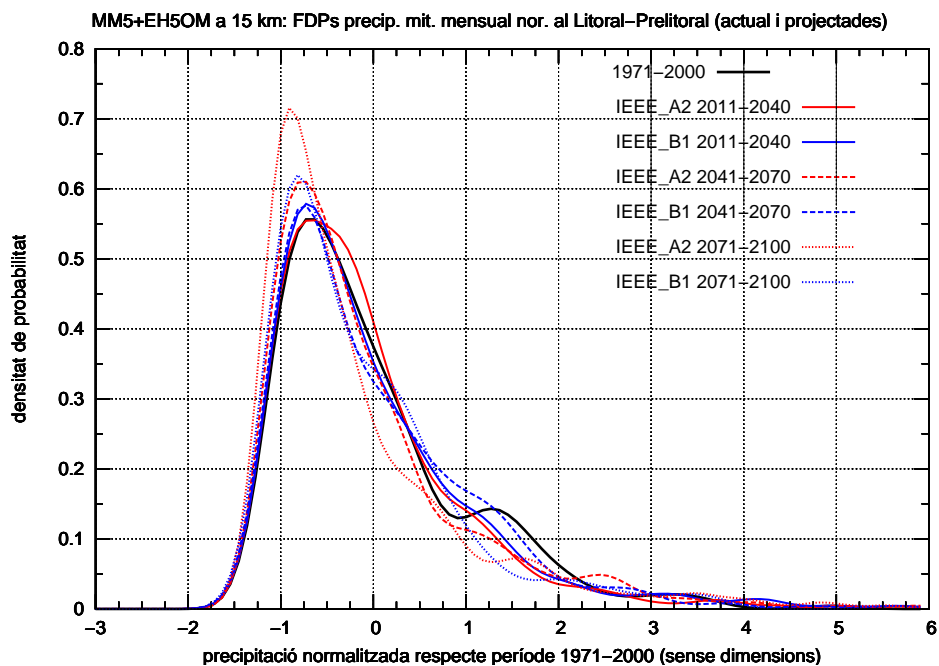


Figura 44: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Litoral i Preitoral de Catalunya de la precipitació mitjana mensual calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'*MM5* a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

2.4.4 Projeccions d'humitat relativa

A la Fig. 45 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície per al Litoral i Preitoral de Catalunya, on es torna a observar que aquesta variable no sembla presentar cap tipus de tendència. Sí que s'observa un menor rang de variabilitat anual en les projeccions si es compara amb el que presenta el període de referència, el qual és gairebé el doble. Aquest comportament també s'ha trobat en l'evolució projectada d'aquesta variable a l'Interior (Fig. 37) i en menor mesura per al Pirineu (Fig. 29). En canvi, l'evolució projectada per al conjunt de Catalunya (Fig. 15) no presenta cap tipus de canvi apreciable entre el rang de variabilitat anual del període de control i el projectat per al s. XXI. Si s'analitzen les possibles tendències en les evolucions projectades a partir d'un mètode de Monte Carlo (Taula 20) es troba que no existeix cap tendència estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%, ja que les tendències lineals calculades d'ambdós escenaris d'emissions cauen dins de l'interval d'aleatorietat del mètode de Monte Carlo utilitzat. Per tant, podem concloure que a grans trets no s'esperen canvis significatius

durant aquest segle per a la humitat relativa de l'aire en superfície al Litoral i Prelitoral catalans, tret d'una menor variabilitat anual.

MM5+EH5OM 15 km: Evol. anomalies d'hum. rel. mit. anual al Litoral–Prelitoral (actuals i projectades)

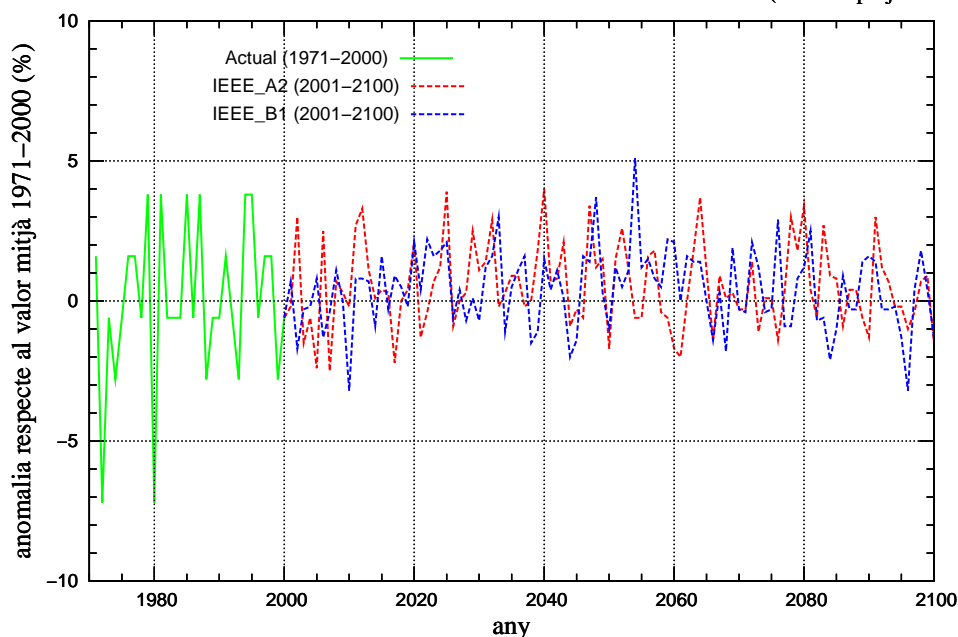


Figura 45: Evolució temporal projectada de les anomalies d'humitat relativa mitjana anual en superfície per al Litoral i Prelitoral de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'*MM5* a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-0,2	+0,82	-0,82	No
B1 (2001-2100)	-0,2	+0,93	-0,95	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T ?$
A2 (2001-2100)	-0,2	+0,69	-0,69	No
B1 (2001-2100)	-0,2	+0,79	-0,81	No

Taula 20: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals d'humitat relativa de l'aire en superfície regionalitzades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya amb l'*MM5* a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

A la Fig. 46 es representen les FDPs projectades per a la humitat relativa de l'aire en superfície mitjana mensual per al Litoral i Prelitoral. Es pot veure que tot i que la forma general de les FDPs projectades (FDPs quasi guassianes) es manté per als tres períodes d'anàlisi del s. XXI, hi ha canvis apreciables en els pics i en les cues de les FDPs projectades. A grans trets aquest comportament és el mateix que s'ha trobat per a tot Catalunya (Fig. 19), el Pirineu (Fig. 30) i l'Interior (Fig. 38). Així, a mesura que avanci aquest segle, la freqüència de mesos amb valors d'humitat mitjana ($z < 0$) per sota del valor mitjà del període de referència 1971-2000 es veuria augmentada de forma considerable.

Pel que fa referència als mesos amb valors extrems ($|z| > 2$), aquests veurien poc afectada la seva probabilitat d'ocurrència, projectant-se només una molt lleugera disminució de la mateixa. Tot plegat fa que la variabilitat mensual projectada per a la humitat relativa de l'aire en superfície sigui més baixa que la del període de referència. Per aquest fet, s'ha pogut observar una menor variabilitat anual en l'evolució projectada d'aquesta mateixa variable per a aquest segle, tal i com mostra la Fig. 45.

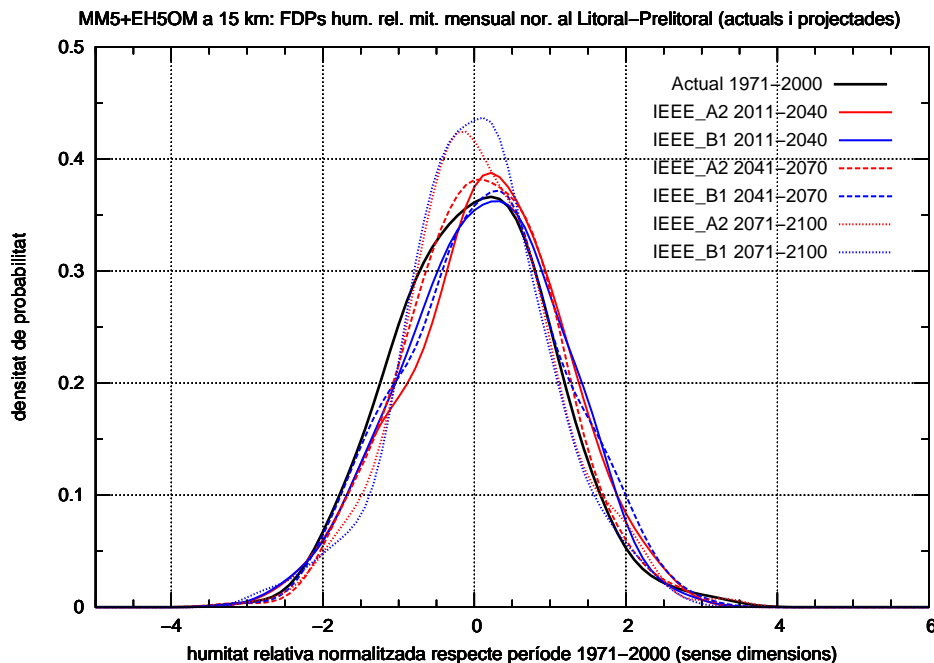


Figura 46: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya de la humitat relativa de l'aire mitjana mensual en superfície calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

2.4.5 Projeccions de vent

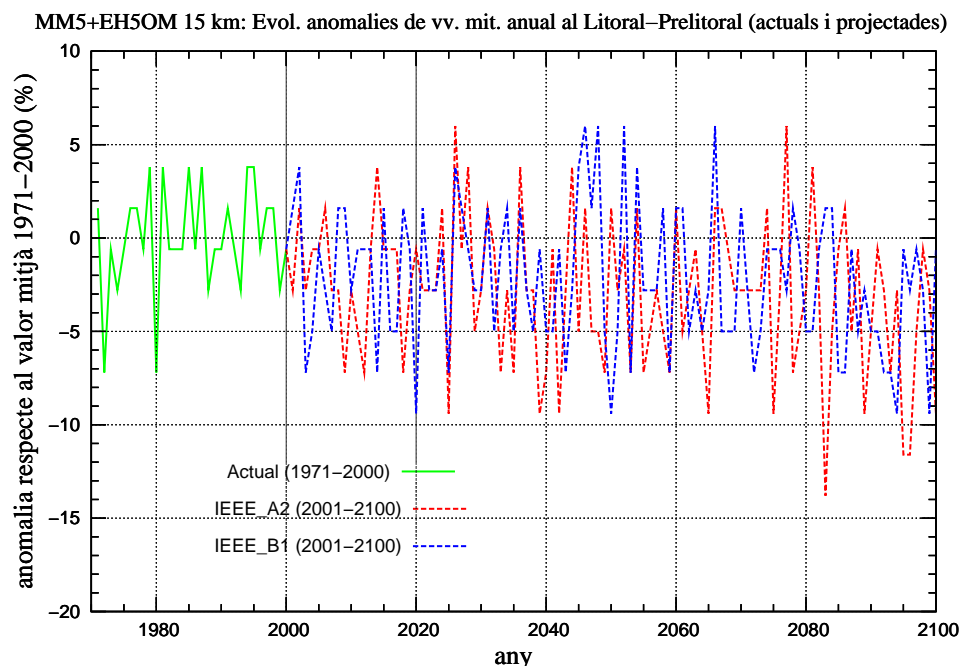


Figura 47: Evolució temporal projectada de les anomalies de velocitat del vent mitjana anual a 10 m per a la zona Litoral i Prelitoral de Catalunya calculades a partir de la simulació regionalitzada de l'MM5 a 15 km des de 1971 fins a 2100. Període de referència 1971-2000. Les dades de la simulació de control (1971-2000) apareixen en color verd, les dades de la simulació amb l'escenari A2 es troben en vermell i les de l'escenari B1, en color blau.

A la Fig. 47 es presenta l'evolució temporal projectada de les anomalies mitjanes anuals de velocitat del vent a 10 m per al Litoral i Prelitoral. Aquesta evolució és molt semblant a l'obtinguda per a tot Catalunya (Fig. 20), el Pirineu (Fig. 31) i l'Interior (Fig. 39): tendència a disminuir la velocitat mitjana anual i a augmentar el seu rang de variabilitat anual. Cap a finals d'aquest segle es projecten reduccions de l'ordre del 10% de la velocitat mitjana del vent, respecte al valor mitjà del període de control. Analitzant les possibles tendències a partir d'un mètode de Monte Carlo (Taula 21) es té que l'evolució projectada segons l'escenari A2 presenta una tendència d'un $-2,9\%$ en 100 anys estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%. En canvi, l'evolució projectada segons l'escenari B1 presenta una tendència d'un $-2,3\%$ en 100 anys estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 90%. Així doncs es pot afirmar que durant aquest segle la velocitat mitjana anual del vent a 10 m decreixeria de forma apreciable al Litoral i Prelitoral. Tenint en compte que al Prelitoral existeixen força parcs eòlics, sobretot als dos extrems del país (majoritàriament a la meitat

sud), la producció elèctrica d'aquests parcs es podria veure alterada cap a mitjans i finals d'aquest segle.

IEEE	Tendència lineal	$T_{97,5}$	$T_{2,5}$	Sig.? $\rightarrow t > T $?
A2 (2001-2100)	-2,9	+2,73	-2,68	Sí
B1 (2001-2100)	-2,3	+2,52	-2,56	No
IEEE	Tendència lineal	T_{95}	T_5	Sig.? $\rightarrow t > T $?
B1 (2001-2100)	-2,3	+2,10	-2,18	Sí

Taula 21: Resum de l'aplicació del mètode de Monte Carlo en l'avaluació de tendències en les projeccions anuals de velocitat del vent a 10 m regionalitzades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya amb l'MM5 a 15 km per al s. XXI. Les tendències lineals estan expressades en % de variació per 100 anys. IEEE és escenari d'emissions de referència, t és la tendència lineal calculada, $T_{2,5}$, T_5 , T_{95} i $T_{97,5}$ són els percentils 2,5, 5, 95 i 97,5 de les tendències lineals aleatòries calculades pel mètode de Monte Carlo, respectivament.

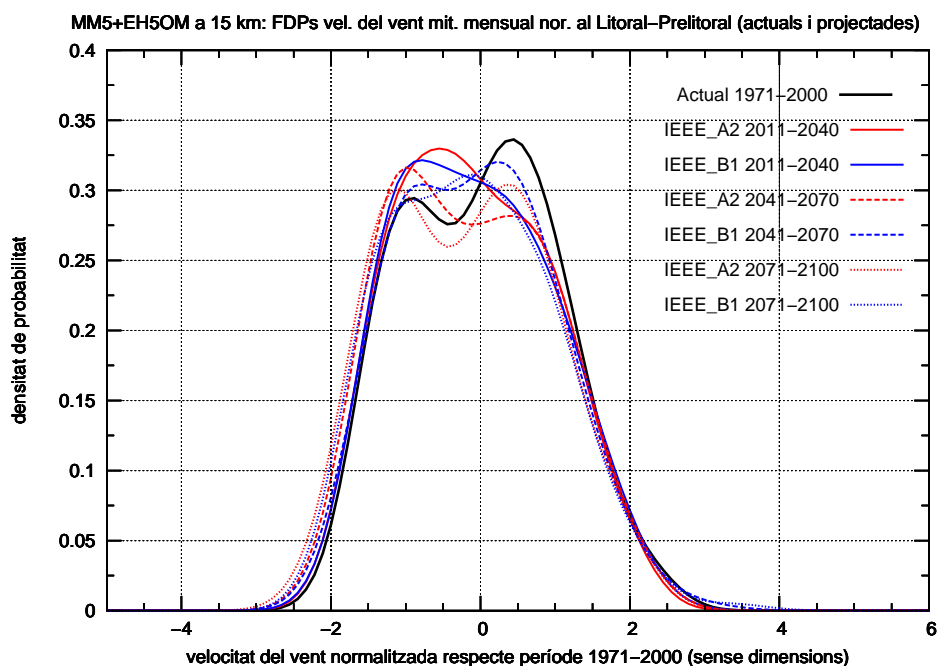


Figura 48: Funcions densitat de probabilitat (FDPs) projectades per al Litoral i Prelitoral de Catalunya de la humitat relativa de l'aire mitjana mensual en superfície calculades a partir de les simulacions regionalitzades amb l'MM5 a 15 km per als períodes 1971-2000, i 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 per als escenaris d'emissions A2 i B1. Valors normalitzats respecte al període de referència 1971-2000.

A la Fig. 48 es troben les FDPs projectades per a la velocitat del vent a 10 m mitjana mensual al Litoral i Prelitoral. Es pot veure el mateix comportament que presenten les FDPs projectades de tot Catalunya (Fig. 24), el Pirineu (Fig. 32) i l'Interior (Fig. 40): canvis en la forma general de les FDPs projectades, disminució de la freqüència de mesos amb velocitat del vent mitjana més elevada i augment de la probabilitat d'ocurrència dels mesos amb valors de vent per sota de la mitjana del període de referència. Tot això és el reflex de les tendències estadísticament significatives que s'han trobat en l'evolució temporal projectada d'aquesta mateixa variable durant el s. XXI.

3 Conclusions i treball futur

En aquest apartat es presenten les principals conclusions obtingudes i el treball futur que es realitzarà per a completar i millorar els resultats que s'han mostrat fins a aquí.

3.1 Conclusions

La feina desenvolupada a l'SMC durant els últims tres anys i mig en relació a la modelització climàtica ha comportat l'obtenció d'escenaris regionalitzats futurs a Catalunya a una resolució espacial de tan sols 15 km. Els resultats que s'hi han presentat són molt novedosos, ja que a nivell català no s'havia abordat mai una tasca com la presentada en aquest treball. Bàsicament, els treballs que hi ha publicats o estan en curs actualment se centren en l'ús de tècniques estadístiques de regionalització. Així, l'informe de l'AEMET de *Brunet et al.* (2009) presenta projeccions a nivell de tota la Península Ibèrica (PI) a uns 50 km de resolució espacial i emprant diferents tècniques estadístiques a partir de diferents models globals del *Tercer Informe d'Assessorament de l'IPCC* (TAR; IPCC, 2001), els resultats de les quals són comparats amb les simulacions regionals climàtiques del projecte europeu *PRUDENCE*² amb resolucions espacials de 50–70 km. Un altre exemple és la tesi doctoral d'*Altava-Ortiz* (2010) amb projeccions de la precipitació per a tot el s. XXI al NE de la PI a través d'un mètode d'anàlegs a uns 5 km de resolució espacial aplicat al model *ECHAM5/MPI-OM*. Fins al moment aquestes són les projeccions amb major resolució espacial realitzades a Catalunya, tot i que només per a la precipitació.

²Més informació sobre el projecte de la Unió Europea PRUDENCE (*Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*, EVK2-CT2001-00132, 2001-2004) es pot trobar a: <http://prudence.dmi.dk/>

Per una altra banda, hi ha uns pocs estudis acabats recentment a nivell de l'Estat Espanyol per a generar escenaris regionalitzats a resolucions més altes, com per exemple, el de *Gutiérrez et al.* (2010) que han elaborat projeccions de temperatura i precipitació per a Cantàbria a resolucions espacials de tant sols 1 *km* utilitzant una única tècnica de regionalització estadística a partir de tres models globals de l'*IPCC* (2007). Els resultats obtinguts es comparen amb simulacions regionals del projecte europeu *ENSEMBLES* amb resolucions espacials de 25 *km*. Un altre exemple, és el treball de *Montávez* (2008) en el qual s'han realitzat un conjunt de projeccions regionalitzades amb el model mesoescalar *MM5* per a tota la PI a una resolució espacial de 30 *km* i per al SE de la PI fins a 10 *km* de resolució. Finalment, caldria comentar els projectes espanyols *ESCENA*³ i *ESTCENA*⁴, en els quals s'estan desenvolupant actualment projeccions regionalitzades del clima de la PI per al s. XXI a uns 25 *km* de resolució espacial amb tècniques de regionalització només dinàmiques o estadístiques, respectivament, els resultats de les quals es publicaran durant l'any 2012.

A continuació es resumeixen les principals conclusions que es poden deduir dels resultats obtinguts, centrant-se primer de tot en el conjunt de Catalunya per a després resumir les conclusions principals de cadascuna de les tres zones en què s'ha dividit el país: Pirineu, Interior, Litoral-Prelitoral.

3.1.1 Catalunya

En general s'ha de comentar que els canvis projectats en les diferents variables s'espera que siguin més importants i apreciables a partir de mitjans de segle i sobretot cap a finals del mateix. A més, és per a la segona meitat del s. XXI quan es projecten les majors diferències entre els dos escenaris d'emissions considerats. També com a regla general es pot afirmar que la magnitud dels canvis projectats és directament proporcional a la concentració de GEHs a l'atmosfera. En el present treball s'ha trobat que gairebé tots els canvis projectats considerant l'escenari d'emissions A2 (sever) són de major magnitud que els projectats segons l'escenari B1 (moderat).

També com a resum general s'ha d'explicitar que els canvis a escala anual presenten una major robustesa que els canvis a escala estacional, sobretot pel que fa referència a la precipitació. Per a aquesta variable el cicle anual no està ben resolt pel model, tal i com es va concloure en un estudi anterior de *Barrera-Escoda i Cunillera* (2010b).

³Més informació sobre el projecte espanyol ESCENA (2009-2011) es pot trobar a: <http://www.meteo.unican.es/en/node/72776>

⁴Més informació sobre el projecte espanyol ESTCENA (2008-2011) es pot trobar a: <http://www.meteo.unican.es/en/projects/esTcena>

En detall, es pot concloure el següent per a cadascuna de les quatre variables en superfície que s'han analitzat acuradament en aquest estudi:

- La temperatura de l'aire a 2 m experimentaria un augment al nostre país durant aquest segle que podria arribar a ser superior als 3°C a finals del mateix (amb valors propers als 5°C al Pirineu), en relació amb el període de referència 1971-2000. Aquest augment és estadísticament significatiu amb un nivell de confiança del 95%, projectant-se un increment de +4,5°C en 100 anys per a l'escenari A2 i de +2,4°C en 100 anys per al B1. Els majors augments projectats es donarien a l'estiu i els menors a l'hivern. La freqüència dels mesos molt càlids s'incrementaria de manera significativa durant aquest segle i per als mesos excepcionalment freds la seva probabilitat d'ocurrència es veuria disminuïda de manera notable.
- Pel que fa a la precipitació, els resultats mostren un decreixement general dels valors anuals, els quals podrien arribar a ser superiors al 15% de reducció per a finals de segle (amb valors propers al 25% per al Pirineu). No obstant, només s'ha trobat una disminució estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95% per a l'escenari A2. En aquest cas, es projecta una reducció de la precipitació mitjana anual del 17% en 100 anys. En general, la reducció projectada dels valors anuals de precipitació no es produiria de manera monòtona ni a totes les estacions de l'any, algunes de les quals presenten força incertesa, ja que es donen resultats del tot contraris segons els escenaris d'emissions considerats. Només per a finals del s. XXI coincideixen les projeccions obtingudes entre escenaris pel que fa referència al signe de la seva variació. A grans trets, s'espera un augment de la precipitació a l'hivern i disminucions de la mateixa la resta de l'any, sent més important la disminució a la primavera i a l'estiu. La reducció durant la primavera tindria un gran impacte en els recursos hídrics del país. En canvi, la freqüència dels episodis de precipitació extremadament abundant (més de 100 mm en 24 h) augmentaria de manera apreciable al llarg del s. XXI, així com la probabilitat d'ocurrència dels mesos excepcionalment plujosos. Tot i així, la freqüència dels mesos secs augmentaria de manera molt més important, incrementant-se la freqüència dels períodes secs i les sequeres. Amb la qual cosa es projecta una major variabilitat, tant anual com mensual, de la precipitació durant el present segle. Tots aquests canvis serien més notoris per a l'escenari A2 que no pas per al B1.
- En relació a la humitat relativa de l'aire en superfície s'esperen pocs canvis apreciables per a aquest segle, ja que no s'ha trobat cap tendència estadísticament significativa en la seva evolució projectada. Tampoc es presenten canvis apreciables en la distribució mensual de freqüències.

- Per a la velocitat del vent a 10 m sí que s'observen canvis importants. Caldria destacar la disminució d'aquesta variable durant aquest segle, la qual és estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95% i podria arribar a assolir valors de reducció de l'ordre del 15% per a finals de segle. Es projecta una reducció del 6,3% en 100 anys per a l'escenari A2 i del 4,0% en 100 anys per al B1. Aquestes reduccions presenten un gran impacte en la distribució de freqüències mitjanes mensuals d'aquesta variable, amb una clara reducció dels mesos ventosos i un important augment dels mesos poc ventosos. També es projecten descensos en la velocitat del vent mitjana estacional per a totes les estacions de l'any i per a tots dos escenaris d'emissions, tret de l'hivern, per al qual es projecten lleugers augments segons l'escenari A2. Per tant, amb tot això és d'esperar que el poder de generació elèctrica de nombrosos parcs eòlics del país es pugui veure disminuït durant aquest segle, sobretot cap a finals del mateix.

3.1.2 Pirineu

Aquest zona és l'indret de Catalunya que patiria els canvis de major magnitud a escala anual en les quatre variables analitzades. Tot i així, pel que fa referència a canvis en el rang de la variabilitat d'aquestes variables no ho seria pas. En detall, es té que per a la temperatura de l'aire a 2 m es projecta un augment important estadísticament significatiu amb un nivell de confiança del 95% de la mitjana anual de +4,6°C en 100 anys segons l'escenari A2 i de +2,4°C en 100 anys per al B1, respecte el període de control 1971-2000. L'augment en la temperatura mitjana anual podria arribar a ser superior als 5°C cap a finals de segle i segons l'escenari A2. També és important i significativa la disminució projectada per a la velocitat mitjana del vent a 10 m d'un 5,5% en 100 anys segons l'escenari A2 i d'un 4,5% per al B1. Aquesta disminució podria ser de l'ordre del 15% per a finals de segle i escenari A2. En canvi, la disminució de la precipitació mitjana anual no seria tan marcada, tot i així per a finals de segle i escenari A2 podria ser propera al 40%. Es projecta una disminució del 20,9% en 100 anys per a l'escenari A2 i del 10,8% en 100 anys per al B1, ambdues estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95%. Per una altra part, la humitat relativa de l'aire en superfície no presentaria cap tendència estadísticament significativa durant el s. XXI.

A escala estacional destaca l'augment que es podria produir en la temperatura mitjana de l'estiu, amb variacions superiors als +4,8°C per a finals de segle i segons l'escenari A2 respecte als valors del període 1971-2000. També destaquen les reduccions projectades de la precipitació estiuenca, que serien superiors al 40% al Pirineu Occidental per a finals de segle i segons l'escenari

A2. També és important la disminució projectada per a la primavera en tots dos escenaris, entre un 13-26% de reducció mitjana. Per a la precipitació d'hivern i de tardor existeixen grans incerteses sobre la seva evolució degut a l'oposició de resultats projectats segons l'escenari considerat i el període d'anàlisi.

En relació als valors extrems, el canvi més important seria l'augment en la freqüència dels mesos molt càlids i la reducció dels mesos molt freds. Per a la precipitació es projecta un augment important dels mesos secs, amb la qual cosa caldria esperar un augment considerable dels períodes de sequera. Aquest augment dels mesos secs vindria acompanyat d'un augment dels mesos amb humitats mitjanes per sota del valor mitjà del període de referència 1971-2000. També augmentarien de manera notable els mesos amb velocitat mitjana del vent força baixa.

Tots els canvis projectats per a aquesta zona tindrien un gran impacte en els recursos hídrics de la zona i per extensió a tot el país, donat que les capçaleres dels principals rius catalans es troben al Pirineu. La disminució projectada en la precipitació faria minvar el cabal dels rius i per tant l'aigua emmagatzemada en els embassaments de la zona. També es veuria afectada la coberta de neu a la serralada, ja que junt a una precipitació mitjana anual més baixa, les temperatures hivernals també augmentarien i, per tant, és d'esperar que els episodis de neu es redueixin en general, però sobretot en cotes mitjanes i mitjanes altes.

3.1.3 Interior

Aquesta zona es comportaria durant el s. XXI, tenint en compte els canvis projectats en temperatura a escala anual, com una zona de transició entre el Pirineu i el Litoral-Prelitoral. En detall, es té que per a la temperatura de l'aire a 2 m es projecta un augment important, estadísticament significatiu amb un nivell de confiança del 95%, de la mitjana anual de +4,5°C en 100 anys segons l'escenari A2 i de +2,4°C en 100 anys per al B1, respecte al període de control 1971-2000. L'augment en la temperatura mitjana anual podria arribar a ser superior als 4,5°C cap a finals de segle i segons l'escenari A2. També és important i significativa la disminució projectada per a la velocitat mitjana del vent a 10 m d'un 6,4% en 100 anys segons l'escenari A2 i d'un 4,1% per al B1. Aquesta disminució podria ser de l'ordre del 15% per a finals de segle i escenari A2. En canvi, la disminució de la precipitació mitjana anual no seria tan marcada, encara que per a finals de segle i escenari A2 podria ser propera al 50%. Es projecta una disminució del 14,1% en 100 anys per a l'escenari A2 estadísticament significativa, mentre que per al B1 no es projecta cap tendència estadísticament significativa. La humitat relativa no presentaria cap tendència estadísticament significativa durant el

s. XXI, però sí que presentaria una disminució en el seu rang de variabilitat anual.

A escala estacional seria molt destacable la disminució projectada per a la precipitació de l'estiu, que podria ser superior al 60% per a finals de segle i segons l'escenari A2. També es projecta una disminució important de la precipitació de primavera entre un 11-20% de mitjana. Per una altra part en temperatures destacaria l'augment projectat per a l'estiu, la temperatura mitjana del qual podria arribar a ser superior als 4,5°C per a finals de segle i segons l'escenari A2.

En relació als valors extrems, caldria destacar un augment en la variabilitat interanual tant de la temperatura com de la precipitació i la velocitat del vent. Destacaria un augment important dels mesos molt càlids i una disminució notable dels mesos molt freds. Els mesos secs també patirien un augment considerable junt amb un augment apreciable dels mesos molt plujosos. Els mesos amb velocitat del vent mitjana força baixa o poc ventosos també veurien augmentada la seva probabilitat d'ocurrència durant aquest segle. Per a la precipitació de tardor existeixen gran incerteses sobre la seva evolució degut a l'oposició de resultats projectats segons l'escenari considerat i el període d'anàlisi.

Tots els canvis projectats tindrien un fort impacte en els recursos hídrics de la zona, ja que es projecten disminucions apreciables per a una zona on les precipitacions són ja força escasses. La reducció important que es projecta per a la primavera i per a l'estiu a l'Interior, junt amb l'augment de les temperatures mitjanes estacionals, provocaria unes majors condicions de sequedat i que, per tant, hi augmentés el risc d'incendis forestals. També es veurien greument afectats els cultius de secà, per al correcte desenvolupament dels quals són vitals les precipitacions durant la primavera. Per una altra banda, la reducció en la velocitat del vent a 10 m mitjana anual d'aquesta podria afectar el poder de generació elèctrica en els nombrosos parcs eòlics que hi ha a l'Interior, sobretot cap a finals de segle, el qual podria patir una disminució apreciable.

3.1.4 Litoral i Prelitoral

Aquesta zona és l'indret de Catalunya que patiria els canvis projectats a escala anual més modestos en magnitud, molts dels quals estan en la forquilla del -5 al +5% de variació. Tot i que, aquesta regió és la zona per a la qual es projecta un major canvi en el rang de variabilitat anual i interanual de les quatre variables analitzades, sobretot per a la precipitació i la humitat relativa de l'aire en superfície. Així, es té que per a la temperatura mitjana anual a 2 m es projecta un augment notable estadísticament significatiu amb

un nivell de confiança del 95% de $+4,4^{\circ}\text{C}$ en 100 anys per a l'escenari A2 i de $+2,3^{\circ}\text{C}$ en 100 anys per al B1, respecte al període 1971-2000. Aquest augment podria ser proper als $4,5^{\circ}\text{C}$ per a finals de segle segons l'escenari A2. També s'obté una disminució de la velocitat mitjana anual del vent a 10 m estadísticament significativa del 3% en 100 anys segons l'escenari A2 i del 2,3% en 100 anys segons el B1. En canvi per a la precipitació no es projecta cap tendència estadísticament significativa, tot i que sí un important augment de la seva variabilitat, tant anual com mensual. Un resultat similar s'ha obtingut per a la humitat relativa de l'aire en superfície, tot i que el rang de variabilitat anual es projecta que decreixi d'una manera apreciable, reduint-se gairebé a la meitat.

A escala estacional destacaria l'augment moderat que es projecta per a la precipitació a l'hivern al Litoral-Prelitoral sud que podria arribar a ser superior al 20% per a finals de segle, mentre que a la meitat nord d'aquesta zona pràcticament no es projecten canvis. També destaca la important disminució de la precipitació d'estiu i, sobretot a la meitat sud d'aquesta zona, la qual podria ser superior al 60% per a finals de segle. Al mateix temps, es produiria un augment important de les temperatures que podrien arribar a ser superior als 4°C . Per a la precipitació de primavera, també es projecta una reducció apreciable entre un 11-18%. En canvi, per a la precipitació de tardor existeixen grans incerteses sobre la seva evolució degut a l'oposició de resultats projectats segons l'escenari considerat i el període d'anàlisi.

Considerant els valors extrems, s'ha de comentar que per a aquesta zona es projecten els majors canvis en els mesos excepcionalment plujosos de les tres zones d'estudi. També seria important l'augment dels mesos secs i, en conseqüència, amb un augment apreciable dels períodes de sequera. Els extrems de temperatura també patirien un fort canvi, amb una reducció important dels mesos molt freds i un gran augment de la freqüència dels mesos molt càlids. Els mesos pocs ventosos també veurien incrementada la seva probabilitat d'ocurrència. En la humitat relativa, els descensos en la freqüència dels mesos secs es veuria compensada en part per l'augment dels mesos humits en general.

Amb tots els canvis projectats, s'haurien d'esperar impactes importants en els recursos hídrics de la zona, així com de la generació d'electricitat en els nombrosos parcs eòlics del Prelitoral, degut a la disminució de la velocitat mitjana del vent a 10 m durant aquest segle. Tot i així, aquests impactes serien de major magnitud a la meitat sud de la zona d'estudi que no pas a la meitat nord. L'augment de les temperatures, tant primaverals com estiuenques, junt amb la important reducció projectada de la precipitació d'ambdues estacions farien augmentar la sequedat ambiental i, per tant, hi augmentaria el risc d'incendis forestals a la zona, especialment a la meitat sud del Litoral i Prelitoral.

3.2 Treball futur

Com a treball futur a realitzar, els esforços se centraran en fer una optimització dels resultats presentats a través d'una redefinició dels dominis d'integració, per tal que abastin una zona més àmplia (sobretot el domini de 15 km), per tal de resoldre amb un major detall les zones limítrofes a Catalunya. També fóra necessari l'ús d'altres parametritzacions més complexes dins del model mesoescalar *MM5* emprat, per tal de millorar la reproducció del cicle estacional de la pluja i reduir el biaix fred de la temperatura que produeix el model, els quals treuen robustesa als resultats obtinguts a escala estacional.

Per a tenir una visió més completa de les projeccions, s'haurien de realitzar també simulacions regionalitzades tenint en compte altres escenaris d'emissions de l'IEEE com l'A1B. Aquest és un escenari intermedi d'emissions entre l'A2 i el B1 utilitzats. Per una altra part, s'haurien d'utilitzar altres MCGCs que també han mostrat un bon encert en la reproducció de les característiques climàtiques a l'Atlàntic Nord i Europa (*Van Ulden i Van Oldenborgh*, 2006) com el CCC63 (*Flato*, 2005), el MIROChi (*Hasumi i Emori*, 2004), el HadGEM (*Johns et al.*, 2005), el CCC47 (*Kim et al.*, 2003) i el GFDL2.1 (*Delworth et al.*, 2006) en ordre decreixent de qualitat, respectivament. Finalment, junt amb les consideracions exposades anteriorment, s'haurien d'utilitzar altres models d'escala limitada a part del model *MM5*, com per exemple el *WRF* (*Skamarock et al.*, 2005). El *WRF* representa, en gran mesura, la continuació del model *MM5*, el desenvolupament del qual està ja tancat del tot. Actualment, el *WRF* està constantment en desenvolupament i s'hi estan esmerçant molts esforços en la seva millora, incorporant-se un gran ventall de noves parametritzacions físiques així com la millora de les parametritzacions que ja són presents a l'*MM5*. Des de fa uns dos anys i mig, el model *WRF* s'està utilitzant com a model mesoescalar de pronòstic a l'SMC junt amb el model *MM5*. S'ha de comentar que el model *WRF*, en força aspectes, millora d'una manera apreciable els resultats del model *MM5* en la verificació de la predicció diària operativa de l'SMC.

La combinació de totes aquestes possibilitats oferiria un ampli ventall de resultats a partir dels quals es podria analitzar amb detall la robustesa de les projeccions obtingudes, així com l'avaluació de les seves incerteses, punt clau a l'hora d'avaluar i quantificar els impactes socioeconòmics a escala regional que tindrà el Canvi Climàtic al nostre país.

Com a treball a molt més llarg termini, hi hauria el d'utilitzar les sortides de les simulacions globals i regionals que s'estan desenvolupant per al *Cinquè Informe d'Assessorament de l'IPCC* (IPCC-AR5). Aquestes simulacions s'estan realitzant a unes resolucions espacials més elevades que les desen-

volupades per a l'IPCC-AR4. L'IPCC-AR5 es preveu que estigui publicat entre finals de l'any 2013 i principis del 2014.

4 Agraïments

Volem agrair l'ajuda i els consells donats pels membres de l'Àrea de Recerca Aplicada i Modelització i de l'Àrea de Climatologia de l'SMC, així com les col·laboracions del Dr. Vicent Altava i Ortiz de la Universitat de Barcelona i del Dr. Aitor Atencia Ruiz de Gopegui de la *McGill University* de Montréal (Canadà), tant en l'elaboració d'aquest informe com en la feina desenvolupada. També volem agrair al Dr. Marc Prohom de l'Àrea de Climatologia de l'SMC per facilitar-nos les dades de temperatura homogeneïtzada i precipitació de diferents punts de Catalunya per al període 1971-2010 i a l'Aleix Serra de la mateixa àrea de l'SMC per facilitar-nos les dades d'humitat relativa i velocitat del vent del període 1989-2010.

5 Apèndix

En aquest apèndix es troba una breu explicació sobre el mètode estadístic emprat per a valorar la significativitat d'una tendència lineal a través d'una tècnica de Monte Carlo, així com el llistat de les abreviatures utilitzades.

5.1 Anàlisi de tendències a partir d'una tècnica Monte Carlo

El càlcul de les possibles tendències d'una sèrie de dades temporals és sempre un tema molt complex quan es vol portar a terme. Atès que no se sap per endavant quin és el patró de canvi o quina és la naturalesa del possible canvi, s'hi aconsella l'ús de múltiples tests per a avaluar les tendències temporals (*Kundzewicz i Robson, 2000*). Tot i que amb aquesta solució no s'acaba amb tots els problemes, ja que l'ús dels tests més utilitzats sovint (per exemple, els tests de Mann-Kendall o Spearman) duu a resultats oposats, en els quals és impossible destriar si existeix una tendència clara o no, sobretot en el cas de l'anàlisi de sèries de precipitació (*Llasat i Quintas, 2004*).

Així doncs, en aquest apartat es presenta un mètode basat en una tècnica Monte Carlo, de fàcil aplicació i comprensió. Aquest mètode s'utilitza per a avaluar la possible existència d'una tendència lineal en una sèrie temporal de dades, i a partir d'una tècnica de Monte Carlo (*Livezey i Chen, 1983; Kunkel et al., 1999; Liebmann et al., 2004*) s'analitza la seva significació estadística. Aquesta tècnica consisteix en els següents passos:

- Càlcul de la tendència lineal de la sèrie original a través d'un ajustament lineal de les dades (mínims quadrats o regressió lineal).
- Generació de 10.000 permutacions aleatòries de la sèrie original.
- Càlcul de les tendències lineals per a cadascuna de les 10.000 sèries generades aleatòriament.
- Càlcul dels percentils 97,5 i 2,5 per a les 10.000 tendències lineals calculades⁵.
- Si la primera tendència lineal calculada (la tendència lineal de la sèrie original) és més gran que el percentil 97,5 per a valors positius o més petita que el percentil 2,5 per a valors negatius, llavors la tendència lineal trobada per a la sèrie original és estadísticament significativa amb un nivell de confiança del 95%. En cas contrari, la sèrie original no té una tendència lineal estadísticament significativa.

La tècnica de Monte Carlo és de fàcil aplicació a qualsevol sèrie temporal de dades, com és el cas de les sèries de variables meteorològiques o climàtiques. A més a més, és un mètode d'una gran robustesa estadística i d'interpretació senzilla, tal i com s'ha comentat.

⁵si es volgués tenir un nivell de confiança del 90% s'haurien de calcular els percentils 95 i 5. Per a tenir un nivell de confiança del 99%, s'haurien de calcular els percentils 99,5 i 0,5.

5.2 Llistat d'abreviatures i acrònims

ACA - Agència Catalana de l'Aigua

AEMET - Agència Estatal de Meteorologia

A.M. - Associació Meteorològica

BAIC - Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics del Servei Meteorològic de Catalunya.

DGF - Hivern, mesos de Desembre, Gener i Febrer

EMA - Estació Meteorològica Automàtica

evol. - evolució

FDP - Funció Densitat de Probabilitat

Fig. - Figura

GECCC - Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya

GEH - Gasos amb Efecte d'Hivernacle

hr. - humitat relativa

HRMA - Humitat Relativa Mitjana Anual

HRME - Humitat Relativa Mitjana Estacional

hum. - humitat

ICC - Institut Cartogràfic de Catalunya

IEEE - Informe Especial sobre Escenaris d'Emissions

IPCC - *International Panel on Climate Change*, Grup Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic

IPCC-AR4 - *IPCC Assessment Report 4*, Quart Informe d'Assessorament de l'IPCC

IPCC-AR5 - *IPCC Assessment Report 5*, Cinquè Informe d'Assessorament de l'IPCC

JJA - Estiu, mesos de Juny, Juliol i Agost

MAM - Primavera, mesos de Març, Abril i Maig

màx. - màxim

MCGC - Model de Circulació General Climàtic

mín. - mínim

mit. - mitjana

nor. - normalitzat/da

OBS - Observacions

Obs. - Observatori

Occ. - Occidental

p - probabilitat

P5 - Percentil 5

P95 - Percentil 95

PI - Península Ibèrica

PMA - Precipitació Mitjana Anual

PME - Precipitació Mitjana Estacional

precip. - precipitació

rel. - relativa

s. - segle

SICC - Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya

SMC - Servei Meteorològic de Catalunya

SON - Tardor, mesos de Setembre, Octubre i Novembre

sup. - superfície

TAR - *Third Assessment Report of IPCC*, Tercer Informe d'Assessorament de l'IPCC

TMA - Temperatura Mitjana Anual

TME - Temperatura Mitjana Estacional

UPC - Universitat Politècnica de Catalunya

vel. - velocitat

vv. - velocitat del vent

VVMA - Velocitat del Vent Mitjana Anual

VVME - Velocitat del Vent Mitjana Estacional

WDCC - *World Data Center for Climate*, Centre Mundial de Dades del Clima

z - variable normalitzada o estandarditzada

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*, 296 pp., Tesi Doctoral, Publicació Interna, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Barrera-Escoda, A. (2008), *Evolución de los extremos hídricos en Catalunya en los últimos 500 años y su modelización regional*, 319 pp., Tesi Doctoral, Publicació Interna, Departament d'Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, <http://www.zucaina.net/Publicaciones/Barrera-Escoda-TESIS-2008.pdf>.
- Barrera-Escoda, A., i J. Cunillera (2010a), Primers resultats sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per a Catalunya durant el segle XXI, *Informe tècnic*, 21 pp., Servei Meteorològic de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya, Barcelona, http://www.meteo.cat/mediamb_xemec/servmet/pagines/projeccions/informe_escenaris_SMC_JUN2010.pdf.
- Barrera-Escoda, A., i J. Cunillera (2010b), Study of the precipitation evolution in Catalonia using a mesoscale model (1971-2000), *Advances in Geosciences*, 26, pp. 1–6, doi:10.5194/adgeo-26-1-2010, <http://www.adv-geosci.net/26/1/2010/adgeo-26-1-2010.pdf>.
- Brunet, M., E. Aguilar, O. Saladié, J. Sigró, i D. López (2001), The variations and trends of the surface air temperature in the northeastern of Spain from middle nineteenth century onwards, A *Detecting and modelling regional climate change*, editat per M. Brunet i D. López, pp. 81–93, Springer, Berlin-Hedeilberg-New York.
- Brunet, M., M. J. Casado, M. de Castro, P. Galán, J. A. López, J. M. Martín, A. Pastor, E. Petisco, P. Ramos, J. Ribalaygua, E. Rodríguez, I. Sanz, i L. Torres (2009), Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España, *Informe tècnic*, 165 pp., Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, http://www.aemet.es/documentos/es/elclima/cambio_climat/escenarios/Informe_Escenarios.pdf.
- Calbó, J., A. Sánchez-Lorenzo, J. Cunillera, i A. Barrera-Escoda (2010), Projeccions i Escenaris futurs, A *2n Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya*, editat per J. E. Llebot, pp. 183–239, Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya. Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, http://www15.gencat.cat/cads/AppPHP/index.php?option=com_content&task=view&id=730&Itemid=158.

- Delworth, T. L., A. J. Broccoli, A. Rosati, R. J. Stouffer, V. Balaji, J. A. Besley, W. F. Cooke, K. W. Dixon, J. Dunne, K. A. Dunne, J. W. Durachta, K. L. Findell, P. Ginoux, A. Gnanadesikan, C. T. Gordon, S. M. Griffies, R. Gudgel, M. J. Harrison, I. M. Held, R. S. Hemler, L. W. Horowitz, S. A. Klein, T. R. Knutson, P. J. Kushner, A. R. Langenhorst, H.-C. Lee, S.-J. Lin, J. Lu, S. L. Malyshev, P. C. D. Milly, V. Ramaswamy, J. Russell, M. D. Schwarzkopf, E. Shevliakova, J. J. Sirutis, M. J. Spelman, W. F. Stern, M. Winton, A. T. Wittenberg, B. Wyman, F. Zeng, i R. Zhang (2006), GFDL's CM2 global coupled climate models. Part I: Formulation and simulation characteristics, *Journal of Climate*, 19(5), pp. 643–674, <http://journals.ametsoc.org/doi/full/10.1175/JCLI3629.1>.
- Dudhia, J., D. Gill, K. Manning, W. Wang, i C. Bruyere (2005), *PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and Users' Guide (MM5 Modeling System Version 3)*, Mesoscale and Microscale Meteorology Division, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA, <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes.html>.
- Flato, G. M. (2005), The third generation coupled global climate model (CGCM3), <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/models/cgcm3.shtml>.
- Gázquez Picón, A., M. Perpinyà i Romeu, M. C. Llasat i Botija, i J. C. Peña Rabadán (2004), Episodios pluviométricos superiores a los 200 mm en 24 horas en Catalunya. Catalogación y configuraciones meteorológicas asociadas, A *El Clima, entre el Mar y la Montaña. IV Congreso AEC*, editat per J. C. García Codron, C. Diego Liao, P. Fernández de Arróyabe Hernández, C. Garmendia Pedraja, i D. Rasilla Álvarez, pp. 303–312, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie A, nº 4, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, Santander, http://www.aeclim.org/images/stories/articulos_pdf/pag_303_312.pdf.
- 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., S. Herrera, D. San-Martín, C. Sordo, J. J. Rodríguez, M. Frochoso, R. Ancell, J. Fernández, A. S. Cofiño, M. R. Pons, i M. A. Rodríguez (2010), Escenarios regionales probabilísticos de cambio climático en Cantabria: Termopluiometría, *Informe tècnic*, 169 pp., Universidad de Cantabria y Consejería de Medio Ambiente, Gobierno de Cantabria, Santander, http://www.meteo.unican.es/files/projects/escenariosCantabria/ClimaCantabria_Informe.pdf.
- Hasumi, H., i S. Emori (2004), K-1 coupled GCM (MIROC) description, *K-1 Technical Report No. 1*, 34 pp., Center for Climate System Research, Uni-

- versity of Tokyo, National Institute for Environmental Studies and Frontier Research Center for Global Change, <http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/kyosei/hasumi/MIROC/tech-repo.pdf>.
- ICC (2000), *Butlletí nivològic d'allaus hivern 1995/96*, 125 pp., Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, Barcelona, http://www.igc.cat/web/files/butlleti_allaus_9596.pdf.
- IPCC (2001), *Climate Change 2001: The scientific basis*, 881 pp., Cambridge University Press, UK and USA, http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/.
- IPCC (2007), *Climate Change 2007: The physical science basis*, 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.
- Johns, T., C. Durman, H. Banks, M. Roberts, A. McLaren, J. Ridley, C. Senior, K. Williams, A. Jones, A. Keen, G. Rickard, S. Cusack, M. Joshi, M. Ringer, B. Dong, H. Spencer, R. Hill, J. Gregory, A. Paradaens, J. Lowe, A. Bodas-Salcedo, S. Stark, i Y. Searl (2005), HadGEM1–Model description and analysis of preliminary experiments for the IPCC Fourth Assessment Report, *Hadley Centre Technical Note 55*, 75 pp., Hadley Centre for Climate, UK Meteorological Office, http://www.metoffice.gov.uk/publications/HCTN/HCTN_55.pdf.
- Kim, S. J., G. Flato, i G. Boer (2003), A coupled climate model simulation of the Last Glacial Maximum, Part 2: approach to equilibrium, *Climate Dynamics*, 20(6), pp. 635–661.
- Kundzewicz, Z. W., i A. Robson (2000), Detecting trends and other changes in hydrological data, *WCDMP-45 WMO/TD-No. 1013*, 158 pp., World Climate Programme–Water, World Meteorological Organisation, Ginebra, Suïssa.
- Kunkel, K. E., K. Andsager, i D. R. Easterling (1999), Long-term trends in extreme precipitation events over the conterminous United States and Canada, *Journal of Climate*, 12(8), pp. 2515–2527, <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%281999%29012%3C2515%3ALTITIEP%3E2.0.CO%3B2>.
- Liebmann, B., C. S. Vera, L. M. V. Carvalho, I. A. Camilloni, M. P. Hoerling, D. Allured, V. R. Barros, J. Báez, i M. Bidegain (2004), An observed trend in central South American precipitation, *Journal of Climate*, 17(22), pp. 4357–4367, doi:10.1175/3205.1, <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/3205.1>.

- Livezey, R. E., i W. Y. Chen (1983), Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques, *Monthly Weather Review*, 111(1), pp. 46–59, <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0493%281983%29111%3C0046%3ASFS%3E2.0.CO%3B2>.
- Llasat, M. C., i L. Quintas (2004), Stationarity of Monthly Rainfall Series, Since the Middle of the XIXth Century. Application to the Case of Peninsular Spain, *Natural hazards*, 31(3), pp. 613–622, <http://www.springerlink.com/content/t544852881t4ww74/>.
- 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, M. (2002), Las lluvias máximas diarias, A *Riesgos naturales*, editat per F. Ayala-Carcedo i J. Olcina-Cantos, pp. 913–920, Editorial Ariel, Barcelona.
- Martín-Vide, M., i M. C. Llasat (2000), Las precipitaciones torrenciales en Cataluña, *Serie Geográfica*, 9, pp. 17–26, <http://hdl.handle.net/10017/1100>.
- Montávez, J. P. (2008), Proyecciones regionales de cambio climático con modelos climáticos regionales: Región de Murcia, A *Jornadas de colaboración internacional en estudios de cambio climático y su interacción con los recursos hídricos regionales, 25-28 de noviembre*, Universidad Politécnica de Cartagena, Murcia, http://www.upct.es/~agua/ABSTRACT_PONENCIAS/PRESENTACION_JMONTAVEZ.pdf.
- 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>.
- 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, Alemania, http://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/publikationen/Reports/max_scirep_349.pdf.

- Sairouni, A., J. Moré, J. Toda, J. R. Miró, M. Aran, i J. Cunille-
ra (2007), *Verificació dels models de mesoescala operatius al Servei
Meteorològic de Catalunya*, 78 pp., Notes d'Estudi del Servei Mete-
orològic de Catalunya, núm. 71. Generalitat de Catalunya, Departament
de Medi Ambient i Habitatge, [http://www20.gencat.cat/docs/
meteoocat/Continguts/El%20Servei%20Meteorologic/Publicacions/
Publicacions%20tecnicas/documentos/verificacio_model.pdf](http://www20.gencat.cat/docs/meteocat/Continguts/El%20Servei%20Meteorologic/Publicacions/Publicacions%20tecnicas/documentos/verificacio_model.pdf).
- Saladié, O. (2010), *El clima de l'Alt Camp. 20è Aniversari del Centre Mete-
orològic de l'Alt Camp*, 91 pp., Centre Meteorològic de l'Alt Camp, Con-
sell Comarcal de l'Alt Camp, Valls., [http://metacamp.net/demo/app/
webroot/climaaltcamp/elclimaaltcamp2part.pdf](http://metacamp.net/demo/app/webroot/climaaltcamp/elclimaaltcamp2part.pdf).
- 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 At-
mospheric Research, Boulder, Colorado, EUA., [http://www.mmm.ucar.
edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf](http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf).
- SMC (1997-2010), *Anuaris de dades meteorològiques*, Servei Meteorològic
de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de
Catalunya, Barcelona, <http://www.meteo.cat/>.
- SMC (2011), Butlletí anual d'indicadors climàtics 2010, *Baic 2010*, Servei
Meteorològic de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat, Ge-
neralitat de Catalunya, <http://www.meteo.cat/>.
- Van Ulden, A. P., i G. J. Van Oldenborgh (2006), Large-scale atmosphe-
ric circulation biases and changes in global climate model simulations
and their importance for climate change in Central Europe, *Atmosphe-
ric Chemistry and Physics*, 6, pp. 863–881, doi:10.5194/acp-6-863-2006,
<http://www.atmos-chem-phys.net/6/863/2006/>.