

4 Evolució recent de la temperatura, la precipitació i altres variables climàtiques a Catalunya

Autors

Javier Martín-Vide

Marc Prohom Duran

Montserrat Busto

Col·laboradors

Josep Pascual Massaguer

Jordi Camins

Javier Martín-Vide és llicenciat en ciències matemàtiques i doctor en geografia i història per la Universitat de Barcelona (UB). És catedràtic de geografia física a la mateixa universitat, acadèmic de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i acadèmic corresponent de la Reial Acadèmia de Ciències d'Ultramar de Bèlgica. Va ser el primer president de l'Associació Espanyola de Climatologia (1998-2004), president de l'Associació de Geògrafs Espanyols (2009-2013) i president del Consell Assessor del Servei Meteorològic de Catalunya (2002-2011). Actualment és coordinador del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i de l'Observatori Metropolità del Canvi Climàtic (METROBS), director de l'Institut de Recerca de l'Aigua i del Grup de Climatologia de la UB, i codirector del màster de climatologia aplicada i mitjans de comunicació. És autor de vint-i-cinc llibres i uns tres-cents articles i capítols de llibre, i ha estat revisor del tercer, el quart i el cinquè *Informe d'avaluació* del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC).

Marc Prohom Duran és llicenciat i doctor en geografia per la Universitat de Barcelona (UB), i des del 2013 és cap de l'Àrea de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya. Les seves línies principals d'investigació se centren en el monitoratge de la variabilitat i el canvi climàtic a Catalunya, i en la creació de productes i serveis climàtics per a em-

preses i particulars. Coordina i participa en projectes i iniciatives internes i internacionals centrades en el rescat de sèries climàtiques, i en l'anàlisi de la qualitat i l'homogeneïtat. També és membre del Grup de Climatologia de la UB i col·laborador de la secció de meteorologia de l'Observatori Fabra de Barcelona.

Montserrat Busto és llicenciada en física per la Universitat de Barcelona, màster en climatologia aplicada i tècnica en medi ambient. Ha treballat a diferents empreses relacionades amb el medi ambient i com a consultora ambiental *freelance*. Des del 1999 treballa al Servei Meteorològic de Catalunya, en el qual forma part de l'Equip de Canvi Climàtic. La seva tasca se centra en l'estudi de l'evolució dels indicadors climàtics i en el desenvolupament de nous projectes. Des del 2002 col·labora amb la revista *La Terra*, en la secció «Apunts de meteorologia».

Josep Pascual Massaguer va estudiar enginyeria tècnica agrícola a l'Escola d'Agricultura de Barcelona. A final del 1968 va començar a fer observacions meteorològiques a l'Estartit, primer pluviomètriques, després també termomètriques i, amb el temps, de tota mena de variables, per a l'Institut Nacional de Meteorologia (INM), avui Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). A començament dels anys setanta, l'Institut d'Investigacions Pesqueres (IIP), avui Institut de Ciències del Mar (ICM), li va proporcionar termò-

metres de gran resolució per a l'observació de la temperatura del mar. A mitjan anys noranta, gràcies a una subvenció de la Generalitat de Catalunya, va adquirir una sonda electrònica CTD. Actualment, fa observacions, entre un i dos cops per setmana, de la temperatura del mar entre la superfície i els 80 metres de fondària, a una milla a llevant de les illes Medes, amb el suport del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter.

Jordi Camins Just és observador glaciòleg, dedicat des del 1982 al seguiment de les glaceres,

especialment del Pirineu. Col·labora amb la Universitat de Saragossa, amb altres universitats europees i amb el Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS). És membre del Grup d'Experts en Canvi Climàtic de Catalunya (GECCC) i va ser guardonat amb el Premi Medi Ambient 2012 de la Generalitat de Catalunya. És autor de publicacions de divulgació científica amb utilització de la fotografia comparativa, com ara *El canvi climàtic a les glaceres dels Pirineus*, *La glacera d'Aneto*, *efectes del canvi climàtic en imatges* i *Los cien últimos glaciares del sur de Europa*.

Sumari

Síntesi	96
4.1. Introducció	97
4.2. El context climàtic de Catalunya: la complexitat geogràfica i la varietat climàtica del país	97
4.3. Canvis en la temperatura.....	98
4.3.1. Evolució recent (des de mitjan segle XIX fins al present)	98
4.3.2. Evolució secular	100
4.4. Canvis en la precipitació.....	101
4.4.1. Evolució recent (des de mitjan segle XX fins al present).....	102
4.4.2. Evolució secular	103
4.5. Canvis en altres variables atmosfèriques	104
4.6. Canvis en els extrems climàtics	104
4.6.1. Els extrems de la temperatura i la precipitació.....	105
4.7. Canvis en la temperatura i el nivell de les aigües costaneres.....	105
4.8. Les glaceres i la neu al Pirineu.....	107
4.9. Conclusions	109
4.10. Recomanacions	110
Referències bibliogràfiques	110

Síntesi

En aquest capítol s'analitza l'evolució de la temperatura mitjana, de les temperatures mitjanes de les màximes i de les mínimes, i de la precipitació, a partir de sèries tèrmiques, prèviament homogeneïtzades, de vint-i-quatre punts d'observació, i pluviomètriques, també homogeneïtzades, de seixanta-vuit observatoris, del període 1950-2014 i a escala anual i estacional. S'hi ha afegit la informació i l'anàlisi d'altres variables climàtiques afins (com ara l'evaporació, la insolació, el nombre de dies de neu i de tempesta, els extrems climàtics, la temperatura de les aigües marines, l'estat de les masses de gel, etc.). A més, els observatoris de l'Ebre i Fabra i la sèrie plurisecular de Barcelona hi han aportat més cobertura temporal, cosa que permet una anàlisi amb perspectiva secular. El resultat més clar és l'increment de la temperatura mitjana anual de l'aire de +0,23 °C/decenni, per al conjunt de Catalunya i per al període 1950-2014, amb un ritme d'augment de la mitjana de la temperatura màxima anual de +0,28 °C/decenni, superior al corresponent a la mínima, de +0,17 °C/decenni.

Estacionalment, l'increment de la temperatura mitjana té una tendència més marcada, de +0,33 °C/decenni, a l'estiu. En contrast, la precipitació mitjana anual no mostra cap variació estadísticament significativa al conjunt del país. D'altra banda, en coherència amb l'augment de la temperatura, s'ha produït un increment estadísticament significatiu dels dies que tèrmicament es poden considerar d'estiu, les nits i els dies càlids, així com de la temperatura de l'aigua del mar a la Costa Brava, mentre que disminueixen amb significació estadística els dies i nits freds, i els dies de neu. Les recomanacions més importants són el manteniment d'una xarxa d'observació meteorològica amb una densitat espacial adequada, per tal de disposar de sèries climàtiques homogènies i de qualitat, i la millora en la difusió i la comunicació de la informació sobre l'evolució del clima a la població en general i als sectors econòmics més sensibles.

Paraules clau

extrem climàtic, glaceres, precipitació, temperatura de l'aire, temperatura i nivell del mar, tendència

4.1. Introducció

Les variacions recents i històriques de les variables climàtiques, sobretot de la temperatura i la precipitació, detectades a partir de l'anàlisi de les sèries climàtiques homogènies corresponents, permeten avaluar de manera objectiva l'evolució del clima a Catalunya en els darrers decennis i, fins i tot, per al cas de Barcelona i alguna altra sèrie, en períodes seculars. En aquest capítol s'actualitza l'increment de temperatura observat respecte als valors apareguts al SICCC (2010), així com el comportament de la precipitació. D'altra banda, s'amplia la informació i l'anàlisi a altres variables climàtiques afins, com ara l'evaporació, la humitat relativa de l'aire, la nuvolositat, la insolació, el nombre de dies de neu, el nombre de dies de tempesta, els extrems climàtics (dies i nits càlids i freds, intensitat de la pluja i durada dels períodes secs), la temperatura de les aigües marines i l'estat de les masses de gel. D'aquesta manera, s'obté una imatge actualitzada i més completa de l'evolució recent del clima a casa nostra, que, d'altra banda, és semblant en molts aspectes a la del conjunt de la península Ibèrica i la conca de la Mediterrània occidental.

El capítol es fonamenta en un compendi d'estudis recents i anàlisis pròpies, que han estat possibles a partir de les sèries tèrmiques, prèviament homogeneïtzades, de vint-i-quatre punts d'observació, i de les pluviomètriques, també homogeneïtzades, de seixanta-vuit observatoris, del període 1950-2014. A més, els observatoris de l'Ebre i Fabra i la sèrie plurisecular de Barcelona han aportat altres variables i una cobertura temporal més gran, que permet una anàlisi secular.

4.2. El context climàtic de Catalunya: la complexitat geogràfica i la varietat climàtica del país

Els costats del triangle, de 32.000 km² aproximadament, que, de manera esquemàtica, dibuixen els límits de Catalunya marquen alguns dels trets geogràfics, i específicament climàtics, del país. D'una banda, la hipotenusa marítima el vincula a la gran conca de la Mediterrània, font d'humitat i de calor latent, atesa la condició de mar quasi tancada, càlida en la segona meitat de l'any. D'altra banda, el límit administratiu del costat de ponent, el més mal definit, integra perfectament

el triangle esmentat en el conjunt ampli i elevat de les terres de la península Ibèrica, però a sotavent de les influències atlàntiques. Finalment, el costat septentrional, amb els Pirineus, a més d'introduir el factor de l'altitud, construeix una mena de frontera climàtica entre dos grans conjunts climàtics, el clima mediterrani, al sud, i el temperat oceànic de latituds mitjanes, al nord. Si s'amplia l'enfocament de l'escala d'anàlisi, Catalunya és un territori amb una posició occidental en el marc euroasiàtic i una situació latitudinal mitjana (entre 40° 31' i 42° 51' N), a cavall entre dues influències atmosfèriques generals, la dels anticiclons subtropicals, al sud, i la dels vents dominants del sud-oest i l'oest, al nord. Per això, per la posició occidental i la latitud mitjana-subtropical, Catalunya és predominantment mediterrània, tret de l'extrem nord-occidental, la Vall d'Aran, l'única comarca sense filiació mediterrània. Aquest caràcter gairebé comú, mediterrani, amaga, no obstant això, una gran varietat climàtica i alguna singularitat notable. D'una banda, els més de 3.000 metres de rang altitudinal de Catalunya donen lloc a un ampli ventall tèrmic, des de 17 °C al delta de l'Ebre fins a valors un xic negatius als cims pirinencs, com a mitjana anual, i a illots plujosos i ombres pluviomètriques, a banda dels contrastos entre solells i obagues, i entre sobrevents i sotavents. D'altra banda, el relleu d'una certa complexitat que conformen les unitats del sistema Litoral, amb l'àmbit costaner, la serralada Litoral, la depressió Prelitoral i la serralada Prelitoral; la depressió Central, i el Prepirineu i el Pirineu afegeix una varietat climàtica notable, i sovint meteorològica, en distàncies curtes. Però, a més a més, cal tenir en compte que a Catalunya, igual que a la resta de la península Ibèrica, cal distingir entre l'element de la mediterraneïtat climàtica, més clara com més cap al sud, i l'element de la mediterraneïtat geogràfica, visible en apropar-se al litoral del Mare Nostrum. Pluviomètricament, la primera augmenta la variabilitat interanual, és a dir, el contrast entre els anys secs i els anys moderadament plujosos, i allarga els períodes sense pluja; la segona és palesa en l'alta concentració percentual de la pluja en pocs dies molt plujosos (Martín-Vide, 2011a). De fet, el litoral català, juntament amb el valencià i la costa mediterrània francesa, és l'àmbit europeu amb un índex de concentració diària de la precipitació més elevat (Cortesi *et al.*, 2012). És precisament el

factor de la Mediterrània —el fet de tenir aquesta mar a llevant més propera que l'oceà a ponent— el que fa que la tardor sigui l'estació més plujosa a la franja litoral i prelitoral catalana, mentre que el règim pluviomètric estacional típic dels climes mediterranis té l'hivern com l'estació més plujosa i l'estiu com la més seca. De fet, a Catalunya hi ha representats ni més ni menys que vuit règims pluviomètrics estacionals dels vint-i-quatre possibles, fet realment singular en un espai d'aquesta extensió. Fins i tot a la Vall d'Aran el règim es pot qualificar d'equilibrat, atès que la precipitació es distribueix equilibradament entre les quatre estacions.

A conseqüència de tot això, Catalunya té un gran ventall de tipus i varietats de climes mediterranis, a part del clima oceànic de la comarca pirinenca esmentada. Així, utilitzant una classificació geogràfica dels climes, es pot parlar de climes mediterranis de litoral i prelitoral (al sistema Litoral), amb matisos de continentalitat (a la depressió Central) i de muntanya (al Pirineu i Prepirineu) (PICCC, 2005; SICCC, 2010; Martín-Vide, 2011b). Aquesta riquesa i complexitat climàtica actual comporta una dificultat afegida a l'hora d'establir tendències i projeccions climàtiques detallades espacialment per a Catalunya.

4.3. Canvis en la temperatura

A escala global i europea, les evidències d'un increment marcat de la temperatura mitjana de l'aire des de mitjan segle XIX són del tot incontestables. L'àmbit mediterrani, i en aquest context Catalunya, no queda exclòs d'aquesta tendència, i les observacions procedents d'observatoris meteorològics així ho testimonien.

Seguidament, es mostren els principals trets d'aquest escalfament a partir d'una doble aproximació: l'evolució recent (des de 1950) i per al conjunt del país, i l'evolució secular (des de 1780) per a la sèrie de temperatura de Barcelona i dels observatoris de l'Ebre (des de 1905) i Fabra (des de 1914).

4.3.1. Evolució recent (des de mitjan segle XIX fins al present)

Des de mitjan segle XIX, el nombre i la cobertura espacial i temporal de les sèries climàtiques cata-

lanes es poden considerar òptimes per a copsar de manera adequada la tendència de la temperatura de l'aire. El *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC), que publica el Servei Meteorològic de Catalunya, és una bona radiografia d'aquesta evolució, ja que incorpora els criteris més recents d'anàlisi de qualitat i d'homogeneïtat.

Segons el BAIC corresponent a l'any 2014 (BAIC 2014), la variació de la temperatura mitjana de l'aire a Catalunya per al període 1950-2014 mostra un ritme d'increment de $+0,23$ [$+0,16/+0,30$] °C/decenni, un valor estadísticament significatiu¹ (figura 4.1). Aquesta xifra és lleugerament superior a la que es mostrava en el SICCC (2010), que analitzava el període 1950-2008 i que fixava l'increment dins un interval que variava entre $+0,18$ i $+0,23$ °C/decenni. Pel que fa a la comparativa amb el que succeeix a escala global, diverses fonts fixen l'increment entre $+0,18$ i $+0,20$ °C/decenni, per al període 1951-2012 (IPCC, 2013, p. 187).

Tot i aquest increment multidecennal, es detecta una gran variabilitat interanual i interdecennal en el ritme d'escalfament, amb diversos períodes que mostren un debilitament o, fins i tot, una tendència oposada. El període 1950-1970 presenta una tendència negativa de $-0,15$ [$-0,52/+0,22$] °C/decenni —sense significació estadística—, mentre que els períodes 1971-1990 i 1991-2014 ofereixen una resposta respecte a un escalfament, més marcat en el primer cas: $+0,78$ [$+0,51/+1,06$] °C/decenni i $+0,34$ [$+0,04/+0,64$] °C/decenni, respectivament, ambdues amb significació estadística. Quatre dels cinc anys més càlids des del 1950 a Catalunya s'han concentrat dins el període 2000-2014, i l'any 2006 va ser el més càlid, amb una anomalia respecte a la mitjana climàtica del període 1961-1990 de $+1,67$ °C (taula 4.1).

Estacionalment, l'estiu és l'època de l'any que registra un increment més marcat de la temperatura mitjana per al període 1950-2014, amb

1. En aquest capítol la incertesa es quantifica utilitzant intervals d'incertesa del 90 %. L'interval d'incertesa aportat entre claudàtors indica que aquell marge té una probabilitat del 90 % de cobrir el valor que es mostra. Al mateix temps, quan s'indica que una tendència és estadísticament significativa, ho és segons el test de Mann-Kendall i per a un nivell de confiança del 95 %.

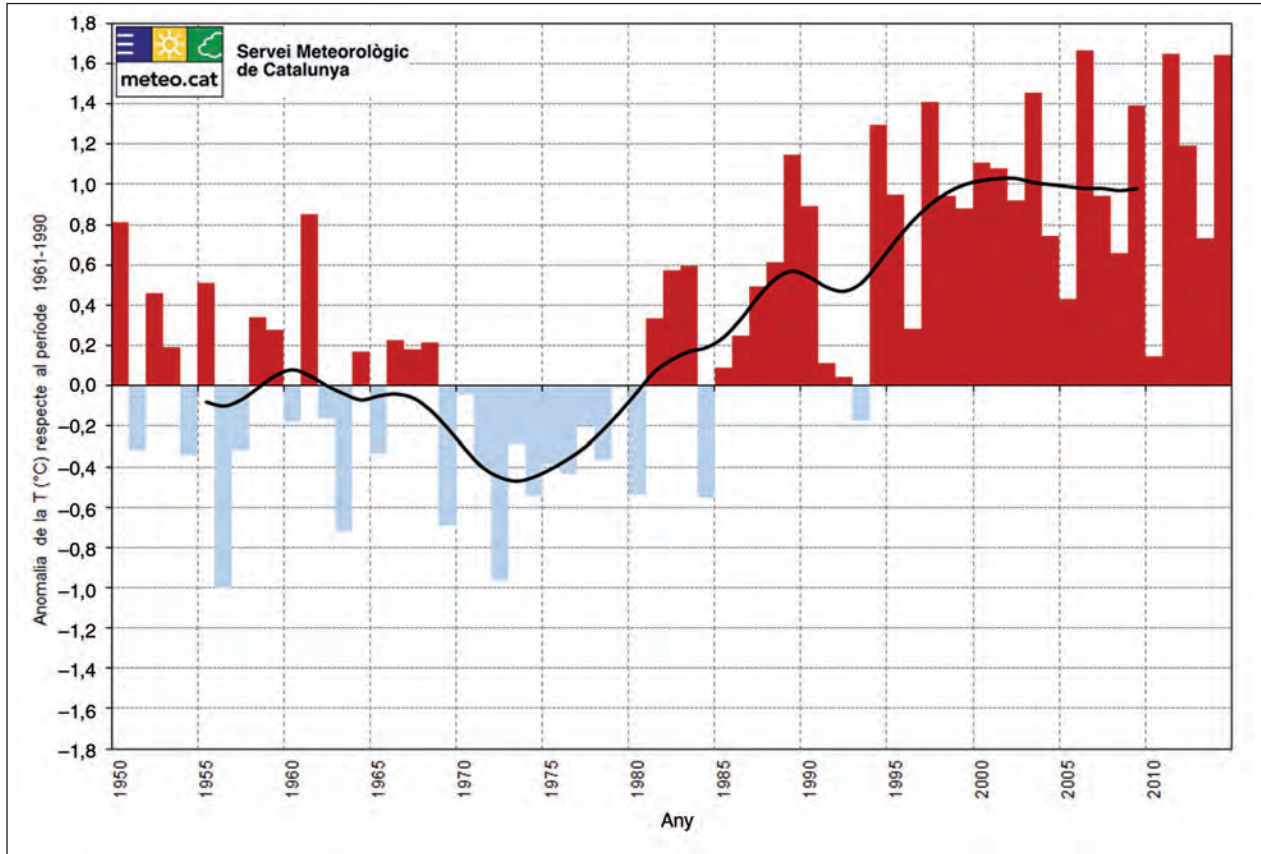


FIGURA 4.1. Evolució de la temperatura mitjana anual a Catalunya (1950-2014) expressada com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990. La corba correspon a un filtre gaussià de tretze membres.

Font: BAIC 2014 (2015).

+0,33 [+0,22/+0,44] °C/decenni, seguit a distància per la primavera, amb +0,22 [+0,11/+0,33] °C/decenni. La tardor i l'hivern mostren un ritme d'augment similar, +0,19 [+0,07/+0,30] °C/decenni i +0,18 [+0,05/+0,30] °C/decenni, respectivament. Tots els valors superen el nivell de significació estadística.

Des del punt de vista espacial, s'aprecia una distribució geogràfica de les tendències força homo-

gènia i sense comportaments diferenciats espacialment (BAIC 2014).

Finalment, la tendència de la temperatura mitjana sí que difereix sensiblement si s'analitza separatament el comportament de la mitjana de la temperatura màxima i de la temperatura mínima. És evident que la mitjana de la temperatura màxima anual (associada a la temperatura diürna) ha augmentat a un ritme molt superior que el de la mitjana

TAULA 4.1. Classificació dels cinc anys més càlids i els cinc anys més freds a Catalunya dins el període 1950-2014 (temperatura mitjana anual expressada com a anomalia respecte del període 1961-1990)

Anys més càlids		Anys més freds	
Any	Anomalia (°C)	Any	Anomalia (°C)
2006	+1,67	1956	-1,00
2011	+1,65	1972	-0,96
2014	+1,64	1963	-0,72
2003	+1,46	1969	-0,69
1997	+1,41	1984	-0,55

TAULA 4.2. Comparativa d'estudis realitzats en el darrer decenni sobre la tendència de la temperatura de l'aire en l'àmbit de la península Ibèrica

Estudi	Àmbit geogràfic	Variables	Resolució temporal	Període	Tendència anual (°C/decenni)	Estacions de l'any amb més increment
BAIC 2014 (2015)	Catalunya	Tm, Tx i Tn	Anual i estacional	1950-2014	Tm: +0,23 Tx: +0,28 Tn: +0,17	Estiu i primavera
Martínez <i>et al.</i> (2010)	Catalunya	Tx i Tn	Anual i estacional	1975-2004	Tx: +0,46 Tn: +0,51	Estiu i primavera
Río <i>et al.</i> (2012)	Espanya peninsular	Tx i Tn	Anual, estacional i mensual	1961-2006	Tx: +0,30 Tn: +0,27	Estiu i primavera
Bermejo i Ancell (2009)	Catalunya	Tx i Tn	Anual i estacional	1957-2002	Tx: +0,31 Tn: +0,22	Estiu i tardor
Brunet <i>et al.</i> (2008)	Espanya peninsular	Tm, Tx i Tn	Anual i estacional	1901-2005	Tm: +0,19 Tx: +0,25 Tn: +0,14	Estiu, hivern i tardor
González-Hidalgo <i>et al.</i> (2015)	Espanya peninsular	Tm, Tx i Tn	Mensual	1951-2010	Tm: +0,26 Tx: +0,29 Tn: +0,23	Estiu (juny i agost)
Cuadrat <i>et al.</i> (2013)	Pirineus	Tm	Anual i estacional	1959-2010	Tm: +0,20	Estiu i primavera
Esteban <i>et al.</i> (2012)	Andorra	Tx i Tn	Anual i estacional	1935-2008	Tx: +0,14 Tn: +0,05	Estiu i hivern

Tm, temperatura mitjana; Tx, temperatura màxima, i Tn, temperatura mínima.

de la temperatura mínima (lligada a la temperatura nocturna): +0,28 [+0,20/+0,36] °C/decenni respecte a +0,17 [+0,10/+0,24] °C/decenni (període 1950-2014). La mitjana estival de la temperatura màxima és la que mostra un increment més marcat, de +0,43 °C/decenni.

Altres estudis realitzats en el context ibèric confirmen, en bona part, les troballes del BAIC 2014, però amb matisos en funció de l'àmbit geogràfic i el període d'estudi (taula 4.2). Com més recent és el període, més marcat és l'increment (vegeu Martínez *et al.*, 2010, per exemple) i a la inversa. L'estiu i la primavera són clarament les estacions que concentren els increments més importants i, en general, el ritme d'increment tèrmic és més evident sobre la temperatura màxima que sobre la temperatura mínima.

4.3.2. Evolució secular

La disponibilitat de registres instrumentals que cobreixin un ampli període de temps és essencial per a copsar de manera adient la variabilitat i el canvi climàtic observats. Malauradament, registres amb una cobertura temporal plurisecular són poc habituals en el nostre àmbit geogràfic, però no inexistents. Els observatoris de l'Ebre (Roquetes, el Baix Ebre) i Fabra (Barcelona, el Barcelonès) constitueixen un bon referent en aquest sentit, ja que disposen de més de cent anys de registres, pràcticament ininterromputs i sense canvis d'emplaçament.

L'Observatori de l'Ebre ha registrat, per al període 1905-2014, un increment de la temperatura mitjana anual de +0,13 [+0,10/+0,16] °C/decenni, i l'estiu ha estat el període de l'any amb un augment més

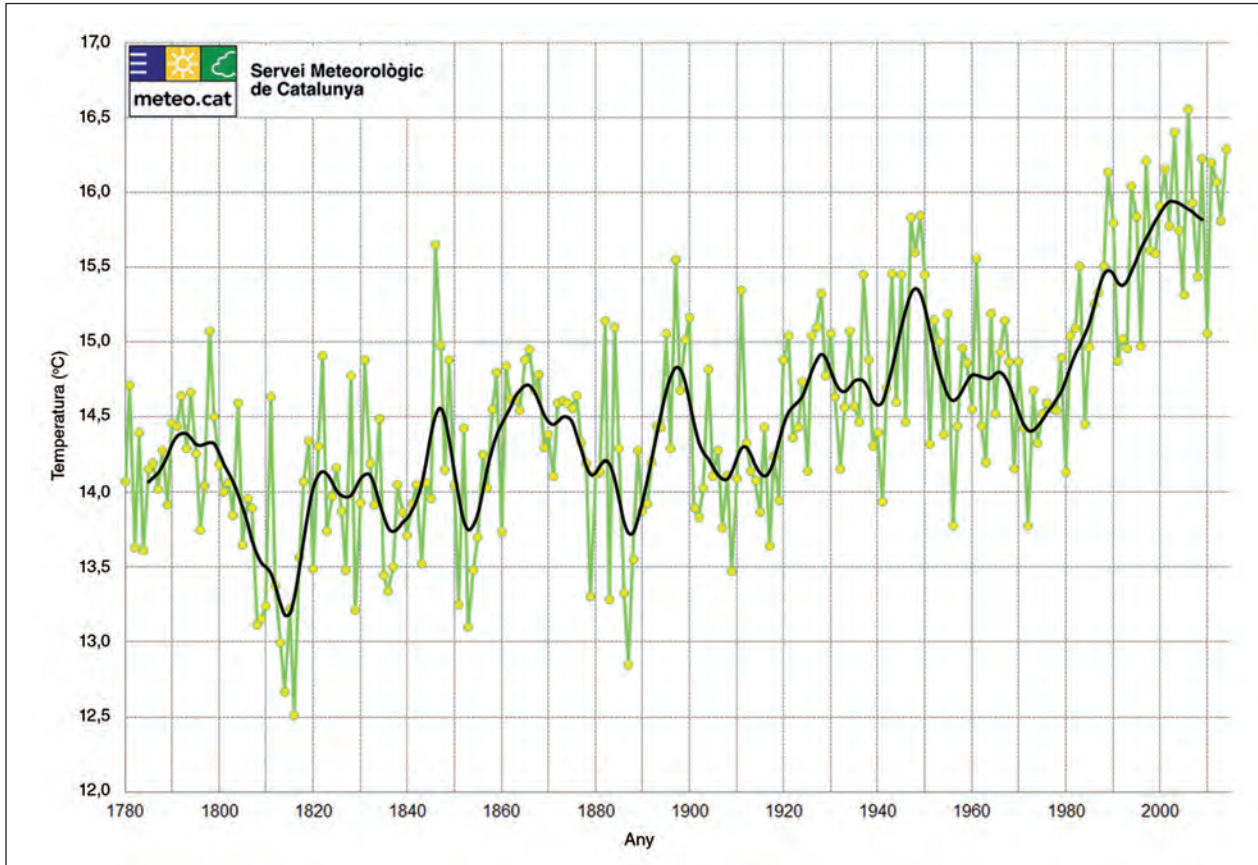


FIGURA 4.2. Evolució de la temperatura mitjana anual a Barcelona (1780-2014). La corba correspon a un filtre gaussià de tretze membres. Font: BAIC 2014 (2015).

pronunciat (+0,17 [+0,12/+0,22] °C/decenni). L'Observatori Fabra, amb una cobertura lleugerament inferior, ha observat, per al període 1914-2014, un augment de la temperatura mitjana anual idèntic: +0,13 [+0,09/+0,17] °C/decenni, i de nou l'estiu ha estat l'època de l'any amb l'increment més marcat. A ambdós casos, els resultats són estadísticament significatius i la temperatura màxima ha augmentat a un ritme superior que el de la temperatura mínima. Aquests resultats tenen una gran similitud amb els aportats per Brunet *et al.* (2008) per a un període més ampli (1850-2005) i per al conjunt de l'Espanya peninsular, que xifra en +0,11 i 0,08 °C l'increment mitjà anual per a la temperatura màxima i mínima, respectivament.

D'ençà de l'edició del SICCC (2010), s'han dut a terme treballs de rescat i digitalització de diverses observacions meteorològiques realitzades a la ciutat de Barcelona des de finals del segle XVIII. Fruit de la iniciativa, s'ha pogut obtenir la sèrie homogeneïtzada de la temperatura mitjana de la ciutat,

a resolució mensual i des de 1780, que s'erigeix com la de més cobertura temporal i continuïtat de la península Ibèrica (Prohom *et al.* 2012). La figura 4.2 mostra l'evolució de la temperatura mitjana anual, i denota un increment significatiu, per al període 1780-2014, de +0,07 [+0,06/+0,08] °C/decenni, és a dir, la temperatura actual és 1,6 °C més elevada que l'enregistrada a final del segle XVIII a la ciutat. Destaca l'elevada variabilitat interdecennal mesurada al segle XIX, amb un període fred al voltant del decenni de 1810, coincidint amb el mínim solar de Dalton i dues grans erupcions volcàniques d'afectació global (Tambora i una altra encara sense localitzar). També és evident el fort increment tèrmic, sense precedents, experimentat des del final del decenni de 1970.

4.4. Canvis en la precipitació

Si bé hi ha un consens pràcticament absolut en la constatació d'un increment tèrmic lligat al canvi climàtic d'origen antròpic, l'afectació d'aquest fenomen sobre la precipitació és menys clara

i genera senyals no tan robusts com el de la temperatura. L'extraordinària variabilitat espacial i temporal d'aquesta variable, amb una forta dependència de la disponibilitat i la qualitat de les dades i del període d'anàlisi, comporta arribar a conclusions sobre la seva tendència amb un grau més petit de confiança. A escala global, per exemple, el darrer informe de l'IPCC (2013) assenyalava que el grau de confiança en la determinació de canvis globals en la precipitació és baix per al període previ a 1950 i mitjà per a períodes més recents. Catalunya, amb una elevada variabilitat i diversitat pluviomètrica, participa d'aquesta problemàtica.

4.4.1. Evolució recent (des de mitjan segle xx fins al present)

Els estudis duts a terme al Principat conclouen que no hi ha cap tendència general estadísticament significativa envers un descens o un augment de la precipitació mitjana anual en l'època recent. El BAIC 2014, utilitzant dades de seixanta-vuit sèries climàtiques per al període 1950-2014, indica que el conjunt del país registra un lleuger descens de la precipitació anual fixat en $-1,2 [-3,8/+1,3]$ %/decenni, però no significatiu. Segons aquest mateix informe, l'estiu és l'única època de l'any que mostra una tendència estadísticament significativa envers un descens de la

precipitació: $-5,0 [-9,4/-0,5]$ %/decenni. L'hivern també marca un descens, però menys pronunciat, de $-1,9 [-8,8/+4,9]$ %/decenni, mentre que la primavera i la tardor no presenten cap tendència clara. Altres estudis centrats en la península Ibèrica apunten cap a aspectes similars (taula 4.3). González-Hidalgo *et al.* (2010) analitzen la tendència de la precipitació mensual a les conques hidrogràfiques espanyoles per al període 1946-2005, i identifiquen els mesos de març i juny com els més sensibles al descens de la precipitació, tant a la conca de l'Ebre com a les conques internes catalanes, mentre que el novembre és l'únic mes que tendeix a registrar un increment, però sense significació estadística. D'altra banda, l'Observatori Pirinenc del Canvi Climàtic (OPCC) conclou, en un dels seus informes, que, per al període 1959-2010 i per al conjunt del Pirineu, es detecta un descens de la precipitació anual de 2,5 %/decenni (OPCC, 2014).

Si amb la temperatura de l'aire no s'apreciaven comportaments diferenciats espacialment, això sí que succeeix amb la precipitació. La figura 4.3 mostra la distribució espacial de la tendència de la precipitació anual per al període 1950-2014, en el qual s'observa un predomini de sèries pluviomètriques amb tendència negativa. No obstant això, la Costa Brava i els sectors a cavall de les

TAULA 4.3. Comparativa d'estudis realitzats en el darrer decenni sobre la tendència de la precipitació en l'àmbit de la península Ibèrica

Estudi	Àmbit geogràfic	Resolució	Període	Tendència anual (%/decenni) * amb significació estadística	Tendències estacionals o mensuals (%/decenni) * amb significació estadística
BAIC 2014 (2015)	Catalunya	Anual i estacional	1950-2014	-1,2	Hivern: -1,9 Primavera: +0,2 Estiu: -5,0* Tardor: +0,3
González-Hidalgo <i>et al.</i> (2010)	Conques de l'Ebre i internes catalanes	Anual i mensual	1946-2005	Negativa	Març: de -10 a -8 Juny: de -5 a -4 Novembre: de +4 a +7
Luís <i>et al.</i> (2009)	Conques de l'Ebre i internes catalanes	Anual i estacional	1951-2000	De -2,5 a -2,4	Hivern: de -4,1 a +2,1 Primavera: de -1,0 a -4,7 Estiu: de -4,0 a -4,1 Tardor: de -1,4 a -1,8
OPCC (2014)	Pirineu	Anual i estacional	1959-2010	-2,5*	Hivern: -4,2 Primavera: -0,6 Estiu: -3,3 Tardor: -2,4

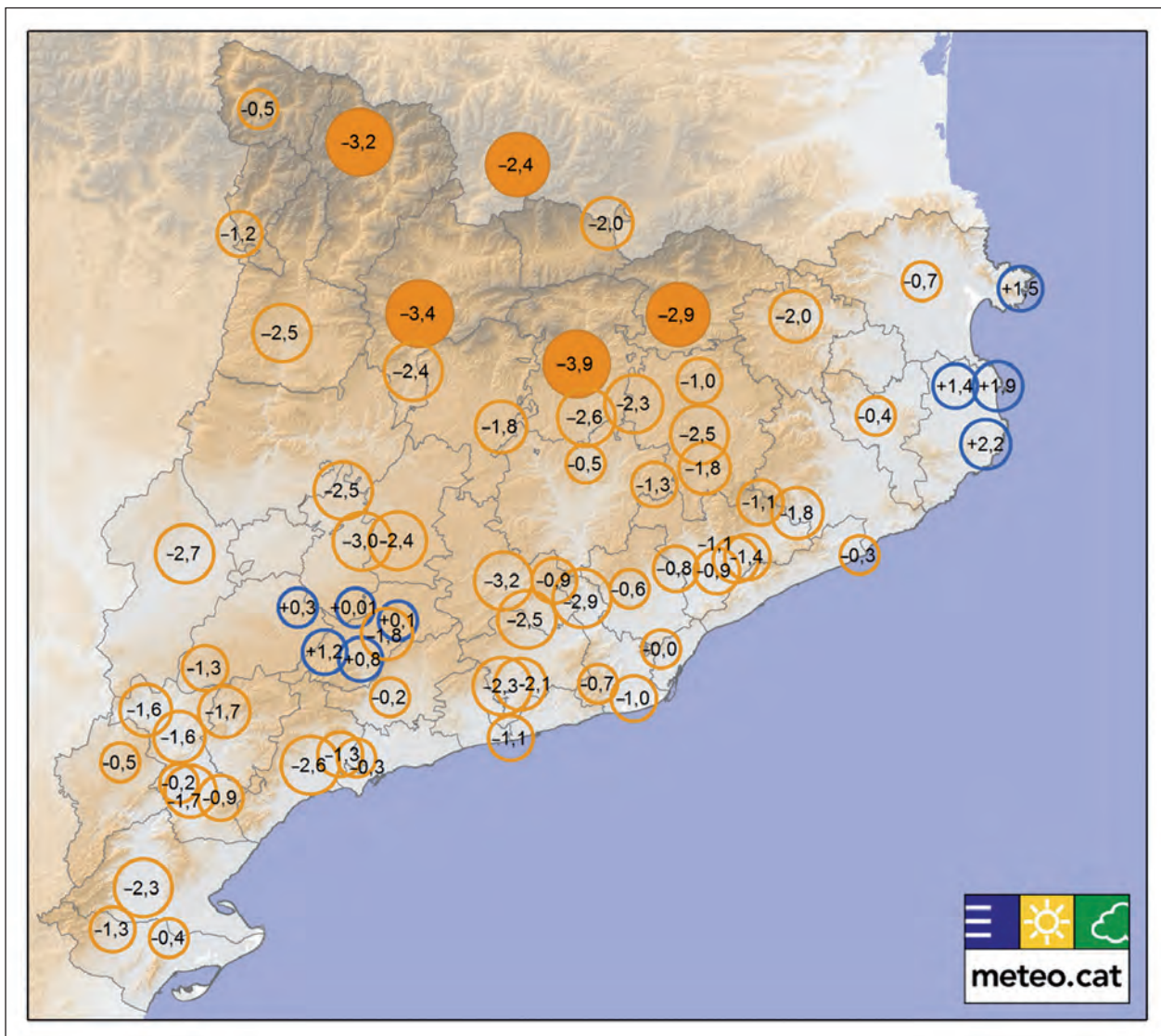


FIGURA 4.3. Tendència de la precipitació mitjana anual a Catalunya (1950-2014) expressada en %/decenni. El radi de la circumferència és proporcional al percentatge de canvi per decenni experimentat per la precipitació i el color indica el signe (blau = augment, taronja = descens). El cercle taronja indica que la tendència és estadísticament significativa segons el test de Mann-Kendall ($p < 0,05$).

Font: BAIC 2014 (2015).

comarques de la Conca de Barberà, l'Urgell i les Garrigues mostren tendències lleugerament positives (de prop de +2 %/decenni), mentre que l'àmbit pirinenc i prepirinenc assenyalen un descens (d'un 3 %/decenni) i, en alguns casos, supera el llindar de significació estadística. Estacionalment, l'estiu és el període amb més presència de tendències negatives i significatives, especialment localitzades al sud i a ponent, un patró que es repeteix a l'hivern però de manera menys marcada. La primavera i la tardor presenten una distribució espacial més caòtica i sempre sense superar el llindar de significació.

4.4.2. Evolució secular

L'anàlisi de la tendència de la precipitació a més llarg termini comporta fer referència a les sèries dels observatoris de l'Ebre i Fabra, amb més de cent anys de dades disponibles i de bona qualitat. Ambdós mostren tendències no significatives però lleugerament positives: l'Observatori de l'Ebre, de +0,6 %/decenni per al període 1905-2014, i l'Observatori Fabra, de +0,3 %/decenni per al període 1914-2014. Només l'estiu experimenta a ambdós punts una tendència negativa, de -1,4 %/decenni i -1,8 %/decenni, respectivament, però de nou sense significació.

En els darrers anys s'han recuperat les observacions de la precipitació mensual de Barcelona, des de 1786 fins al present (Prohom *et al.*, 2015). Per a la globalitat del període, s'aprecia un augment de la precipitació anual del 18 %, sobretot motivat per les baixes precipitacions registrades a principi del segle XIX. És especialment remarcable el període 1810-1840, amb la presència continuada d'anomalies de precipitació negatives, que no s'han experimentat en època més recent. Des de 1901 hi ha una lleugera tendència a la baixa, de -7 mm/decenni.

4.5. Canvis en altres variables atmosfèriques

Paral·lelament als canvis experimentats en la temperatura de l'aire i la precipitació mitjanes, altres variables atmosfèriques manifesten, també, modificacions pel que fa al comportament.

L'evaporació i l'evapotranspiració són dues variables altament relacionades amb la temperatura de l'aire, i els darrers anys s'han publicat diversos estudis sobre la seva evolució recent a la península Ibèrica. Així, Sánchez-Lorenzo *et al.* (2014) indiquen que, per al període 1985-2011, i basant-se en observacions d'evaporímetres de Piché, hi ha una tendència significativa a l'augment de 0,15 mm per dia i decenni. D'altra banda, Vicente-Serrano *et al.* (2014b) contrasten diversos mètodes de càlcul de l'evapotranspiració per al període 1961-2011 i conclouen que hi ha un increment marcat d'aquesta variable a totes les escales temporals. La humitat de l'aire també ha estat objecte d'anàlisi en darrers treballs com el de Vicente-Serrano *et al.* (2014a), que constata un descens marcat de la humitat relativa mitjana anual a la península Ibèrica ($-1,0$ %/decenni) per al període 1961-2011, especialment remarcable a l'estiu ($-1,6$ %/decenni) i a la primavera ($-1,0$ %/decenni). Els mateixos autors, però, no identifiquen canvis apreciables en la humitat específica al Principat.

Un altre element de gran interès en el context del canvi climàtic és la presència de més o menys nuvolositat, per l'efecte potenciador/mitigador de l'escalfament global. Per al cas de la península Ibèrica, recentment s'han dut a terme diversos estudis. Sánchez-Lorenzo *et al.* (2012) identifiquen un augment del $+0,4$ %/decenni en la nuvolositat total anual al nord-est peninsular entre 1913 i 2010,

però amb un descens marcat des del decenni de 1960 ($-1,1$ %/decenni). Aquest fet es correspon amb la insolació (nombre d'hores de sol efectiu), que marca un increment anual significatiu des del decenni de 1980 fins al present (Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2007) i que queda confirmat per les dades d'insolació dels observatoris de l'Ebre i Fabra. Prenent com a període comú el 1968-2014, el BAIC 2014 assenyala un increment anual de $+68$ hores/decenni i $+83$ hores/decenni, respectivament, a tots dos punts.

La identificació de canvis en determinats meteors sovint es fa difícil per la naturalesa de les variables (observacions no instrumentals) i pels problemes evidents d'homogeneïtat i continuïtat que hi van associats. Per aquest motiu, cal ser curosos a l'hora d'analitzar aquest tipus de sèries. Pel que fa al nombre de dies de neu, es constata un lleuger descens als observatoris de l'Ebre ($-0,16$ dies/decenni i significatiu) i Fabra ($-0,10$ dies/decenni) dins el període 1919-2014, però a l'àrea pirinenca no hi ha cap tendència prou clara o sòlida. Només s'afirma una tendència envers el descens del gruix de neu a la primavera (López-Moreno, 2005). Altres meteors analitzats són els dies de boira a tres observatoris, els abans esmentats de l'Ebre i Fabra, i a Lleida. A tots tres, es constata una lleugera tendència al descens (Lleida, $-0,59$ dies de boira/decenni, 1941-2014; Ebre, $-0,23$ dies de boira/decenni, 1919-2014; Fabra, $-2,57$ dies de boira/decenni, 1919-2014), que és significativa només per al cas de Fabra. Finalment, un estudi recent sobre l'evolució dels dies de tempesta a l'Observatori Fabra no identifica cap tendència remarcable en l'interval 1917-2012 (Martín-Vide *et al.*, 2012).

4.6. Canvis en els extrems climàtics

Quan s'analitzen els canvis detectats en els extrems climàtics sovint es fa referència a la tendència observada en els anomenats *índexs d'extrems*, és a dir, índexs que es basen en la probabilitat d'ocurrència o en el simple comptatge de valors que excedeixen un llindar, normalment prefixat per la climatologia normal. Aquests indicadors són fàcils d'interpretar i computar, es poden aplicar a un ampli ventall de climes i aporten, també, informació sobre la durada, la intensitat i la persistència d'esdeveniments extrems. En els darrers anys, han estat objecte d'anàlisi detallat per l'elevat impacte

econòmic d'aquests fenòmens i s'ha creat un grup internacional d'experts que n'analitza el comportament per mitjà de la formulació de diversos indicadors (ETCCDI).

Tot seguit es mostren alguns estudis que han analitzat l'evolució dels extrems de la temperatura i la precipitació al Principat o a àrees properes. No obstant això, el capítol 6 d'aquest INFORME complementa i amplia els resultats aportats.

4.6.1. Els extrems de la temperatura i la precipitació

El darrer IPCC (2013) constata, amb un grau de confiança molt elevat, un increment en tots els índexs relacionats amb l'augment tèrmic i una disminució en els relatius a dies o períodes freds a Europa i a la Mediterrània. El Principat participa plenament d'aquesta tendència, tal com informa el BAIC 2014 per al període 1950-2014. La taula 4.4 mostra els resultats d'aquesta tendència per a alguns índexs d'extrems, obtinguts a partir de vint-i-quatre sèries de temperatura diària. S'hi aprecia un increment dels dies i nits càlids, mentre que disminueix el percentatge de dies i nits freds, que és significatiu estadísticament arreu del domini. L'anàlisi realitzada en el mateix estudi per a les sèries dels observatoris de l'Ebre i Fabra mostra un increment dels indicadors lligats a condicions més càlides. Per exemple, a ambdós observatoris actualment es registren entre 26 i 23 nits tropicals més que no pas a principi del segle xx, i les ratxes càlides són entre 10 i 11 dies més llargues. En sentit contrari, la durada de la ratxa freda és entre 7 i 8 dies més curta i els dies de glaçada anuals han disminuït en 3 dies per al mateix període.

Pel que fa als extrems de la precipitació, es fa més difícil constatar canvis apreciables i significatius, atesa la naturalesa de la variable i el clima mediterrani en què es troba, majoritàriament, el país. Sí que és possible detectar, per al període 1950-2014, un increment en la durada dels lapses temporals sense precipitació destacada (>1 mm), especialment a la meitat sud. No obstant això, no es detecta cap tendència significativa envers un increment dels índexs relacionats amb la torrencialitat de la precipitació, a excepció de l'índex simple d'intensitat diària als observatoris de l'Ebre i Fabra, i per als períodes 1905-2014 i 1914-2014, respectivament.

Altres estudis conclouen que a Catalunya sí que hi ha evidències d'un augment de la precipitació extrema a la primavera, mentre que la tendència contrària es detecta a l'hivern (Beguería *et al.*, 2011). D'altra banda, Serra *et al.* (2006) indiquen que el nombre de períodes de sequera a Catalunya durant la segona meitat del segle xx presenta una tendència significativa cap a l'augment a resolució anual i durant l'hivern.

4.7. Canvis en la temperatura i el nivell de les aigües costaneres

L'aigua del mar i l'atmosfera són dues masses fluides en contacte que es troben en interacció constant. Per això, els canvis en la temperatura de l'aire repercuteixen, juntament amb altres factors, tant en la calor emmagatzemada per les capes superiors de la columna d'aigua, com en l'expansió o la contracció del volum d'aigua i en la salinitat.

La sèrie climàtica de la temperatura de l'aigua del mar de l'Estartit (Baix Empordà), amb registres

TAULA 4.4. Canvis observats en un ventall d'índex d'extrems de temperatura i precipitació a Catalunya (1950-2014)

Índex	Tendència anual
Dies càlids (Tx90p)	De +3,0 a +1,1 %/decenni
Dies freds (Tx10p)	De -0,5 a -1,8 %/decenni
Nits càlides (Tn90p)	De +0,7 a +2,0 %/decenni
Nits fredes (Tx90p)	De -0,5 a -1,5 %/decenni
Durada de la ratxa càlida	De +0,5 a +3,1 dies/decenni
Longitud màxima de la ratxa seca	De -0,6 a +2,7 dies/decenni
Índex simple d'intensitat diària	De +0,4 a -0,3 mm/(dia decenni)

Font: BAIC 2014 (2015).

continus d'aquesta variable a diferents profunditats des de 1974, i la posada en funcionament d'un mareògraf l'any 1990 converteixen aquest punt de la costa catalana en un referent per a analitzar l'evolució de la temperatura i el nivell de l'aigua del mar.

Tal com reflecteix el BAIC 2014, la temperatura de l'aigua del mar a l'Estartit ha augmentat de manera estadísticament significativa a un ritme de $+0,3\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ als primers 50 m de fondària, una tendència que disminueix fins a $+0,19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ als 80 m de profunditat (figura 4.4). Aquest augment de la capa superficial del mar es troba reflectit en altres estudis (Vargas-Yáñez *et al.*, 2005). L'anàlisi estacional revela que l'escalfament es produeix de manera estadísticament significativa en totes les estacions de l'any, i que és a l'estiu i a la tardor quan l'augment és més pronunciat, fins als 50 m de profunditat, amb tendències que es mouen entre $+0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ a l'estiu i a -20 m , i $+0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{decenni}$ a la tardor i a -50 m .

El nivell mitjà del mar al mateix punt augmenta a un ritme de $+3,9\text{ }[+2,6/+5,2]\text{ cm}/\text{decenni}$ des de 1990. Aquest increment anual és estadísticament significatiu, com també ho són les tendències obtingudes en totes les estacions tret de l'hivern: $+4,5\text{ }[+2,9/+6,0]\text{ cm}/\text{decenni}$ a la primavera, $+3,3\text{ }[+2,4/+4,3]\text{ cm}/\text{decenni}$ a l'estiu i $+3,3\text{ }[+1,6/+5,0]\text{ cm}/\text{decenni}$ a la tardor (figura 4.5).

A partir de dades extretes del PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level), les variacions de nivell del mar a l'Estartit són semblants a les d'altres sèries mediterrànies de longitud similar, com ara les de València (amb dades des del 1995), Caloforte (a Sardenya, Itàlia, també des del 1995), Gènova i Livorno (totes dues a Itàlia i amb inici l'any 2001). Marsella presenta una tendència a l'augment sensiblement més petita a causa de la notable longitud de la sèrie (s'inicia l'any 1885 i reflecteix la disminució del nivell del mar que va tenir lloc a la Mediterrània des dels anys cinquanta fins a mitjan anys noranta). Si s'estudia l'evolució global del nivell del mar a Marsella des de 1990 per a fer-la comparable a la de l'Estartit, la

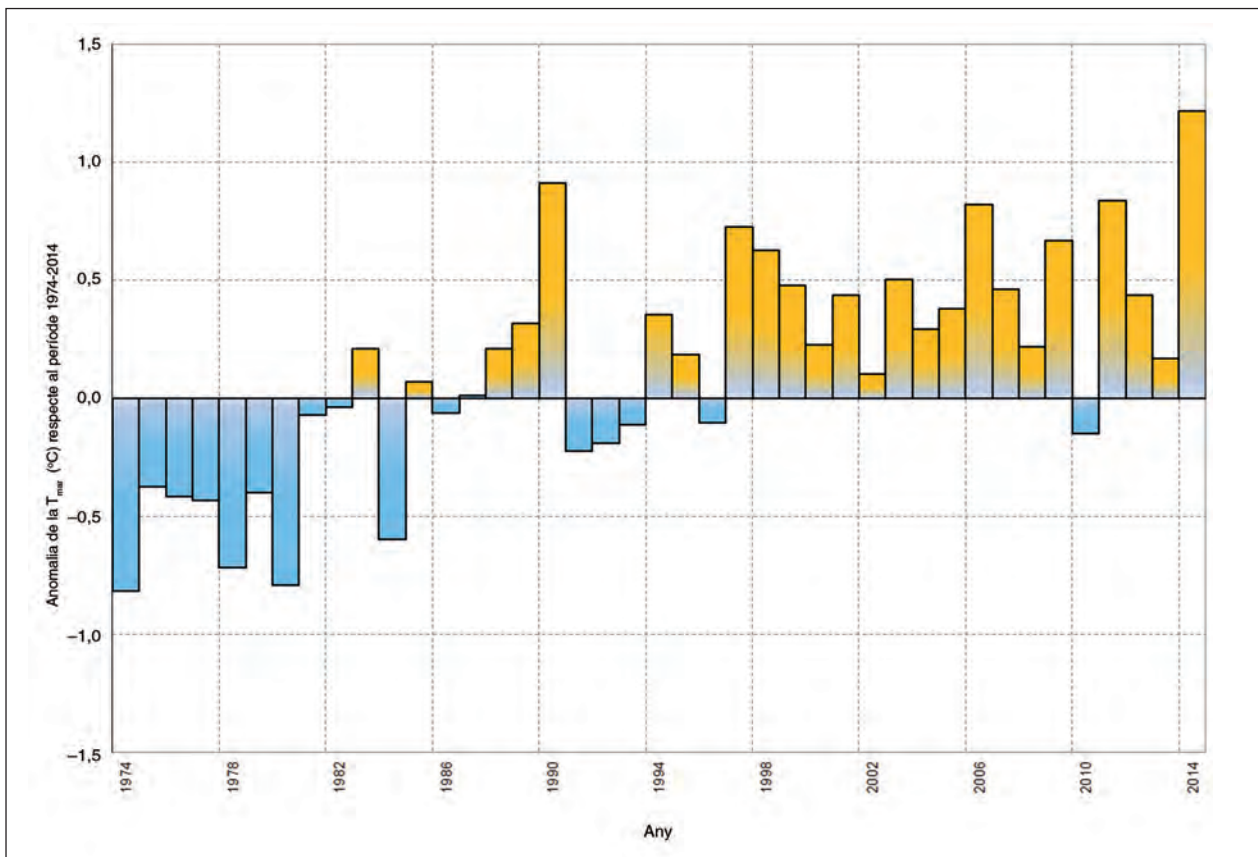


FIGURA 4.4. Anomalia de la temperatura mitjana anual de l'aigua del mar a la superfície a l'Estartit (1974-2014).

Font: BAIC 2014 (2015), a partir de les dades facilitades per Josep Pascual.

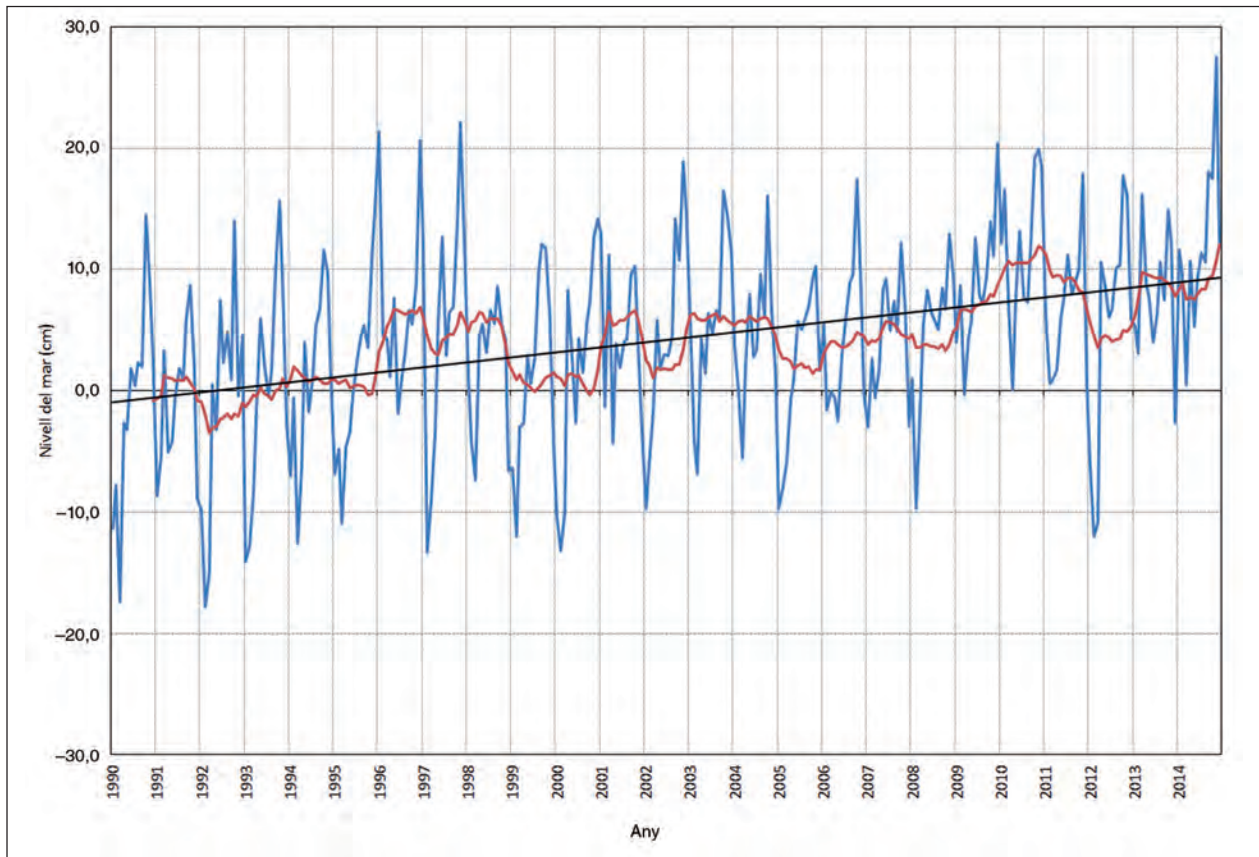


FIGURA 4.5. Evolució mensual del nivell del mar a l'Estartit (1990-2014). En vermell es dibuixa la mitjana mòbil de dotze mesos de període i la línia recta mostra la tendència lineal experimentada.

Font: BAIC 2014 (2015), a partir de les dades facilitades per Josep Pascual.

tendència a l'augment del nivell del mar pren gairebé el mateix valor (Lionello, 2012).

Al *Cinquè informe d'avaluació* de l'IPCC (IPCC, 2013) s'afirma que és molt probable que la taxa mitjana global d'elevació del nivell del mar hagi estat de $+2,0$ [$+1,7/+2,3$] mm/any en el període 1971-2010, i que hagi augmentat fins a $+3,2$ [$+2,8/+3,6$] mm/any entre el 1993 i el 2010. Aquest últim valor és força coherent amb la tendència d'augment del nivell del mar obtinguda a l'Estartit.

4.8. Les glaceres i la neu al Pirineu

Paral·lelament als registres instrumentals convencionals, també existeixen altres fonts d'informació indirectes que permeten copsar la influència i l'evolució del clima en determinats ambients. Aquest és el cas de les observacions de les masses de gel i la neu a les àrees més elevades del Pirineu occidental català, que han pogut ser analitzades en detall a partir d'imatges i fotografies preses des del decenni de 1980.

En aquests moments, es pot afirmar amb rotunditat que a Catalunya ja no hi ha cap aparell glacial visible, i únicament s'intueix l'existència d'una glacera rocallosa al massís de Besiberri. Es tracta d'una congelada de gel, probablement fragmentada, que podria arribar a superar només en algun sector els 10 m de gruix i que es troba soterrada per una massa d'entre 2 i 4 m de material d'erosió (glacera negra), fet que no en permet l'observació visual. Ocupa part d'un espai d'unes 6 ha de superfície a una altura mitjana de 2.715 m, a la base de l'aresta Besiberri Sud (3.017 m) - pas de Trescazes (2.902 m) - Besiberri del Mig (2.994 m), i el límit inferior queda clarament marcat per una morrena terminal ($42^{\circ} 36' 02''$ N $0^{\circ} 49' 07''$ E). Tenint en compte estudis efectuats en altres aparells de característiques semblants i que en el període 2008-2014 es va produir l'absència de neu estival, la pèrdua de gruix s'estima en 1,25 m (uns 25 cm de mitjana anual).

Els veritables aparells glacials més propers es troben en dos massissos pirinencs que limiten amb

Catalunya: el de Mont Valier, a l'Arieja, en territori francès, a tocar de la Vall d'Aran, i al d'Aneto-Maladeta, a l'Aragó, al límit de l'Alta Ribagorça. Al massís Aneto-Maladeta, dels 13 aparells glacials catalogats l'any 2008 s'ha passat a 11 aparells al final del 2014, amb una regressió contundent de tots (pèrdua de gruix i d'extensió), que ha generat fragmentacions i catalogacions inferiors a la de glacera (congesta de gel i aparell residual). Les pèrdues actuals de gruix de gel són d'1,5 cm/any i tripliquen les mitjanes del període 1985-2005, que se situaven entre els 0,45 i 0,60 cm/any segons els sectors. Quant a les pèrdues d'extensió, en el període 2008-2014 el retrocés de la glacera oriental de la Maladeta (la tercera en extensió

dels Pirineus) ha estat de 81,5 m (amb una mitjana de 13,6 m/any). Si es comparen dos períodes recents d'onze anys, s'aprecia l'increment de la pèrdua de llargada de la llengua de gel: període 1992-2003, retrocés de 67,7 m (amb una mitjana de 6,15 m/any); període 2003-2014, retrocés de 162,5 m (amb una mitjana de 14,8 m/any). Com a exemple de fragmentació, a la glacera d'Aneto se'n va produir una el 19 d'agost de 2013, al límit distal del lòbul oriental de la glacera, fet que va donar origen a la congesta de gel inferior d'Aneto (sense activitat), que segueix pel seu compte, i com a aparell independent, el camí de l'extinció (figura 4.6). Si, tal com es preveu, la tendència climàtica actual segueix, els aparells glacials més

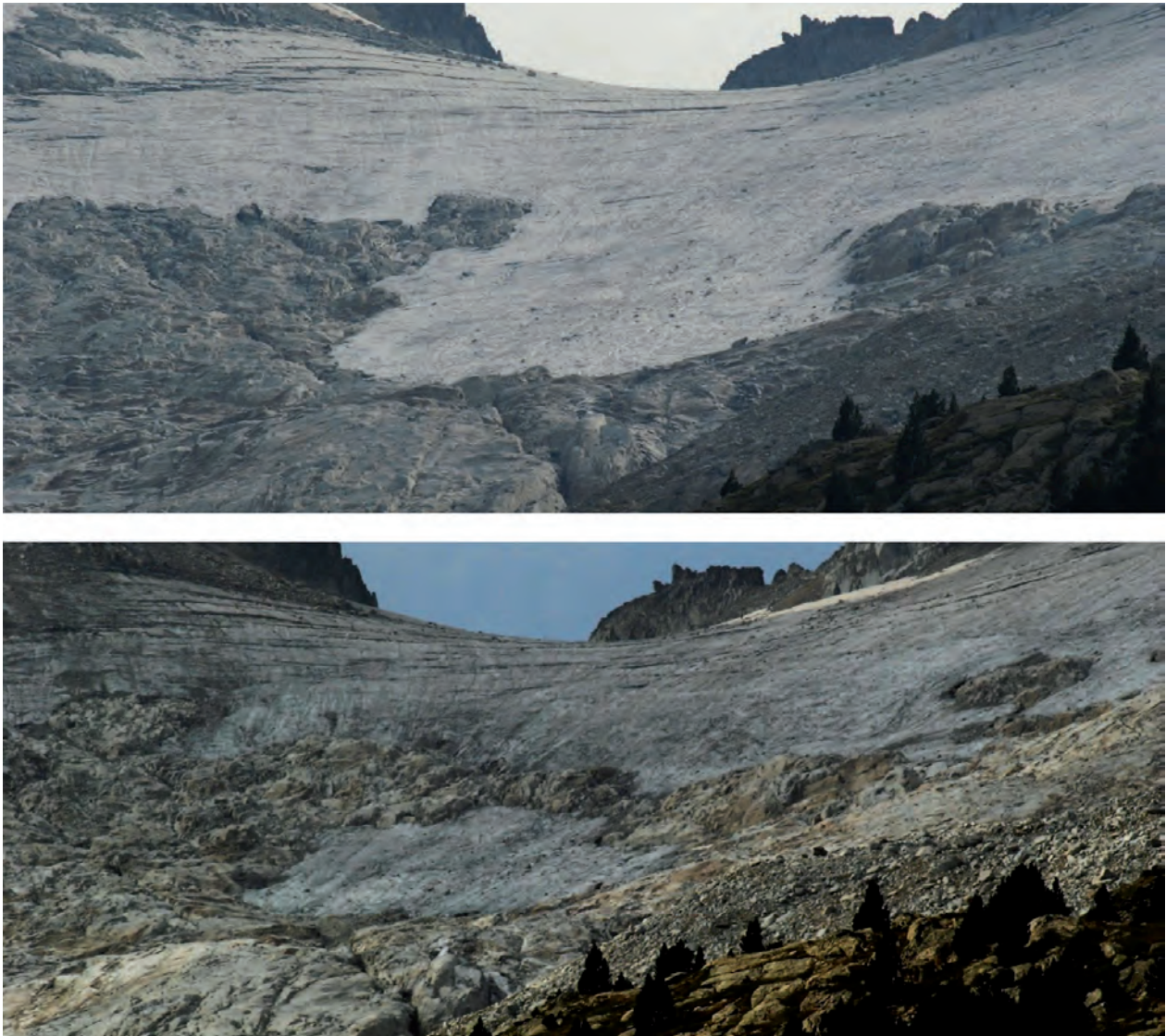


FIGURA 4.6. Glacera d'Aneto. Comparativa 2009-2012. Fragmentació del límit inferior del lòbul oriental que dona origen a la congesta de gel inferior d'Aneto.

Font: Jordi Camins.

propers a Catalunya es continuaran deteriorant i acabaran desapareixent; fins i tot les glaceres actualment més extenses i les que ocupen indrets més favorables hauran deixat de ser actives en un termini d'uns vint-i-cinc anys, evolucionaran cap a congestes de gel (al voltant de l'any 2040), i al cap d'uns altres deu anys (a mitjan segle XXI) se n'haurà produït l'extinció total després d'un breu recorregut per un estat residual.

4.9. Conclusions

Aquest capítol ha tractat de plasmar noves evidències i actualitzacions de les dades sobre el canvi climàtic observat a Catalunya, des de la publicació del SICCC (2010). Pel que fa a la temperatura de l'aire, es constata un increment mitjà anual de $+0,23$ °C/decenni per al període 1950-2014, prenent com a base vint-i-quatre sèries de qualitat i homogènies. El ritme d'augment de la mitjana de la temperatura màxima anual és de $+0,28$ °C/decenni, superior al que correspon a la mínima, de $+0,17$ °C/decenni. Estacionalment, l'estiu és l'època de l'any en què l'increment de la temperatura mitjana té una tendència més marcada, de $+0,33$ °C/decenni. Aquests resultats estan en consonància amb diversos treballs de recerca apareguts en el darrer decenni i que tenen el Principat o la península Ibèrica com a àrea d'estudi. L'anàlisi específica de les sèries centenàries (observatoris de l'Ebre i Fabra) confirma l'increment tèrmic des de l'inici del segle XX, a un ritme de $+0,13$ °C/decenni. Es comporta en el mateix sentit la sèrie plurisecular de Barcelona, que des del 1780 detecta un increment de la temperatura mitjana anual de $+0,07$ °C/decenni, és a dir, $1,6$ °C d'increment absolut.

Pel que fa a la precipitació, l'anàlisi de seixanta-vuit sèries mensuals per al període 1950-2014 evidencia una tendència anual i global per a Catalunya lleugerament negativa, de $-1,2$ %/decenni, però que no és estadísticament significativa. Territorialment, el sector pirinenc i prepirinenc serien els àmbits més sensibles al descens de la pluviometria anual (entre $-2,4$ i $-3,9$ %/decenni) i en aquest cas superarien el nivell de significació. Amb una cobertura temporal més àmplia, tant l'Observatori de l'Ebre com l'Observatori Fabra mostren una tendència oposada, positiva, però sense ser estadísticament significativa. S'evidencia el mateix com-

portament amb la sèrie plurisecular de Barcelona, que detecta un increment del 18 % per al període 1786-2014, lligat, en bona part, a un episodi greu de sequera entre 1810 i 1840, que n'accentua la tendència.

Paral·lelament a la temperatura de l'aire i a la precipitació, es constaten canvis apreciables en altres variables. L'evaporació i l'evapotranspiració han augmentat significativament des del decenni de 1950, i la nuvolositat ha disminuït d'una manera marcada des del decenni de 1960, a un ritme d' $1,1$ %/decenni. Els dies de neu als observatoris de Fabra i Ebre també s'han reduït des del 1919, i també els dies de boira als mateixos observatoris i a Lleida, en aquest cas des del decenni de 1940. En canvi, no s'han detectat canvis significatius en els dies de tempesta a l'Observatori Fabra.

Els extrems climàtics a Catalunya també han patit variacions remarcables des de 1950. Els índexs basats en vint-i-quatre sèries diàries de temperatura detecten un augment estadísticament significatiu dels dies d'estiu, les nits càlides i els dies càlids, mentre que disminueixen amb significació estadística els dies i nits freds. Per contra, els índexs de precipitació no mostren cap tendència tan evident, i tan sols s'aprecia un increment de la durada dels períodes sense precipitació al sud del país, i un augment de l'índex simple d'intensitat diària, per als casos dels observatoris de l'Ebre i Fabra, i prenent dades des de principi del segle XX.

Pel que fa a la temperatura de l'aigua del mar mesurada a l'Estartit, la sèrie més llarga i contínua disponible al país (1974-2014), ha augmentat a un ritme de $+0,30$ °C/decenni des de la superfície i fins a 50 m de fondària. Estacionalment, la tardor presenta l'augment més marcat, i màxim a 50 m de fondària ($+0,37$ °C/decenni). Tots els valors són estadísticament significatius. En la mateixa línia, el nivell de l'aigua del mar a aquest punt de la costa mostra un increment de $+3,9$ cm/decenni des de 1990, un ritme similar a l'experimentat en altres punts de la conca mediterrània occidental.

Finalment, la millor constatació de les conseqüències de l'increment tèrmic queda evidenciada pel fet que ja no queda cap aparell glacial visible a Catalunya i que en els sectors pirinencs propers

(Pirineu aragonès i de l'Arieja) es troben clarament en retrocés: dos dels tretze aparells glacials catalogats el 2008 s'han extingit.

4.10. Recomanacions

El manteniment d'una xarxa d'observació meteorològica en bon estat i amb una densitat espacial adequada (capaç de reproduir la riquesa climàtica del país) és una condició indispensable per a disposar de sèries climàtiques de qualitat, a partir de les quals poder efectuar anàlisis sobre l'evolució del clima. En aquest sentit, les diverses administracions públiques competents en aquesta matèria han de vetllar per la continuïtat de les observacions i permetre un bon monitoratge del clima.

El control de qualitat de les dades que componen les sèries climàtiques i l'homogeneïtzació són tasques fonamentals per a poder, posteriorment, extreure'n profit climàtic. Sense aquestes garanties bàsiques, les conclusions obtingudes de l'anàlisi de les sèries no tenen valor. Així, doncs, cal continuar mantenint el màxim rigor en la qualitat de les dades i en l'homogeneïtat de les sèries, recollir i emmagatzemar la informació disponible sobre la metadada i potenciar el rescat de sèries climàtiques inèdites.

Cal continuar fomentant el contacte entre els diferents grups de recerca, institucions i organismes que es dediquen a la recerca en temes de meteorologia i climatologia, tant en l'àmbit local com internacional, per tal d'evitar duplicitats en les línies de recerca i reforçar la recerca en els camps encara poc explorats.

Cal millorar la difusió de la informació climàtica a la població en general. La rapidesa i l'agilitat en la publicació de butlletins que donen compte de les anomalies tèrmiques més recents, per exemple, pot contribuir a la sensibilització de la població davant del canvi climàtic. D'altra banda, la comunicació adequada de l'evolució del clima a diferents sectors socioeconòmics (com ara l'agrícola i el sanitari) és crucial perquè puguin prendre mesures adequades, tal com es posa en relleu en els capítols dedicats específicament a aquests àmbits.

L'augment notable de la temperatura dels darrers decennis fa necessària l'actualització de tots els

críters de caràcter tèrmic associats als diferents sectors econòmics, tant si són de tipus temporal (com ara redefinir calendaris) com si es basen en la definició de llindars.

Referències bibliogràfiques

- BAIC 2014 = *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics: Any 2014 (2015)* [en línia]. Barcelona: Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Servei Meteorològic de Catalunya. Àrea de Climatologia. Equip de Canvi Climàtic. <http://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2015/06/05075856/00_BAIC-2014_TOT.pdf> [Consulta: 1 març 2016].
- BEGUERÍA, S.; ANGULO-MARTÍNEZ, M.; VICENTE-SERANO, S. M. [et al.] (2011). «Assessing temporal trends in extreme precipitation by non-stationary peaks-over-threshold analysis, NE Spain 1930-2006». *International Journal of Climatology*, 31, p. 2102-2114.
- BERMEJO, M.; ANCELL, R. (2009). «Observed changes in extreme temperatures over Spain during 1957-2002, using weather types». *Revista de Climatología*, 9, p. 45-61.
- BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; JONES, P. [et al.] (2008). *A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperatura datasets*. Ginebra: World Meteorological Organization, WCDMP-66 / WMO-TD-1425.
- CORTESI, N.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M. [et al.] (2012). «Daily precipitation concentration across Europe 1971-2010». *Natural Hazards Earth System Sciences*, 12, p. 2799-2810.
- CUADRAT, J. M.; SERRANO-NOTIVOLI, R.; SAZ, M. Á. [et al.] (2013). «Creación de una base de datos homogeneizada de temperaturas para los Pirineos (1950-2010)». *Geographica*, 63-64, p. 63-74.
- ESTEBAN, P.; PROHOM, M.; AGUILAR, E. (2012). «Tendencias recientes e índice de cambio climático de la temperatura y la precipitación en Andorra (1935-2008)». *Pirineos: Revista de Ecología de Montaña*, 167, p. 89-108.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; BRUNETTI, M.; LUÍS, M. DE [et al.] (2010). «A new tool for monthly precipitation

- analysis in Spain: MOPREDAS data base (monthly precipitation trends December 1945 - November 2005)». *International Journal of Climatology*, 31, p. 715-731.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; PEÑA-ANGULO, D.; BRUNETTI, M. [et al.] (2015). «MOTEDAS: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010)». *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4298.
- IPCC = INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. Edició de T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner [et al.]. Cambridge, etc.: Cambridge University Press. També disponible a: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>> [Consulta: 1 març 2016].
- LIONELLO, P. (2012). *The climate of the Mediterranean region: from the past to the future*. Londres: Elsevier Insights.
- LÓPEZ-MORENO, J. I. (2005). «Recent variations of snowpack depth in the Central Spanish Pyrenees». *Artic, Antartic, and Alpine Research*, 37, p. 253-260.
- LUÍS, M. DE; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LONGARES, L. A. [et al.] (2009). «Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of the 20th century». *International Journal of Climatology*, 29, p. 1312-1323.
- MARTÍN-VIDE, J. (2011a) *Estructura temporal fina y patrones espaciales de la precipitación en la España peninsular*. Barcelona: Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.
- (2011b). «Quin tipus de classificació climàtica convé per Catalunya?». *Penell*, 31, p. 17-19.
- MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, C. (2012). «La difícil determinación de la evolución del número de días de tormenta en España. El caso de Barcelona». *Polígonos: Revista de Geografía*, 24, p. 77-94.
- MARTÍNEZ, M. D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. [et al.] (2010). «Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975-2004». *International Journal of Climatology*, 30, p. 267-290.
- OPCC = OBSERVATORI PIRINENC DEL CANVI CLIMÀTIC (2014). *Proyecto OPCC-POCTEFA. Resultados Mayo 2014* [en línia]. <http://www.opcc-ctp.org/images/PROYECTO_OPCC-POCTEFA_2015_ES_BAJA.pdf> [Consulta: 1 març 2016].
- PROHOM, M.; BARRIENDOS, M.; AGUILAR, E. [et al.] (2012). «Recuperación y análisis de la serie de temperatura diaria de Barcelona, 1780-2011». *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología*, p. 207-217.
- PROHOM, M.; BARRIENDOS, M.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. (2015). «Reconstruction and homogenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian Peninsula (Barcelona, 1786-2014)». *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.4537.
- RÍO, S. DE; CANO-ORTÍZ, A.; HERRERO, L. [et al.] (2012). «Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961-2006)». *Theoretical and Applied Climatology*, 109, p. 605-626.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; BRUNETTI, M.; CALBÓ, J. [et al.] (2007). «Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine durations over the Iberian Peninsula from a homogenized data set». *Journal of Geophysical Research*, 112, D20115. DOI: 10.1029/2007JD008677.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; CALBÓ, J.; WILD, M. (2012). «Increasing cloud cover in the 20th century: review and new findings in Spain». *Climate of the Past*, 8, p. 1199-1212.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; VICENTE-SERRANO, S. M.; WILD, M. [et al.] (2014). «Evaporation trends in Spain: a comparison of Class A pan and Piché atmometer measurements». *Climate Research*, 61, p. 269-280.
- SERRA, C.; BURGUEÑO, A.; MARTÍNEZ, M. D. [et al.] (2006). «Trends in dry spells across Catalonia (NE Spain) during the second half of the 20th century». *Theoretical and Applied Climatology*, 85, p. 165-183.
- VARGAS-YÁNEZ, M.; SALAT, J.; FERNÁNDEZ DE PUELLES, L. [et al.] (2005). «Trends and time variability in the northern continental shelf of the western Mediterranean». *Journal of Geophysical Research*, 110, C10019. DOI: 10.1029/2004JC002799.

VICENTE-SERRANO, S. M.; AZORÍN-MOLINA, C.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. [et al.] (2014a). «Temporal evolution of surface humidity in Spain: recent trends and possible physical mechanism». *Climatic Dynamics*, 42, p. 2655-2674.

[VICENTE-SERRANO, S. M.; AZORÍN-MOLINA, C.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. [et al.]] (2014b). «Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961-2011». *Global and Planetary Change*, 121, p. 26-40.