

2. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents

Javier Martín-Vide, Manola Brunet, Marc Prohom i Anna Rius

Javier Martín-Vide és catedràtic de Geografia Física a la Universitat de Barcelona, llicenciat en Ciències Matemàtiques i doctor en Geografia i Història, amb premi extraordinari. Expert en anàlisis probabilístiques de la precipitació, riscos climàtics, anàlisi sinòptica, clima urbà, i variabilitat i canvi climàtic, ha participat en els projectes europeus ADVICE, IMPROVE i COST-733. Va ser el primer president de l'Asociación Española de Climatología (1998-2004) i en l'actualitat és president de la *Asociación de Geógrafos Españoles*, del Consell Assessor del Servei Meteorològic de Catalunya, i del Comité espanyol del *World Climate Research Programme*, director del Grup de Climatologia de la UB, membre del Consell editorial del *International Journal of Climatology* i d'altres 10 revistes, membre del Consell de Direcció de l'Institut de l'aigua i codirector del Màster de Climatologia aplicada (UB). Va participar com a revisor expert al Quart informe de l'IPCC. Ha publicat 25 llibres i uns 300 articles i capítols de llibre. Premi ATLAS-2004 a la trajectòria professional exemplar, Premi Crítica Serra d'Or-2004 i Premi de l'ACAA-2008.

Manola Brunet India (Cariñena, Zaragoza, 1955) és professora titular de Geografia Física a la Universitat Rovira i Virgili (URV) de Tarragona, *Visiting Fellow* a la Climatic Research Unit de la School of Environmental Sciences de la University of East Anglia (Norwich, Regne Unit), directora del Centre en Canvi Climàtic de la URV al Campus de les Terres de l'Ebre, i presidenta del *Open Panel of CCI Experts 2 on Climate Monitoring and Analysis* (OPACE 2) de la Comissió de Climatologia (CCI) de l'Organització Meteorològica Mundial des del 2010. És experta en reconstrucció i anàlisi instrumental de la variabilitat i el canvi climàtic, incloent el desenvolupament de bases de dades climàtiques d'alta qualitat.

Marc Prohom i Duran (El Masnou, 1973) és llicenciat en Geografia per la Universitat de Barcelona (UB) i doctor en Geografia per la mateixa universitat, on realitzà el doctorat sobre la incidència de les grans erupcions volcàniques en el clima de la península ibèrica i les illes Balears. Durant els anys de gaudiment d'una beca predoctoral (1999-2002) realitzà diverses estades a centres de recerca estrangers: *Climatic Research Unit–University of East Anglia* (Norwich, Regne Unit) i *Climate System Research Center–University of Massachusetts* (Amherst, EEUU). Actualment és tècnic de l'àrea de climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya, membre del Grup de Climatologia de la UB, i col·laborador de la secció de meteorologia de l'Observatori Fabra. La seva recerca es centra en l'estudi de la variabilitat climàtica a través de l'anàlisi de sèries climàtiques, en especial, la recuperació de registres antics, i l'anàlisi de la qualitat i homogeneïtat de les sèries.

Anna Rius i Ventosa (Barcelona, 1964) és llicenciada en Ciències Físiques per la Universitat de Barcelona. Va ser presentadora de l'espai «El Temps» a Televisió de Catalunya durant el període 1989-1997. Posteriorment la seva activitat professional va desenvolupar-se en el Servei de Meteorologia del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Des de l'any 2002 és la Cap de l'Àrea de Climatologia del Servei Meteorològic de Catalunya, responsable d'impulsar la creació i la gestió d'una base de dades meteorològiques de Catalunya. Ha endegat línies de treball per a una progressiva racionalització de les xarxes d'estacions meteorològiques gestionades per la pròpia Generalitat de Catalunya, així com també per millorar la qualitat de les dades meteorològiques. Impulsa i gestiona projectes amb l'objectiu de rescatar i preservar documents històrics d'interès climàtic i per digitalitzar noves dades instrumentals que permetin ampliar i millorar les sèries climàtiques disponibles a Catalunya.

Resum	43
2.1. La diversitat dels factors geogràfics i els climes de Catalunya	45
2.1.1. Introducció. El pes de la geografia	45
2.1.2. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i de la posició occidental	45
2.1.3. La influència del relleu	46
2.1.4. La dinàmica atmosfèrica general: la circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival	47
2.1.5. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals	48
2.1.6. Els centres d'acció. La influència de l'anticicló de les Açores i de la NAO	48
2.1.7. El mosaic de climes de Catalunya	49
2.1.8. La precipitació	50
2.1.9. La temperatura i altres elements	52
2.2. L'observació meteorològica i les sèries climàtiques disponibles	53
2.2.1. L'observació meteorològica a Catalunya (del segle XVIII a l'actualitat)	53
2.2.2. Les sèries climàtiques disponibles a Catalunya	56
2.3. Canvis en l'estat mitjà del clima	57
2.3.1. Canvis en la temperatura	57
2.3.1.1. Canvi a llarg termini i contextualització espacial	57
2.3.1.2. Tendències recents de la temperatura a Catalunya	58
2.3.2. Canvis en la precipitació	61
2.3.2.1. Variacions i tendències de llarg recorregut i contextualització	61
2.3.2.2. Canvis recents en l'Observatori Fabra i en l'Observatori de l'Ebre	62
2.3.3. La insolació	64
2.4. Canvis en l'estat extrem del clima	64
2.4.1. Canvis a llarg termini en els extrems tèrmics i pluviomètrics i contextualització espacial	64
2.4.2. Canvis recents en els extrems tèrmics i pluviomètrics	67
Referències	69

Resum

La singular posició planetària de Catalunya, occidental en el context euroasiàtic, però a l'est de la península ibèrica, i el pes dels factors geogràfics, en particular la compartimentada orografia, fa que hi hagi un ric mosaic de climes i microclimes, tot i el caràcter mediterrani general de les seves comarques, excepte la Val d'Aran. La dinàmica atmosfèrica situa Catalunya a cavall entre el règim dels vents dominants de l'oest i sud-oest al nord, i els anticiclons subtropicals o tropicals al sud. El patró de variabilitat de baixa freqüència de la NAO, o dipol entre l'anticicló de les Açores i les baixes d'Islàndia, té aquí una influència atenuada. A l'hivern són importants altres pròpiament mediterranis.

Catalunya posseeix un ventall molt ampli de temperatures mitjanes, des dels 17 °C a prop de la desembocadura de l'Ebre fins a valors negatius als cims més elevats del Pirineu. La precipitació, amb mitjanes anuals que van des de menys de 400 mm, a les planes baixes de Lleida, fins a més de 1.250 mm, a certs indrets del Pirineu, presenta una elevada variabilitat i intensitat, i un sorprenent ventall de règims estacionals, amb màxims a la tardor, a la primavera i, fins i tot, en un àrea pirinenca i prepirinenca, a l'estiu. Catalunya disposa, de mitjana, entre 1.800 i 2.800 hores de sol anuals, motiu pel qual, doncs, l'energia solar és un recurs energètic destacat, igual com l'eòlica en algunes comarques.

L'observació meteorològica sistemàtica a Barcelona arrenca a l'últim terç del segle XVIII (1780), de manera que la ciutat disposa de més de dos segles de registres diaris de pressió atmosfèrica i de temperatura. A la segona meitat del segle XIX s'institucionalitzà la meteorologia i aparegueren les primeres xarxes d'observatoris meteorològics, coordinades a nivell estatal per l'*Observatorio de Madrid*. L'any 1921 es va crear l'autònom Servei Meteorològic de Catalunya, que va donar un gran impuls a la meteorologia del país. Dissolt l'any 1939, el *Servicio Meteorológico Nacional*, estatal, va ser l'organisme oficial en meteorologia a Catalunya, amb la titularitat de la xarxa oficial d'estacions meteorològiques. A finals dels anys vuitanta

i durant els noranta, apareixen les estacions meteorològiques automàtiques (EMA). L'any 1996 es va crear el Servei de Meteorologia de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), amb personalitat jurídica pròpia. D'aquesta manera, a Catalunya hi ha actualment dos organismes competents en meteorologia i climatologia, l'AEMet, o *Agencia Estatal de Meteorología*, i l'SMC. Es pot concloure que l'any 2010 Catalunya disposa d'una molt alta densitat de mesura termopluiomètrica, donada per 250 EMA oficials i per unes 220 estacions meteorològiques manuals o, d'una altra manera, per 470 punts pluviomètrics i 333 on s'hi efectua la mesura de la temperatura de l'aire, que pertanyen sobretot a l'AEMet i l'SMC.

A partir de les 13 millors sèries de temperatura de Catalunya del període 1950-2008, un cop verificada la seva qualitat i homogeneïtzades, es pot afirmar que la temperatura mitjana anual s'ha incrementat entre +0,18 °C/dècada i +0,23 °C/dècada, en funció de la sèrie analitzada. La distribució geogràfica de les tendències és força uniforme, tot i que les localitzades més al nord-est presenten les tendències positives menys marcades. La tendència envers l'augment tèrmic ha estat més evident sobre la temperatura màxima que sobre la temperatura mínima. Així, mentre la temperatura màxima augmenta a un ritme aproximat de +0,25 °C/dècada, la temperatura mínima ho fa a +0,17 °C/dècada. Tant per a les màximes com per a les mínimes, l'augment tèrmic apreciat és estadísticament significatiu en tots els casos. L'anàlisi estacional indica que l'estiu és l'estació que ha experimentat l'escalfament més marcat, amb un increment de la temperatura mitjana anual que se situa al voltant de +0,35 °C/dècada, mentre que la tardor és l'única època de l'any que no mostra una tendència estadísticament significativa (+0,13 °C/dècada). L'evolució temporal de la temperatura mitjana anual al conjunt de Catalunya en aquest mateix període (+0,21 °C/dècada), expressada com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990, mostra un total domini d'anys amb valors

per damunt de la mitjana climàtica des de 1980 fins a l'actualitat.

Els estudis realitzats sobre l'evolució de la precipitació a Catalunya no mostren tendències clares, significatives i generals durant l'últim segle, ni tampoc a la seva segona meitat. L'únic tret clarament significatiu és una minva generalitzada de la precipitació al mes de març a llarg de la segona meitat del segle xx. L'anàlisi de l'evolució de la pluviometria anual i estacional a l'Observatori de l'Ebre (Roquetes), amb dades des de 1905, i l'Observatori Fabra (Barcelona), amb una sèrie que es remunta a 1914, no presenta cap tendència clara en el darrer segle. Així, els increments o dèficits pluviomètrics detectats no són estadísticament significatius.

La sèrie mitjana anual d'insolació de Catalunya, a partir de 6 punts de mesura en el període 1951-2004, mostra dos subperíodes amb un comportament clarament contrastat: 1951-1983, amb una clara davallada de la insolació, que marca al final el *global dimming*, o enfosquiment

global, i el 1984-2004, amb una tendència a l'alça nítida, que s'ha anomenat *brightening*. Les tendències parcials d'ambdós subperíodes són significatives, de -50,2 hores/dècada i de +109,4 hores/dècada, respectivament. Estacionalment, la primavera presenta l'augment d'insolació més clar des dels anys 80 del segle passat, amb una contribució destacada del mes de març.

L'anàlisi dels índexs d'extrems climàtics als observatoris de l'Ebre (1905-2008) i Fabra (1914-2008) mostren una disminució en la freqüència i durada dels períodes freds, un augment en la freqüència, intensitat i durada dels períodes càlids, i un cert augment en la intensitat de la precipitació, és a dir, la precipitació anual es reparteix en menys dies, sense que això signifiqui que anualment s'acumuli menys precipitació.

En conjunt, els resultats de les tendències observades en les variables climàtiques a Catalunya estan en consonància amb el que reflecteix el Quart Informe d'avaluació de l'IPCC.

2.1. La diversitat dels factors geogràfics i els climes de Catalunya

2.1.1. Introducció. El pes de la geografia

Catalunya ocupa una posició planetària singular. D'una banda, està situada als confins occidentals del continent eurasiàtic i és relativament propera a Àfrica. De l'altra, no és gaire lluny de l'oceà Atlàntic, a ponent, però alhora té una àmplia façana de cara a la Mediterrània a llevant —el costat més llarg del triangle esquemàtic a què s'assembla Catalunya. En resum, es troba gairebé entre dos mars i dos continents. Per tant, en una cruïlla d'influències diverses i contraposades, tant marítimes com continentals. A més, la complexitat orogràfica del territori, amb una gamma notable d'altituds i diverses alineacions muntanyoses perifèriques, interfluvis i depressions, confereix a les terres catalanes uns trets climàtics propis, que modulen el joc entre les influències esmentades anteriorment, i molt variats, tenint en compte les seves reduïdes dimensions.

La situació latitudinal de bona part de Catalunya (excepte la Val d'Aran), junt amb la posició occidental que ocupa en el continent eurasiàtic, fan que tingui un clima mediterrani, que tècnicament és un clima subtropical de façana occidental o clima subtropical amb estiu sec. Climàticament, doncs, Catalunya està pinçada entre la zona de clima marítim temperat de la façana occidental, al nord, i la del desert tropical, al sud.

D'altra banda, la diversitat climàtica de Catalunya obliga sempre a utilitzar el plural —és a dir, a parlar de *climes*— quan la resolució espacial de l'anàlisi augmenta fins a una escala comarcal o supracomarcal. Els grans contrastos d'altitud i d'exposició (orientació i pendent) configuren un complex mosaic de climes i microclimes. El pes de la geografia (en el sentit més físic) en la climatologia de Catalunya és tan marcat que de vegades es fa difícil generalitzar trets climàtics vàlids per a tot el territori. En aquesta línia, cal apuntar que hi ha molts enclavaments de clima singular respecte a la regió on s'ubiquen (ombres pluviomètriques, illots plujosos, etcètera), els quals reflecteixen la diversitat dels factors geogràfics, especialment l'altitud, la dis-

posició del relleu i la relativa llunyania del mar, entre altres.

2.1.2. La singularitat climàtica derivada de la latitud subtropical i de la posició occidental

Catalunya s'emmarca en el feix latitudinal delimitat pels paral·lels 42° 53' 00" N (al nord de la Val d'Aran) i 40° 31' 23" N (al sud del Montsià). Són gairebé dos graus i mig de latitud o, el que és el mateix, aproximadament 260 kilòmetres d'amplada en la direcció del meridià. Es tracta d'un marc latitudinal fonamentalment mediterrani o subtropical, però en la franja més septentrional. Tant és així que les terres situades més al nord de Catalunya (bàsicament, la Val d'Aran) no tenen caràcter mediterrani, sinó que pertanyen a una altra tipologia climàtica: la dels climes d'influència marítima o oceànica de latituds mitjanes. Aquesta variació latitudinal comporta una variació petita, però gens negligible, de l'altura del sol sobre l'horitzó, amb la repercussió corresponent en la intensitat de la radiació solar que incideix sobre la superfície terrestre. A les terres més septentrionals de Catalunya, en el migdia astronòmic del dia del solstici d'estiu el sol assoleix una altura d'uns 70,6° sobre l'horitzó, i de 72,9° a l'extrem sud. En el solstici d'hivern assoleix una altura de 23,7° i 26,0°, respectivament. En una latitud intermèdia de Catalunya, com ara la de Barcelona, el dia dura 9 hores i 11 minuts en el solstici d'hivern i 15 hores i 11 minuts en el d'estiu. Consegüentment, a qualsevol comarca catalana el període diürn té tot l'any una durada apreciable (ben al contrari del que succeeix en latituds elevades a l'hivern), tot i que la variació de l'estiu a l'hivern és marcada (a diferència del que passa en les latituds properes a l'equador). Així, a Catalunya la insolació és un recurs potencialment important en qualsevol època, malgrat que presenta un apreciable cicle anual.

La posició occidental de Catalunya en el continent eurasiàtic és manifesta. Com és sabut, les façanes occidentals dels continents d'aquesta franja latitudinal són més suaus que les oposades, o orientals. Els fluxos aeris generals de l'oest i del sud-oest, caracteritzats per la suavitat tèr-

mica, i, en el cas de la península ibèrica, la influència de les aigües càlides del corrent del Golf són factors que temperen el clima.

Tanmateix, Catalunya no entreveu el mar exclusivament per l'oest, sinó d'una manera molt més propera per llevant. Aquest fet, desconegut en altres regions del planeta amb climes de filiació mediterrània, confereix trets singulars al clima mediterrani de Catalunya, així com al de les regions espanyoles més properes a la Mediterrània. A gran part de Catalunya, els vents de l'oest són secs i al litoral i al prelitoral, a sotavent, poden bufar amb trets similars al *föhn*. En canvi, el vent de llevant és humit en la façana més exposada a la Mediterrània i sovint va acompanyat de nuvolositat abundant i de pluja.

La influència de la mar Mediterrània en una àmplia franja de terres catalanes —precisament, a la hipotenusa del triangle— és evident. No obstant això, aquesta influència no és nítida a mesura que es penetra a l'interior del país, a causa de l'existència d'un sistema orogràfic constituït per les serralades Litoral i Prelitoral, paral·leles a la línia costanera, que aïllen l'interior de la

influència marítima i li donen trets climàtics de continentalitat.

Finalment, convé aclarir que el caràcter mediterrani del clima de Catalunya no és sinònim de la influència que exerceix el mar. En el primer cas s'al·ludeix al seu caràcter subtropical, més clar com més al sud. En el segon, a les influències atmosfèriques del mar que hi ha a llevant de les seves terres (figura 1).

2.1.3. La influència del relleu

Catalunya té una altitud mitjana apreciable: la tercera part de la seva superfície està situada en una franja altitudinal compresa entre 600 i 1.000 metres, una dècima part es troba entre 1.000 i 2.000 metres i prop d'un 7% supera la cota de 2.000 metres. Es tracta d'unes altituds considerables, que condicionen fortament la temperatura. Si s'aplica el gradient tèrmic vertical mitjà a la troposfera, que és $-0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, la temperatura mitjana anual de Catalunya presenta una variació de més de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a causa de la l'altitud. D'aquesta manera, si al nivell del mar a les costes catalanes la temperatura mitjana anual no di-

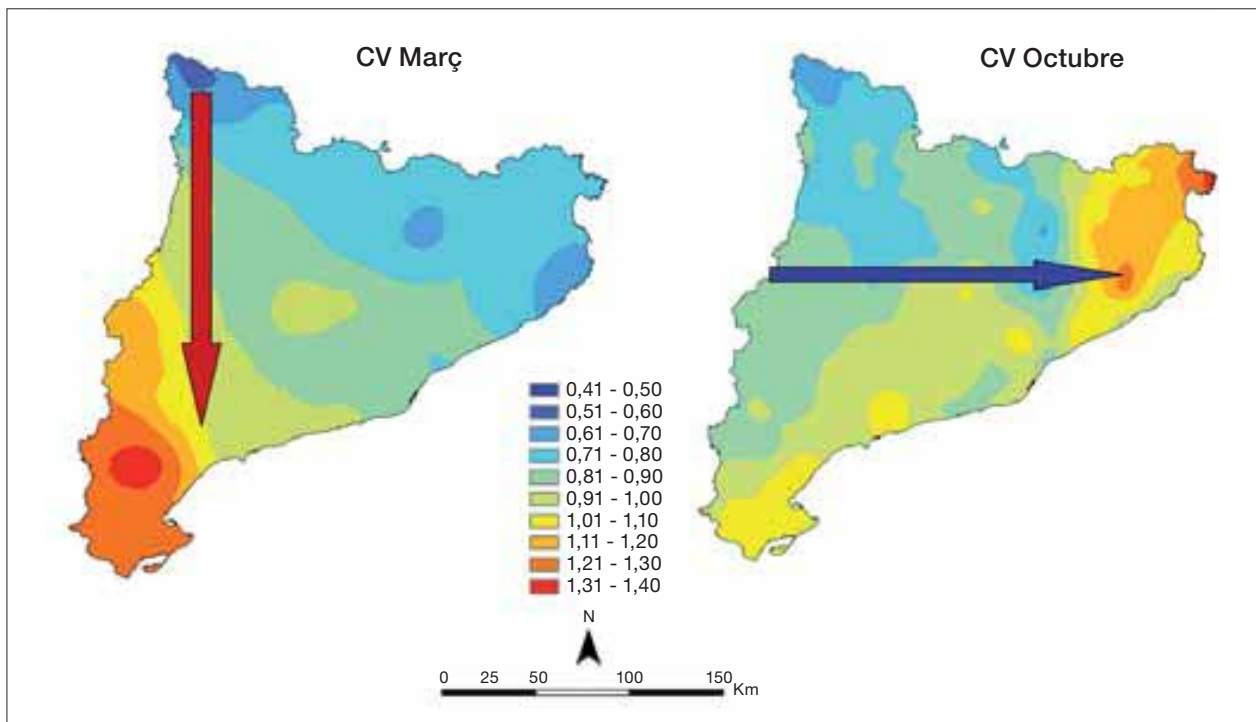


Figura 1. Exemple de les components de la mediterraneïtat (o subtropicalitat) (N-S) i de la Mediterrània (W-E). Valors del coeficient de variació de la precipitació de març i d'octubre. Al març la variabilitat pluviomètrica augmenta cap al sud; a l'octubre, cap a l'est.

Font: Cernocky et al., 2007.

fereix gaire de la mitjana planetària (15-17 °C), a les cotes més elevades del país, per sobre d'uns 2.500 metres d'altitud, i fins als 3.142 metres de la Pica d'Estats (el sostre del país), és negativa. En definitiva, doncs, Catalunya posseeix un ventall molt ampli de valors tèrmics, que es pot explicar per les diferències altitudinals.

La influència del relleu en el clima no es redueix a l'efecte del factor altitudinal, sinó també a la incidència de la disposició i de l'orientació de les alineacions muntanyoses, a l'amplada i a la robustesa d'aquestes i, a escala microclimàtica, als pendents.

Els elements del relleu de Catalunya més significatius pel que fa a la incidència en el clima, al marge de l'altitud, són els següents:

1. La presència d'una serralada elevada al nord —el Pirineu—, que marca clarament el límit septentrional del clima de caràcter subtropical (només la Val d'Aran, amb desguàs cap a l'oceà Atlàntic, sobrepassa la frontera climàtica) i protegeix el país de les masses d'aire fred procedents de latituds elevades.

2. L'estretor de la faixa de les terres baixes litorals i la presència d'un sistema muntanyós doble (serralades Litoral i Prelitoral), que limita la influència marítima directa a una franja costera reduïda i aïlla la Depressió Central catalana de la Mediterrània.

3. La compartimentació de la topografia, que compon un escaquer configurat per un conjunt de sectors elevats i per altres sectors topogràficament deprimits, fins i tot a la Depressió Central.

En termes generals dominen les alineacions muntanyoses amb orientació zonal o subzonal (SW-NE). Com a conseqüència d'això, els fluxos aeris de direcció nord o sud es troben amb un seriós obstacle. Així, les diferències entre els climes del nord i del sud són superiors a les que correspondria per la mera distància que els separa. En contrapartida, els cursos fluvials principals han excavat valls ortogonals a les alineacions del relleu. Això ha generat una nítida compartimentació de la topografia en depressions o valls limitades per serres o interfluvis, i, al mateix temps, s'observa una major diferenciació en les variables climàtiques i un augment dels tipus i

dels subtipus de climes, fet que dificulta la generalització quan es parla del clima de Catalunya. Per tot això, es requereix un gran nombre de punts d'observació meteorològica per abastar tota la diversitat climàtica del territori català.

Pel que fa a la continentalitat, s'hauria d'afegir que, atès que es tracta d'un mar gairebé tancat, les terres riberenques de la Mediterrània tenen un grau de continentalitat relativament alt, en comparació amb les costes atlàntiques. Així, per exemple, l'amplitud tèrmica mitjana anual de Barcelona —és a dir, la diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred— és 15 °C, que és apreciablement superior a la de les costes gallegues, a l'Atlàntic, on l'amplitud tèrmica és només 10 °C, aproximadament.

2.1.4. La dinàmica atmosfèrica general: la circulació de l'oest i l'estabilitat anticiclònica estival

En qualsevol esquema de la circulació atmosfèrica general, és a dir, de l'organització dels grans sistemes de vent i de pressió a escala planetària, Catalunya se situa entre el règim de vents dominants de l'oest i del sud-oest (al nord) i el règim dels anticiclons subtropicals o tropicals (al sud). En el primer cas es tracta dels típics fluxos de ponent, atlàntics, que escombren bona part de l'Europa occidental des de les latituds del nord de la península ibèrica. El temps característic associat al sistema de vents dominants de l'oest, del nord-oest i del sud-oest és humit i inestable. El pas dels típics fronts i de depressions mòbils comporta l'agreuament més clar de les característiques esmentades. Amb certa freqüència, Catalunya també presenta el règim esmentat fora del trimestre estival, encara que a vegades ho fa amb un temps fins i tot oposat, sec, a causa de la seva situació a sotavent, protegida dels vents humits atlàntics per la península ibèrica.

A l'estiu, els anticiclons subtropicals, com el conegut anticicló de les Açores, dominen l'atmosfera a gran part de la península ibèrica, almenys en les capes mitjanes i altes de la troposfera. En canvi, a les superfícies continentals com la ibèrica o l'africana propera apareixen baixes pressions d'origen tèrmic. En tot cas, aquestes baixes pressions no arriben a alterar el patró típic de gran estabilitat associat als anticiclons. En el

cas de Catalunya no es pot parlar amb propietat de baixa tèrmica, però sí de pantà baromètric, és a dir, d'un camp bàric superficial amb gradient molt escàs i valors propers als normals, característic dels mesos estivals.

Així, doncs, a gran part del territori ibèric l'estiu és sec o molt sec i assolellat, mentre que durant la resta de l'any l'afebliment o la retirada de les altes pressions subtropicals permet estratificacions de l'aire inestables i un dinamisme atmosfèric més important, amb fluxos d'aire de procedència diversa. Per tant, l'absència de pluges a l'estiu no és atribuïble a la proximitat de la Mediterrània, sinó a un tret de subtropicalitat, és a dir, a la instal·lació de la subsidència subtropical sobre les latituds peninsulars, que assoleix la culminació durant l'estiu. La Mediterrània és, potencialment, un àmbit generador o dinamitzador de processos d'inestabilitat atmosfèrica i de precipitacions, especialment a la tardor (Capel Molina, 2000; Martín-Vide i Olcina, 2001).

Els dos patrons descrits presenten una migració o pulsació estacional (a l'estiu cap al nord i a l'hivern cap al sud). D'aquesta manera s'explicaria que a l'estiu bona part de Catalunya quedi sumida en la dinàmica anticiclònica subtropical i que estigui sotmesa a unes condicions més variades la resta de l'any. Per tant, en l'estudi del canvi climàtic a Catalunya caldrà distingir, tant com sigui possible, l'hivern de l'estiu.

Tot això dona lloc a un ampli ventall de situacions sinòptiques (mapes del temps) i a uns tipus de temps diversos i contrastats.

2.1.5. L'oposició entre les masses d'aire polars i les tropicals

La franja latitudinal que abraça Catalunya és una àrea de contrast entre dos tipus de masses d'aire molt diferenciades, que clàssicament s'han anomenat *polars* i *tropicals*. Les primeres s'originen en latituds mitjanes-altes i les segones, en latituds mitjanes-baixes, i la frontera entre ambdues s'estableix al voltant del paral·lel 55° N. L'onduació d'aquesta frontera, el *front polar*, dona lloc a les típiques borrasques frontals de latituds mitjanes o altes, amb els seus característics fronts fred i càlid. L'anomenada *regió font de les masses d'aire*, on aquestes s'originen a causa de l'estancament prolongat de l'aire sobre aquesta regió,

condiciona les seves característiques meteorològiques. En aquest sentit, les masses d'aire polars són fredes o fresques, i les tropicals són càlides. La pulsació estacional que experimenta el front polar (cap al sud a l'hivern i cap al nord a l'estiu) permet que les masses d'aire polars afectin la península Ibèrica i les terres properes amb força freqüència durant el semestre fresc o fred de l'any, mentre que a l'estiu les masses tropicals s'apropien de l'atmosfera sobre gran part del territori.

Resumint, les masses d'aire que afecten Catalunya són les següents: la polar marítima, freda (o fresca) i humida; la polar continental, freda i seca; la tropical marítima, càlida i humida; la tropical continental, càlida i seca; l'àrtica marítima, freda i humida; l'àrtica continental, «siberiana», molt freda i seca, i la mediterrània, suau i humida (Jansá, 1959; Martín-Vide i Olcina, 2001).

2.1.6. Els centres d'acció. La influència de l'anticicló de les Açores i de la NAO

El centre d'acció, és a dir, la cèl·lula anticiclònica o depressionària amb més influència sobre el conjunt del clima de Catalunya, és l'*anticicló de les Açores*, un dels grans anticiclons que formen l'anomenat *cinturó subtropical o tropical d'anticiclons* de l'hemisferi nord, que coincideix amb el rosari de grans deserts boreals planetaris (Sàhara, Aràbia, etcètera). La seva posició habitual, propera a l'arxipèlag de les illes Açores (lleugerament al sud d'aquestes illes), constitueix un obstacle considerable per a les pertorbacions atlàntiques que viatgen en el règim de vents de l'oest i del sud-oest, les quals es veuen obligades a desviar-se cap a latituds més altes que les ibèriques. Amb força freqüència, l'anticicló de les Açores fins i tot projecta una falca anticiclònica cap a la península Ibèrica, de manera que la protegeix encara més de les depressions atlàntiques. A l'hivern, de vegades arriba a establir-se un pont anticiclònic sobre la península entre l'anticicló de les Açores i l'anticicló tèrmic centreeuropeu. El resultat de la presència de l'anticicló de les Açores és que bona part de la península Ibèrica rep una precipitació relativament escassa, a la modèstia de la qual contribueixen també altres factors.

Altres configuracions bàriques que caracteritzen tipus de temps significatius a Catalunya són

les següents: les *borrasques d'Islàndia*, que guien amb rapidesa els fluxos i les depressions atlàntics cap al continent i constitueixen un dipol amb l'anticicló de les Açores; l'anomenada *Oscil·lació de l'Atlàntic Nord* o NAO (*North Atlantic Oscillation*), la qual té una incidència notable en el clima d'Europa occidental a l'hivern; les *depressions de Gènova o Ligúria*, uns desenvolupaments ciclo-gènics a sotavent dels Alps, sobretot a l'hivern; la *baixa del golf de Cadis*, que reflecteix sovint l'existència d'un embossament d'aire fred en altura al sud-oest de la península ibèrica; la *baixa d'Algèria*, un desenvolupament ciclo-gènec de la Mediterrània occidental, a sotavent de la serralada de l'Atlas, vinculat a condicions de forta inestabilitat en l'atmosfera degudes a la coincidència d'aire fred en les capes altes amb una capa inferior d'aire càlid mediterrani; la *baixa africana*, estival i de caràcter tèrmic, fruit de l'intens reescalfament del substrat saharià a l'estiu, que té un reflex en forma de prolongació, o tálveg, o de baixa tèrmica —sovint només relativa— cap a l'interior de la península ibèrica en les hores centrals dels dies calorosos i està associada a un temps calorós i caliginós, i, finalment, l'*anticicló centreeuropeu*, també de naturalesa tèrmica, fruit del refredament superficial del centre i de l'est d'Europa a l'hivern, que comporta un temps fred, sovint amb boires, a l'interior del país i que reforça les característiques continentals del clima (Martín-Vide i Olcina, 2001).

Dos dels patrons de variabilitat de baixa freqüència, o teleconnexions, que tenen més incidència, sobretot hivernal, a Catalunya són la NAO i l'*Oscil·lació de la Mediterrània Occidental* o WeMO (Western Mediterranean Oscillation). La fase positiva del patró atlàntic s'estableix quan hi ha una gran diferència de pressió en superfície entre les Açores o l'Atlàntic subtropical proper a la península Ibèrica i a Islàndia, a causa de la presència de pressions altes en aquest arxipèlag i de baixes a Islàndia o a l'Atlàntic subpolar veí. En aquest cas, les latituds mitjanes-altes d'Europa reben precipitacions abundants, ja que s'estableix un règim vigorós de l'oest, els fluxos humits i les depressions del qual escombren les terres europees esmentades. En canvi, bona part de la península ibèrica, en especial el centre i el sud-oest, rep quantitats de pluja clarament infe-

riors a les normals, a causa de la proximitat de l'anticicló de les Açores.

Durant la fase negativa de la NAO s'inverteixen els valors de pressió, i la diferència baromètrica normalitzada entre les Açores i Islàndia és negativa a causa de la desaparició de l'anticicló de les Açores i, simultàniament, a causa de la presència de valors de pressió relativament alts a Islàndia. En aquest cas, el nord d'Europa experimenta un període d'escassetat de pluges, mentre que a l'extrem sud-oest del continent europeu les precipitacions solen ser abundants i sovint estan associades a depressions properes al golf de Cadis. En el cas de Catalunya, el patró NAO té una influència relativament modesta en la precipitació, a causa de la posició a sotavent de la península Ibèrica. A la costa catalana, la correlació de la precipitació hivernal amb l'índex NAO és negativa i molt dèbil ($-0,3$ per a Barcelona, al desembre, durant el segle xx). Només en terres lleidatanes la correlació negativa és estimable, amb valors per sota de $-0,5$ (Martín-Vide i Fernández, 2001).

La WeMO consisteix en el dipol format, en la seva fase positiva, per l'anticicló de les Açores i la baixa de Ligúria i, en la negativa, per la baixa del golf de Cadis i l'anticicló centreeuropeu, unes configuracions que aporten a Catalunya vents terrals de component nord en el primer cas i marítics de component est en el segon. D'aquesta manera, la precipitació al litoral català presenta una correlació negativa amb l'índex WeMO, sovint més bona que la que ofereix la NAO (Martín-Vide i Lopez-Bustins, 2006).

En resum, a efectes climàtics, les terres catalanes constitueixen un espai singular, amb influències múltiples (tropicals i polars, atlàntiques i mediterrànies) i amb trets regionals i locals diversos, com a conseqüència de les influències del relleu i d'altres factors geogràfics, que produeixen temps variats i climes diversos, tot i el predomini dels de filiació mediterrània.

2.1.7. El mosaic de climes de Catalunya

La realitat climàtica de Catalunya és molt rica i variada. La taula 1 recull una classificació climàtica pel que fa al territori català. Consta de tres nivells, el primer dels quals l'estableix la divisió fonamental, a escala planetària, entre el clima

mediterrani i l'oceànic de latituds mitjanes. El segon nivell l'estableixen les cinc unitats fisiogràfiques bàsiques de Catalunya: Pirineu, Prepirineu, Depressió Central, Prelitoral i Litoral. Finalment, una tercera subdivisió o subtipus la proporciona la divisió interna de les unitats fisiogràfiques esmentades. En definitiva, doncs, es tracta de dos grans grups climàtics, que donen lloc a sis tipus i a quinze subtipus, definits per variables pluviomètriques i tèrmiques: la precipitació mitjana anual (*P*), el règim pluviomètric estacional (*RPE*), la temperatura mitjana anual (*T*) i l'amplitud tèrmica mitjana anual (*T*) (Martín-Vide, 1992a).

La complexitat climàtica del territori català, passada i present, s'erigeix en un element de notable dificultat a l'hora d'establir i d'avaluar els canvis actuals i, especialment, les previsions futures. Atesa la complexitat geogràfica del territori i el ric mosaic de tipus i subtipus climàtics de Catalunya, no es pot esperar que en el futur la resposta sigui igual a tot el país, sinó que cal esperar matisos i contrastos. De totes maneres, la superfície reduïda del país convida a pensar en un únic escenari futur, que tanmateix serà complex a causa de la diversitat geogràfica del territori. Així, les tendències tèrmiques molt probablement seran coincidents a tot el territori, amb

diferents taxes de variació, però algunes pautes pluviomètriques, entre les quals el règim estacional, es podrien modificar en direccions diferents en el futur segons els àmbits espacials.

2.1.8. La precipitació

En aquest apartat i en el següent es resumeixen els valors principals de les variables climàtiques i la seva distribució espacial a Catalunya, a partir d'atles climàtics de Catalunya (Ninyerola *et al.*, 2001; Martín-Vide i Raso, 2003) i de Geografies (Martín-Vide, 1992a, 1992b).

La variable *precipitació* és la més destacada en el cas de Catalunya, per la relativa modestia i l'elevada variabilitat de la pluja al país, la qual cosa li confereix una importància climàtica i econòmica de primer ordre, per sobre d'altres variables climàtiques. En el marc de la península ibèrica, Catalunya presenta una precipitació mitjana anual allunyada dels extrems més plujós i més sec. El mapa pluviomètric anual de Catalunya dibuixa una àrea humida (amb més de 700 mm de precipitació) que comprèn, a l'oest del Llobregat, una mica més del terç nord del país, des del Montsec i bona part del Solsonès i del Berguedà fins a la frontera francesa. A l'est del Llobregat, la isohieta dels 700 mm trenca la seva direcció general oest-est girant cap al sud fins a arribar a

Grups/tipus	Subtipus (exemple)	P (mm)	RPE	T (°C)	ΔT (°C)	
OCEÀNIC	Val d'Aran (Arties)	900-1.100	Equilibrat	6-10	13-15	
M E D I T E R R A N I	Pirinenc	Oriental (Núria)	1.000-1.200	Màxim a l'estiu i mínim a l'hivern	3-9	13-16
		Occidental (Cabdella)	1.000-1300		2-9	
	Prepirinenc	Oriental (Olot)	850-1.100	Màxim a l'estiu o a la primavera i mínim a l'hivern	9-12	16-19
		Central (Berga)	750-1.000			
		Occidental (La Pobla de Segur)	650-900			
	Continental	Humit o Oriental (Vic)	700-850	Mínim a l'hivern	11-13	17-20
		Subhumit o Central (Súria)	550-700		12-14	
		Sec o Occidental (Lleida)	350-550	Màxims equinoccials		
	Prelitoral	Septentrional (Girona)	750-1.000	Màxims equinoccials	14-15	15-18
		Central (Terrassa)	600-900	Màxim a la tardor	11-15	
Meridional (Prades)		600-800	Màxims equinoccials	12-14		
Litoral	Septentrional (St. Feliu de Guíxols)	550-750	Màxim a la tardor	14,5-16	14-15	
	Central (Barcelona)	550-700		14,5-16,5		
	Meridional (Tarragona)	500-600		15,5-17		

Taula 1. Classificació climàtica de Catalunya.

Font: Javier Martín Vide, «El clima», a: Geografia general dels Països Catalans, Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1992a.

Sant Llorenç del Munt i, cap a l'est, fins al Montseny, i arriba a la costa del Maresme a través del Montnegre, a tall d'una dorsal pluviomètrica submeridiana. Fora d'aquesta àrea hi ha nuclis que superen el llindar esmentat, especialment els Ports de Beseit. De la mateixa manera, en l'interior es poden observar algunes ombres pluviomètriques molt vistoses, com a l'Alt Urgell (la Seu d'Urgell) i al Pallars Sobirà (Esterrí d'Àneu), a la Noguera Pallaresa i als seus afluents.

L'àrea més seca queda ben delimitada per la isohieta dels 500 mm, que forma un triangle amb un dels costats recolzat a la divisòria administrativa amb Aragó, abraça les planes de Lleida fins a sectors de la Segarra i es prolonga fins a la cubeta de Móra.

Els registres disponibles actualment no permeten localitzar amb una seguretat absoluta quin és l'indret o el sector més plujós de Catalunya. La capçalera del riu Flamisell i la divisòria d'aigües de les conques hidrogràfiques de la Noguera Pallaresa, la Noguera Ribagorçana i la Garona són alguns dels sectors més plujosos del país, tal com evidencien els observatoris de Cabdella i de l'estany Gento, amb precipitacions mitjanes anuals properes a 1.250 mm. El sector Moixeró-Puigmal també assoleix aquests valors, tal com apunta l'estació de la Molina. Aquest valor de precipitació no és especialment destacat en el context dels Pirineus, les parts central i occidental dels quals, fora de Catalunya, són més humides. Cal indicar, també, que l'òptim pluviomètric amb l'alçada, és a dir, el nivell altitudinal que registra una precipitació mitjana més elevada, s'ha de situar entre uns 800 i uns 1.100 metres a la Serralada Prelitoral i a prop d'uns 1.000 metres més amunt al Pirineu lleidatà. A partir de 2.000 metres d'altitud, aproximadament, la precipitació no augmenta al nord de Catalunya. En el costat més oposat, el punt més sec de Catalunya sí que es pot localitzar amb més precisió: no deu ser gaire lluny de la confluència del Segre amb el Cinca, al sud-oest de Lleida.

Una de les variables pluviomètriques amb més influència ambiental i socioeconòmica és el règim pluviomètric estacional, és a dir, el repartiment mitjà de la precipitació per estacions. En aquest cas, la diversitat del territori català es pot

qualificar d'extraordinària. Amb la possibilitat de permutar les estacions de vint-i-quatre maneres diferents (4 factorial), a Catalunya es donen ni més ni menys que vuit d'aquestes ordenacions, atenent a l'ordenació decreixent de les seves mitjanes pluviomètriques (figura 2):

1. Tres règims amb màxim tardorenc (tardor-primavera-hivern-estiu o TPHE, TPEH i THPE), presents al litoral i al prelitoral.
2. Tres règims amb màxim de primavera (PTEH, PTHE i PETH), principalment al sector occidental de la Depressió central.
3. Dos règims amb màxim estival (EPTH i ETPH), a bona part del Pirineu i del Prepirineu, que es prolonguen fins a la plana de Vic.

Fins i tot, a la Val d'Aran hi ha un règim que es podria anomenar *equilibrat*, ja que la precipitació es reparteix regularment entre les quatre estacions. Els règims amb màxim estival, que es combinen amb un mínim hivernal, suposen una inversió completa del ritme característic del clima mediterrani, per la qual cosa convé utilitzar adjectius com *submediterrani* o altres adjectius alternatius per qualificar-los.

Probablement, una de les qüestions més complexes que es planteja a Catalunya és com el canvi climàtic pot afectar els règims pluviomètrics estacionals, a causa de la seva diversitat actual.

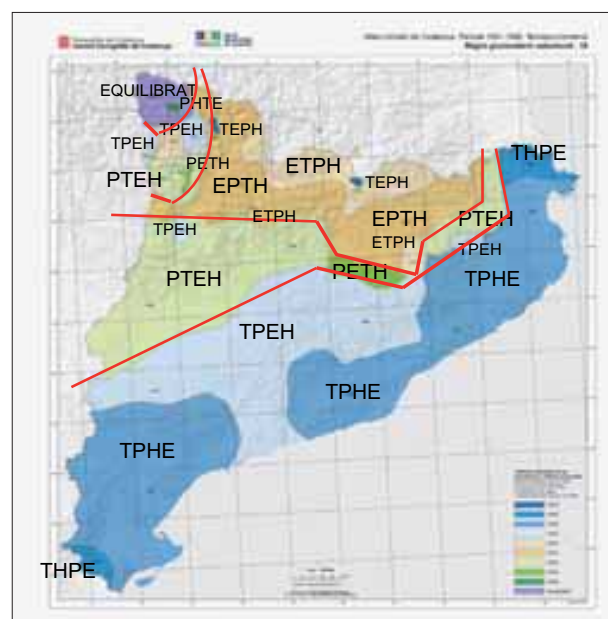


Figura 2. Règims pluviomètrics estacionals (vegeu el text). Font: Martín-Vide i Raso, 2003.

Cal pensar, a més, que conques hidrogràfiques com la del Llobregat o la del Ter, vitals pel que fa al subministrament d'aigua a ciutats i àrees metropolitanes molt poblades, mostren un comportament hídic estacional compensat, ja que els màxims estivals de les seves capçaleres contribueixen a l'estabilitat dels cabals de la resta de la conca, que presenta una estació seca estiuenca. Una modificació d'aquests patrons, certament equilibrats, comportaria una alteració notable dels recursos hídrics disponibles en el repartiment temporal.

A Catalunya, les sèries temporals disponibles sobre la freqüència de la precipitació (o nombre de dies de precipitació) són de dubtosa homogeneïtat. En tot cas, es pot indicar que el nombre mitjà anual de dies de precipitació apreciable ($\geq 0,1$ mm) va des de poc més de 50 a la confluència del Segre i el Cinca i a l'embassament de Riba-roja fins a uns 125 a la Val d'Aran. El nombre mitjà anual de dies amb neu, molt sensible a l'augment de temperatura, va des d'1 al litoral del Baix Ebre i del Montsià fins a més de 50 als cims del Pirineu de Lleida.

Els valors de la innivació, tant en quantitat com en freqüència, molt probablement experimentaran un canvi significatiu com a conseqüència de l'escalfament climàtic global i regional. Això no significarà, però, la desaparició de les grans nevades, però sí un descens en la importància que té la neu en una part del territori.

La coneguda variabilitat pluviomètrica elevada del clima mediterrani queda perfectament reflectida a Catalunya, ja que el coeficient de variació anual de la precipitació supera el llindar del 20% a tot el país (si s'exceptua la Val d'Aran), la qual cosa precisament avala descartar aquesta comarca de l'àmbit climàtic mediterrani. Aquests valors són indicatius d'una pluviometria en què les mitjanes resulten poc significatives o, en altres paraules, la pluja és un recurs amb un notable grau d'incertesa pel que fa al volum mitjà. Cal indicar, a més, que a les terres del litoral meridional el coeficient de variació anual arriba a assolir el 40% (és el cas, per exemple, de l'Ametlla de Mar), la qual cosa situa el Baix Ebre entre els territoris amb una pluviometria anual més variable de la península ibèrica, comparable a la d'algun sector del sud-est peninsular.

La intensitat de la precipitació és una altra de les variables més importants en el clima mediterrani. Els elevats valors que presenta obliguen a considerar les precipitacions torrencials com un dels riscos climàtics més notables en aquest tipus de clima. Les sèries disponibles permeten distingir les franges litoral i prelitoral, així com certs sectors del Pirineu, com les àrees catalanes on la precipitació mostra intensitats instantànies i minutals més altes, amb puntes superiors a 5 mm/min durant alguns aiguats de tardor i tempestes estivals. Amb una resolució diària, pràcticament cada any se superen els 100 mm en algun observatori, i s'han arribat a ultrapassar els 400 mm en una única jornada.

2.1.9. La temperatura i altres elements

Sens dubte, i malgrat els importants contrastos en els valors a causa de les diferències altitudinals, a Catalunya la temperatura és una variable molt més fàcil de regionalitzar que la precipitació. La mitjana anual es podria deduir raonablement d'un model de regressió múltiple amb tan sols dues variables independents: l'altitud i la latitud. En un altre ordre de coses, la latitud mitjana de les terres catalanes imposa un contrast tèrmic clar al llarg de l'any. Encara que sembli obvi, cal dir que és la temperatura la que defineix les estacions climàtiques a Catalunya, a diferència del que succeeix en latituds baixes. En termes generals, a Catalunya l'estiu és calorós, si s'exceptuen els cims pirinencs, i l'hivern és moderadament rigorós (i fins i tot suau al litoral).

La isoterma anual dels 14 °C distingeix la franja més càlida —les terres baixes del litoral i del prelitoral—, que es prolonga per la vall de l'Ebre fins a la Depressió Central (l'Urgell i el Segrià). En contrapartida, la isoterma dels 10 °C rodeja les terres més fredes —pirinenques i prepirinenques—, així com els cims del Montseny. Les previsions globals i regionals d'increment tèrmic per a l'horitzó de l'any 2100 ampliarien molt la superfície del territori català amb mitjanes anuals superiors a 14 °C i disminuiria sensiblement la dels sectors amb menys de 10 °C, independentment de l'escenari d'emissions.

L'amplitud tèrmica mitjana anual (o diferència entre les temperatures mitjanes dels mesos més càlid i més fred), que és un veritable índex de

continentalitat, presenta valors realment elevats a l'àrea occidental de la Depressió central catalana i a la conca de Tremp, ja que assoleix aproximadament 20°C, no gaire lluny dels valors més elevats de la península ibèrica. Al litoral, un valors propers a 15°C denoten una influència marítima atenuada, en comparació amb l'efecte de l'oceà en altres costes ibèriques, que és fruit de les característiques pròpies de la Mediterrània, una mar semitancada.

El nombre mitjà anual de dies de gelada és molt reduït a la costa catalana, notable a la Depressió central i elevat als sectors més alts del país. L'escalfament global i regional comportarà, amb un marge de dubte molt petit, una disminució general del risc de gelades.

Altres elements climàtics, com la insolació, la nuvolositat, la humitat de l'aire, la velocitat i la direcció del vent, compten amb registres relativament escassos a Catalunya, fet que en dificulta la conversió en sèries autènticament climàtiques, és a dir, llargues, homogènies i fiables. Catalunya disposa, de mitjana, d'entre 1.800 i 2.800 hores de sol anuals, per la qual cosa l'energia solar és un recurs energètic destacat. Els extrems nord-oriental i sud-occidental de Catalunya, a causa de la tramuntana i del mestrall, respectivament, així com els cims més elevats del Pirineu, són àrees ventoses, amb algunes ratxes de velocitat màxima absoluta d'uns 200 km/h.

2.2. L'observació meteorològica i les sèries climàtiques disponibles

2.2.1. L'observació meteorològica a Catalunya (del segle XVIII a l'actualitat)

Les primeres observacions meteorològiques al Principat van unides al moviment de la Il·lustració, un moment d'eclosió intel·lectual i científica que s'inicià a mitjan segle XVIII i del qual Catalunya, en especial la ciutat de Barcelona, no en va restar al marge. El pensament il·lustrat cercava la visió global i interdisciplinària de les ciències, un enfocament més obert a les ciències naturals i menys tradicional i ortodox. En aquest marc, diversos metges, físics, farmacèutics, matemàtics, etcètera, centraren els seus estudis en l'anàlisi dels fenòmens atmosfèrics i en la necessitat de

disposar de registres sistemàtics i continus per comprendre'ls.

En aquest context, el doctor Francesc Salvà i Campillo realitzà durant quaranta-vuit anys, de 1780 a 1827, observacions diàries amb instruments instal·lats al seu domicili, al carrer de Petritxol de Barcelona. Efectuava tres observacions diàries, a les sis o les set del matí, a les dues de la tarda i a les onze de la nit, i prenia anotacions de la temperatura de l'aire, la pressió atmosfèrica, el règim de vents, l'estat del cel i la humitat relativa de l'aire (aquesta darrera observació fou incorporada més tard) (figura 3). Continuà la tasca el seu deixeble Pere Vieta i Gibert, des d'un altre emplaçament, a la seu del *Diari de Barcelona* (carrer de la Llibreteria, 22). Vieta instal·là els instruments en les mateixes condicions que havia consignat Salvà i seguí escrupolosament la mateixa metodologia que aquest fins a 1854, quan el metge J. R. Campaner, probablement des del carrer del Carme, continuà les observacions fins a 1876. També a Barcelona, gairebé coetàniament, el matemàtic Llorenç Presas inicià observacions meteorològiques l'any 1848, i no les abandonà fins al 1874, pocs mesos abans de morir.

A mitjan segle XIX, aquestes lloables iniciatives individuals deixaren pas a la progressiva institucionalització de les observacions meteorològiques, i aparegueren les primeres i incipients xarxes d'observatoris meteorològics, coordinades a nivell estatal per l'Observatorio de Madrid. Així fou com s'iniciaren les observacions a la Universitat de Barcelona el gener de 1855, primer des de la seva ubicació al carrer del Carme i, posteriorment, des de la plaça de la Universitat. En el darrer terç del segle XIX aparegueren altres punts d'observació, tot i que sense arribar a constituir una veritable xarxa d'observatoris. En són bons exemples els casos de Balaguer, amb dades de 1862 a 1868, de Vilert-Banyoles (des de 1867), de Tortosa (des de 1880), d'Igualada (des de 1881) o de Mataró (des de 1884).

El primer pas ferm per a la creació d'una xarxa catalana d'observatoris no s'efectuà fins a final de 1893, quan el director de la Granja Experimental de la Diputació Provincial de Barcelona, Hermenegildo Gorrià, exposà la necessitat d'augmentar el nombre d'estacions meteorològi-

The image shows a handwritten meteorological table with multiple columns. The left side contains numerical data for various locations and dates, while the right side lists locations and their corresponding weather observations. The handwriting is in cursive and the paper shows signs of age.

Figura 3. Imatge escanejada del primer full de les taules meteorològiques elaborades pel doctor Salvà corresponents al gener de 1780.

Font: Francesc Salvà, Taules meteorològiques. 1780-1824, 3 vol., Arxiu de la Reial Acadèmia de Medicina (ARAM).

ques en benefici de l'agricultura. Així fou com nasqué, l'any 1895, la Xarxa Meteorològica de Catalunya i Balears, amb un total de catorze observatoris inicials, que arribaren a ser una cinquantesena, i amb la col·laboració inestimable del doctor Eduard Fontserè i de la mateixa Diputació provincial. Al tombant de segle, les dificultats econòmiques de la institució impediren la consolidació i l'ampliació de la xarxa. Afortunadament, però, Rafael Patxot, un conegut mecenes i observador de l'Observatori Català de Sant Feliu de Guíxols, va recollir el testimoni i el repte de continuar els treballs i va crear la Xarxa Pluviomètrica Catalana. Sota el seu mecenatge, la xarxa es va anar enfortint fins a assolir el nombre gens menyspreable d'una seixantesena d'estacions a final de la dècada de 1910. En aquest context, l'any 1910 es fundà la Sociedad Astronómica de Barcelona, una entitat que cercava la divulgació popular de les ciències astronòmica i meteorològica. Un any més tard, aquesta entitat es féu càr-

rec de la xarxa impulsada per Patxot i, amb la col·laboració de l'Observatorio Central Meteorológico, va ampliar el nombre d'observatoris fins a 224 a final de 1918 (Prohom, 2006), bona part dels quals eren exclusivament pluviomètrics. A l'inici de la dècada de 1920, nous problemes de finançament forçaren la dissolució de l'entitat, però la creació per la Mancomunitat de Catalunya del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) l'any 1921 va impedir l'estroncament de la xarxa ja creada. Durant els seus més de disset anys de vida, l'antic Servei va donar un impuls extraordinari a la meteorologia a Catalunya i, amb alguns dels seus treballs, de gran valor científic, va adquirir un important prestigi internacional. Mitjançant les *Notes d'estudi* es publicaren els reculls pluviomètrics dels observatoris catalans, que ja eren prop de 350 a final de 1934, i la seva activitat es va mantenir fins a l'entrada de les tropes franquistes a Barcelona, el gener de 1939, al final de la guerra civil espanyola. L'SMC va

quedar suprimit i tot el fons material i documental fou confiscat i passà a formar part del fons documental del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependent del Ministerio del Aire. Des d'aleshores, el manteniment i l'ampliació de la xarxa oficial d'estacions meteorològiques depengué completament i exclusivament de l'SMN. Pel que fa al cas català, les estacions es distribuïren en dues xarxes i dos centres: depenien de Saragossa les estacions situades a la conca de l'Ebre, i de Barcelona les dels Pirineus orientals (o conques internes). Després del descens en el nombre d'estacions associat al període de la guerra civil i de la postguerra, el nombre d'estacions augmentà progressivament i assolí un valor màxim cap a la dècada de 1980, quan s'apropà a 350 estacions manuals pluviomètriques, dues-centes de les quals eren alhora termomètriques. L'any 1978 es reestructurà l'antic SMN, que passà a denominar-se *Instituto Nacional de Meteorología* (INM), i es va preveure l'existència dels Centros Meteorológicos Territoriales. L'any 1979 s'establiren les seus d'aquests centres i es delimità el territori en regions meteorològiques d'acord amb els límits naturals definits per les grans conques hidrogràfiques, els quals van ser de nou redefinits l'any 1982. No va ser fins a l'any 1992 que s'establí el nom i la demarcació de quinze centres, amb una delimitació geogràfica que coincidia en molts casos amb la divisió administrativa de les comunitats autònomes, i Barcelona esdevingué la seu del corresponent Centro Meteorológico Territorial de Cataluña. En la mateixa època, a final dels anys vuitanta i durant els anys noranta del segle passat, apareixen i proliferen a Catalunya les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA), com a resposta a una nova realitat social. Es normalitza l'accés en temps real a molta informació i s'abarateixen notablement els equips que constitueixen les EMA i els sistemes de comunicació remota. L'INM va instal·lar en aquell període una dotzena d'EMA a Catalunya. D'altra banda, en consonància amb la consolidació de la democràcia i l'ampliació de l'autogovern català, neix simultàniament en diversos departaments de la Generalitat de Catalunya la necessitat de disposar de dades meteorològiques, amb la qual cosa s'instal·laren a Catalunya més de 200 punts de mesura meteorològica automàtica, gestionats

de manera independent i amb finalitats ben diferents (agronòmica, forestal, vigilància i prevenció de la contaminació atmosfèrica, gestió energètica, estudi del risc d'allaus, etcètera). A més, durant la mateixa dècada i amb un interès hidrològic, també es posen en funcionament al territori els Sistemes Automàtics d'Informació Hidrològica (SAIH) i s'estableix una xarxa addicional d'unes 120 estacions pluviomètriques. En la mateixa dècada, l'any 1996, el Consell Executiu de la Generalitat de Catalunya creà el Servei de Meteorologia de Catalunya, embrió de l'actual Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), que es va dotar de personalitat jurídica pròpia amb l'aprovació de la Llei 15/2001, de 14 de novembre, de meteorologia, i va recuperar el nom oficial anterior a l'abolició de l'any 1939. Durant la primera dècada del segle XXI, l'SMC ha tingut la funció de racionalitzar les diverses xarxes precedents gestionades des de la Generalitat de Catalunya i les ha agrupat totes en una única xarxa anomenada XEMA (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques), integrada en la Xarxa d'Equipaments Meteorològics de la Generalitat de Catalunya (XEMEC). Més recentment, l'any 2008 es va crear l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMet), que assumí les competències de l'antic INM. Des de l'any 2003 fins a l'actualitat, els dos organismes competents en meteorologia i climatologia a Catalunya, l'AEMet i l'SMC, efectuen anualment un intercanvi de dades meteorològiques de les estacions respectives que gestionen, però les polítiques diferents de subministrament de dades a tercers que segueixen han conduït a una situació de desplegament independent de les xarxes respectives. Pel que fa a estacions automàtiques, la XEMA disposa avui de 165 punts de mesura de diferents variables meteorològiques, amb sistemes de mesura i procediments de control de qualitat de dades homogenis, als quals caldrà sumar els cinquanta pluviòmetres operatius actualment a les conques internes del SAIH i una petita xarxa d'onze punts amb mesura de la radiació solar que estan pendants d'integrar-s'hi. D'altra banda, l'AEMet també ha augmentat el nombre d'EMA al territori, ja que actualment en gestiona unes trenta. Pel que fa a les xarxes d'estacions manuals, en primer lloc és important remarcar la importància cabdal de la tasca d'ob-

servació diària, la qual permet donar continuïtat a les sèries d'observacions de meteors i de registres que són d'interès per a l'estudi de la variabilitat climàtica del nostre país, i cal assenyalar que algunes variables meteorològiques no queden cobertes per les prestacions actuals de la major part d'EMA. L'AEMet disposa avui d'unes 200 estacions manuals. L'any 2009, per tal d'ampliar la disponibilitat i el tipus d'informació que l'SMC necessita per poder desenvolupar les tasques que li pertocquen, tant en matèria de predicció i de vigilància meteorològica com per al coneixement i la caracterització del clima de Catalunya, s'ha creat la Xarxa d'Observadors Meteorològics, XOM, que té avui un centenar d'observadors i vuitanta estacions manuals, la major part de les quals són també col·laboradores de l'AEMet. Així, es pot concloure que l'any 2010 Catalunya disposa d'una altíssima densitat de mesura termopluiomètrica, facilitada per 250 EMA oficials i per unes 220 estacions meteorològiques manuals o, expressant-ho d'una altra manera, per 470 punts pluviomètrics i 333 punts de mesura de la temperatura de l'aire. En definitiva, un gran potencial d'informació per a l'estudi de la variabilitat climàtica en el futur.

2.2.2. Les sèries climàtiques disponibles a Catalunya

En el camp de l'observació meteorològica, Catalunya disposa d'un ampli bagatge científic, tant pel nombre de punts d'observació com per la cobertura temporal de les sèries meteorològiques que se'n deriven, les quals són la base per poder constituir les sèries climàtiques que s'utilitzaran en l'estudi del clima.

Malauradament, la disponibilitat d'aquesta informació no és sempre fàcil i evident, ateses les circumstàncies històriques patides pel nostre país durant el segle XX i la inexistència d'un únic organisme que s'hagi encarregat de recollir i de concentrar tot aquest material d'una manera efectiva i sistemàtica. Com a conseqüència, la informació meteorològica en forma de sèries és sovint incompleta, escapçada, es troba dispersa en diferents fonts i arxius i, en el pitjor dels casos, s'ha perdut.

Per aquest motiu, un pas previ a l'anàlisi i a l'estudi de les sèries cal que consideri forçosa-

ment la localització, la identificació, la preservació i la digitalització de la informació generada pels diferents observatoris al llarg de la seva història, per millorar així la qualitat i la completesa de les sèries meteorològiques. Aquesta feixuga tasca limita sovint la disponibilitat real i final de les sèries, tot i que en els darrers anys s'està fent un esforç des de diverses institucions i centres de recerca per tal d'augmentar el coneixement i el nombre de sèries disponibles. En aquest sentit, actualment l'SMC està duent a terme un esforç per detectar i completar les sèries de dades meteorològiques existents a Catalunya i per generar una Base de Dades Meteorològiques de Catalunya de qualitat i oberta a tothom.

Pel que fa al tipus de variables meteorològiques mesurades, bona part de les sèries disponibles a Catalunya són termomètriques i, sobretot, pluviomètriques. El motiu d'aquest predomini de les observacions pluviomètriques per damunt de qualsevol altra rau probablement en un conjunt de factors: el baix cost econòmic de l'instrumental, les poques exigències en relació amb les condicions d'instal·lació i l'elevada variabilitat del règim pluviomètric del nostre país, que requereix una densa cobertura espacial d'observatoris. Malgrat tot, també hi ha sèries d'altres variables meteorològiques, tant d'observació instrumental (com ara pressió atmosfèrica, evaporació, velocitat i direcció del vent o insolació) com no instrumental (estat del cel, meteors o visibilitat), per bé que tenen una cobertura temporal i espacial molt més esparsa. Mentre que Catalunya disposa de més d'un centenar de sèries pluviomètriques, les sèries de temperatura no arriben a la cinquantena i les de pressió atmosfèrica i d'insolació voregen la desena, fent referència en tots els casos a sèries que assoleixin uns criteris mínims de qualitat i una cobertura temporal àmplia.

D'altra banda, abans de procedir a l'anàlisi de les sèries i d'extreure'n d'una manera efectiva el senyal climàtic, són necessàries certes actuacions. En primer lloc, cal efectuar una *anàlisi de la qualitat* de les dades, per detectar possibles valors erronis que poden tenir l'origen en el mateix moment de la presa de l'observació o en processos posteriors (per exemple, en la digitalització de la informació quan es fa el pas del suport en paper al suport digital). Igualment, és essencial realitzar

un estudi de l'homogeneïtat de les sèries. Així, es considera que una sèrie és homogènia quan les tendències o les variacions observades són conseqüència únicament de factors climàtics.

Tant en el procés de control de la qualitat com en el d'anàlisi de l'homogeneïtat esdevé cabdal el coneixement de la *metadada* d'una sèrie, és a dir, l'historial d'incidències que l'hagi pogut afectar, com ara els canvis d'ubicació o d'exposició dels instruments, els canvis en el tipus d'instrumental, l'alteració en les tècniques d'observació, etcètera.

Un cop finalitzat el procés, només aquelles sèries que presenten una bona cobertura temporal i una qualitat i una homogeneïtat provades poden ser emprades sense reserves com a definidores de l'evolució climàtica d'una regió.

2.3. Canvis en l'estat mitjà del clima

La constatació d'una tendència significativa envers un increment o un decrement en els valors mitjans d'un determinat element climàtic esdevé un primer símptoma de canvi climàtic. En aquest sentit, l'evolució a llarg termini de la temperatura mitjana o de la precipitació acumulada en un determinat interval de temps (mensual, estacional, anual, etcètera) esdevenen indicadors prou útils i de fàcil comprensió.

2.3.1. Canvis en la temperatura

2.3.1.1. Canvi a llarg termini i contextualització espacial

Des de principi de la dècada de 1980 es va reprendre l'interès per documentar l'evolució de la temperatura global mitjançant la utilització de registres tèrmics d'alta qualitat i d'homogeneïtat provada. Diferents grups de científics van recopilar i analitzar en una base anual, estacional i mensual les sèries tèrmiques més llargues i creïbles existents arreu del planeta, per tal d'analitzar l'evolució de la temperatura de l'aire al llarg del període instrumental (aproximadament, de 1850 en endavant). L'equip liderat pel professor Phil Jones, director de la Climatic Research Unit de la School of Environmental Sciences de la Universitat d'East Anglia (Norwich, Regne Unit), va ser el pioner en la compilació i en l'anàlisi de les sèries més llargues de la temperatura arreu del

planeta (Jones *et al.*, 1982, 1985, 1986, 1999; Jones i Moberg, 2003; Broham *et al.*, 2006). Les corbes hemisfèriques i globals elaborades van documentar fefaentment l'escalfament global, i aquestes reconstruccions han estat a bastament utilitzades pels diferents informes del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC, en les sigles en anglès). Les avaluacions de l'IPCC dels anys 1990, 1995, 2001 i 2007 es fan ressò d'aquests i d'altres estudis com a proves de la deriva tèrmica recent i del caràcter *inequívoc* de l'escalfament global observat (IPCC, 2007). Altres grups de científics (Hansen i Lebedeff, 1987, 1988; Hansen *et al.*, 1999; Peterson *et al.*, 1999; Vinnikov *et al.*, 1990; Lugina *et al.*, 2005), a partir d'altres bases de dades i d'altres tècniques d'homogeneïtzació, d'interpolació espacial i d'estimació de tendències diferenciades van arribar a resultats similars, la qual cosa dona encara més solidesa a la realitat de l'escalfament global (Jones, 2001).

Malauradament, l'escassa disponibilitat de sèries llargues de la temperatura de l'aire que tinguessin una qualitat suficient i una homogeneïtat provada va entorpir i va retardar les reconstruccions de l'evolució tèrmica a escales més petites que la global, com ara a escala regional, subregional o nacional. En el cas espanyol no serà fins a la dècada de 1990 que es produeixin les primeres aportacions que tendeixen a documentar el canvi de la temperatura de l'aire en el conjunt espanyol (Oñate i Pou, 1996) o en algunes de les regions de la península ibèrica (Esteban-Parra *et al.*, 1995). I no serà fins a la primera dècada del segle XXI que s'incrementi lleugerament el nombre d'estudis per documentar el canvi a llarg termini de la temperatura a Espanya (Esteban-Parra *et al.*, 2003; Brunet *et al.*, 2002, 2006, 2007a i 2008) i a diferents regions peninsulars: Catalunya (Brunet *et al.*, 2001a-b), Aragó (Abaurrea *et al.*, 2001), Castella i Lleó (Morales *et al.*, 2005), Castella-la Manxa (Galán *et al.*, 2001) i Múrcia (Horcas *et al.*, 2001).

Tots aquests estudis indicaren la realitat de l'escalfament a escala espanyola i mostraren una evolució i unes tendències tèrmiques temporals similars. De l'estudi de Brunet *et al.* (2007a), utilitzat pel Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en la primera fase del projecte per a la generació

regionalitzada d'escenaris de canvi climàtic per a Espanya (Brunet *et al.*, 2007b), es desprenen els trets característics del canvi a llarg termini de les temperatures a Espanya. En aquest estudi es representà per primer cop l'evolució tèrmica conjunta de l'Espanya peninsular, mitjançant la creació d'una corba regional d'anomalies tèrmiques (diferències respecte d'un període base o de referència climàtica: 1961-1990) i seguint la metodologia descrita per Jones i Hulme (1996), que descompon els valors de qualsevol variable climàtica en els seus dos components bàsics: la climatologia i la anomalia, juntament amb l'aplicació de llur aproximació per estimar sèries regionals del clima.

Tal com es representa i es recull en l'informe de l'MMA (Brunet *et al.*, 2007b) i tal com es descriu en l'estudi de Brunet *et al.* (2007a), l'evolució tèrmica espanyola dels darrers 150 anys mostra una clara tendència a l'escalfament, amb una taxa de canvi anual de 0,10 °C/dècada per al període 1850-2005 (0,13 °C/dècada per al període 1901-2005), la qual gairebé duplica la taxa estimada a escala global per al segle xx (0,07 °C/dècada). Ara bé, aquesta tendència no és lineal, ja que l'escalfament no s'ha produït d'una manera monòtona o gradual, sinó que ha estat modulad per fases de comportament tèrmic diferenciat, similars a les experimentades en escales més grans (global i hemisfèriques). Des de les fredes dècades de la segona meitat del segle XIX, el segle XX arrancà amb una fase d'increment tèrmic moderat que s'allargà fins a final de 1940. A partir d'aquí, fins a principi de la dècada de 1970 les temperatures espanyoles es van estancar i es van reduir d'una manera no significativa, i l'any 1973 s'inicià un increment tèrmic fort i sostingut, sense precedents en el registre instrumental espanyol. En aquesta intensa fase d'increment tèrmic recent (1973-2005), l'escalfament s'ha accelerat, amb una tendència de 0,48 °C/dècada, que gairebé arriba a triplicar la taxa global (0,17 °C/dècada). A més a més, totes les estacions de l'any s'han escalfat a llarg termini (tant per al període 1850-2005 com per al segle XX), amb taxes de canvi similars (aproximadament, 0,10 i 0,13 °C/dècada en cada cas), però amb el recent període de clima forçat antròpicament (IPCC, 2007) la primavera i l'estiu ho han fet a un ritme molt més alt (0,77 i 0,67 °C/dècada,

respectivament) que no pas l'hivern (0,48 °C/dècada) i la tardor (0,29 °C/dècada).

L'escalfament evidenciat en les sèries d'anomalies de la temperatura mitjana diària ha estat més influenciat, a llarg termini, pel fort increment de les temperatures màximes que per l'augment que han experimentat les temperatures mínimes. En efecte, si s'examina l'evolució de les temperatures mitjanes de les màximes i de les mínimes diàries, ha estat l'increment de les temperatures màximes, més fort, el que ha modulad l'increment tèrmic espanyol a llarg termini, tant per al conjunt del període instrumental com, particularment, per al segle XX (0,17 i 0,09 °C/dècada, per a les màximes i les mínimes, respectivament). No obstant això, aquest escalfament diürn diferencial s'ha suavitzat en el període recent de fort increment tèrmic, ja que les taxes de canvi de les dues variables han estat gairebé idèntiques (0,51 °C/dècada per a les màximes i 0,47 °C/dècada per a les mínimes). S'han reportat resultats similars en espais veïns de Catalunya: a l'Aragó, per Abaurrea *et al.* (2001); a França, per Abarca del Río i Mestre (2006), i a Itàlia, per Brunetti *et al.* (2006), que són indicatius d'un patró d'escalfament diürn similar per a la Mediterrània occidental.

2.3.1.2 Tendències recents de la temperatura a Catalunya

La temperatura és una variable que, per les característiques que té, permet una bona regionalització de la seva evolució temporal, encara que es disposi d'un nombre de sèries no gaire ampli.

El Servei Meteorològic de Catalunya elabora un *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics* (BAIC) que presenta la tendència dels valors mitjans de la temperatura. El *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics. Any 2008*, consultable al web www.meteo.cat, mostra en un dels apartats la tendència de la temperatura mitjana a Catalunya des de 1950 fins a 2008 a partir de l'anàlisi de les dades procedents de tretze observatoris (taula 2). La seva distribució espacial, tot i no ser òptima, recull força bé la diversitat climàtica del país, ja que inclou tant els àmbits costaners i del prelitoral com les àrees de clima més continental i de muntanya.

Els resultats il·lustren que la temperatura mitjana anual s'ha incrementat a tots els indrets

Sèrie climàtica	Municipi/Comarca	Cobertura temporal
Observatori de l'Ebre	Roquetes / el Baix Ebre	1950-2008*
Observatori Fabra	Barcelona / el Barcelonès	1950-2008*
El Pont de Suert	El Pont de Suert / l'Alta Ribagorça	1950-2008
Vielha	Vielha e Mijaran / la Val d'Aran	1950-2008
Figueres	Figueres / l'Alt Empordà	1950-2008
Girona	Girona / el Gironès	1950-2008
Moià	Moià / el Bages	1950-2008
Cardedeu	Cardedeu / el Vallès Oriental	1952-2008
Aeroport de Barcelona	El Prat de Llobregat / el Baix Llobregat	1951-2008
Aeroport de Reus	Reus / el Baix Camp	1952-2008
Lleida	Lleida / el Segrià	1950-2008
Flix	Flix / la Ribera d'Ebre	1950-2008
Tivissa	Tivissa / la Ribera d'Ebre	1950-2008

Taula 2. Sèries climàtiques de temperatura utilitzades i període d'anàlisi (tot i que les dues sèries marcades amb un asterisc disposen de més anys de dades, per a l'estudi s'escollí el període comú 1950-2008).

analitzats de manera significativa des de 1950 fins a l'actualitat. L'increment es fixa en una forquilla que oscil·la entre $+0,18$ °C/dècada i $+0,23$ °C/dècada, en funció de la sèrie analitzada (figura 4). La distribució geogràfica de les tendències és força uniforme i únicament es podria assenyalar que les sèries localitzades més al nord-est presenten les tendències positives menys marcades.



Figura 4. Tendència de la temperatura mitjana anual per al període 1950-2008, expressada com a increment de la temperatura per dècada. L'asterisc al costat del valor numèric indica que l'increment és estadísticament significatiu, amb un nivell de confiança del 95% (segons el test de Mann-Kendall). Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

La mateixa anàlisi, però aplicada a la temperatura màxima i mínima mitjana anual, indica que en aquest període més recent, tal com s'indicava anteriorment, la tendència envers l'augment tèrmic ha estat més evident en la temperatura màxima que en la mínima (figura 5). Així, mentre la temperatura màxima augmenta a un ritme aproximat de $+0,25$ °C/dècada, la temperatura mínima ho fa a $+0,17$ °C/dècada. Tant per a les màximes com per a les mínimes, l'augment tèrmic apreciat és estadísticament significatiu en tots els casos. L'anàlisi estacional indica que l'estiu és l'estació que ha experimentat l'escalfament més marcat, amb un increment de la temperatura mitjana anual que se situa al voltant de $+0,35$ °C/dècada, mentre que la tardor és l'única època de l'any que no mostra una tendència estadísticament significativa ($+0,13$ °C/dècada).

Amb la idea de presentar l'evolució temporal de la temperatura mitjana per al conjunt de Catalunya en aquest mateix període, s'ha obtingut la figura 6 a partir dels valors mitjans anuals de les tretze sèries indicades, expressats com a anomalia respecte al període de referència 1961-1990. S'hi observa un clar predomini d'anys amb aquesta temperatura mitjana anual global per damunt de la mitjana climàtica, fet que es manifesta d'una manera més evident i sostinguda des de 1980 fins a l'actualitat. Només la dècada de 1970 presenta uns quants anys consecutius amb anomalies negatives de temperatura més o menys generalitzades. La tendèn-

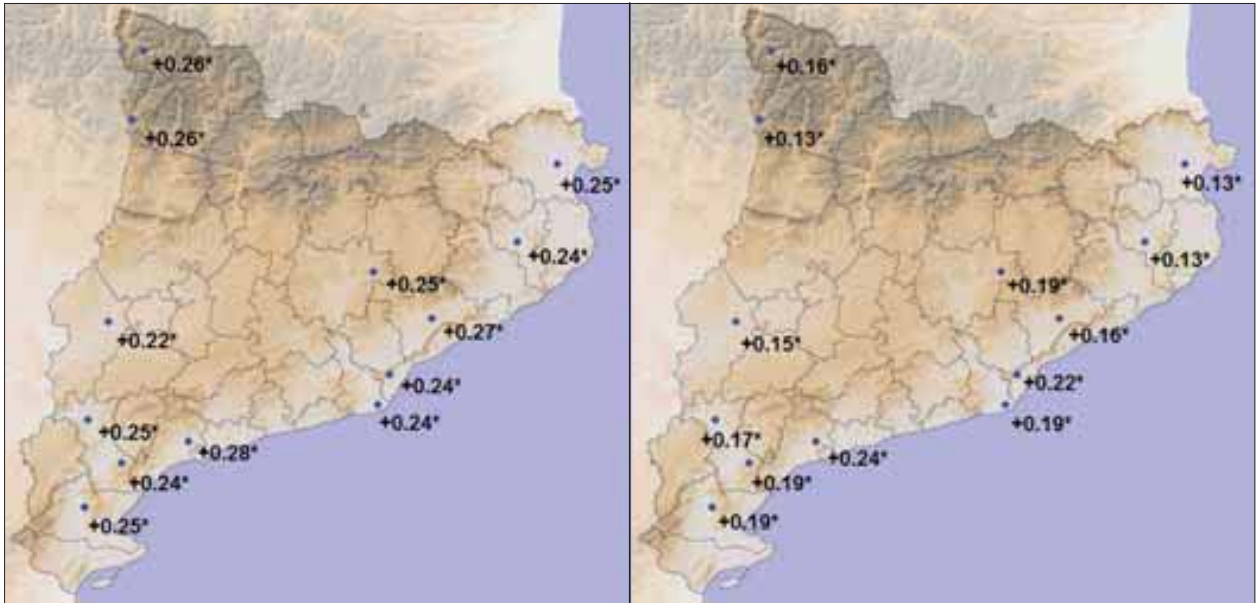


Figura 5. Tendència de la temperatura màxima (a) i mínima (b) mitjana anual, per al període 1950-2008, expressada com a increment de la temperatura per dècada. L'asterisc al costat del valor numèric indica que l'increment és estadísticament significatiu, amb un nivell de confiança del 95% (segons el test de Mann-Kendall).

Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

cia de la temperatura mitjana anual global a Catalunya per al període 1950-2008 queda fixada, amb aquest procediment, en $+0,21\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ i els límits de confiança inferior i superior al 95% són $+0,13\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ i $+0,29\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dècada}$ (segons el test

de Mann-Kendall). Aquestes conclusions estan en consonància amb la pauta global i hemisfèrica, així com amb les conclusions d'altres estudis de característiques similars en l'àmbit geogràfic proper (Martínez *et al.*, 2010; Brunet *et al.*, 2008).

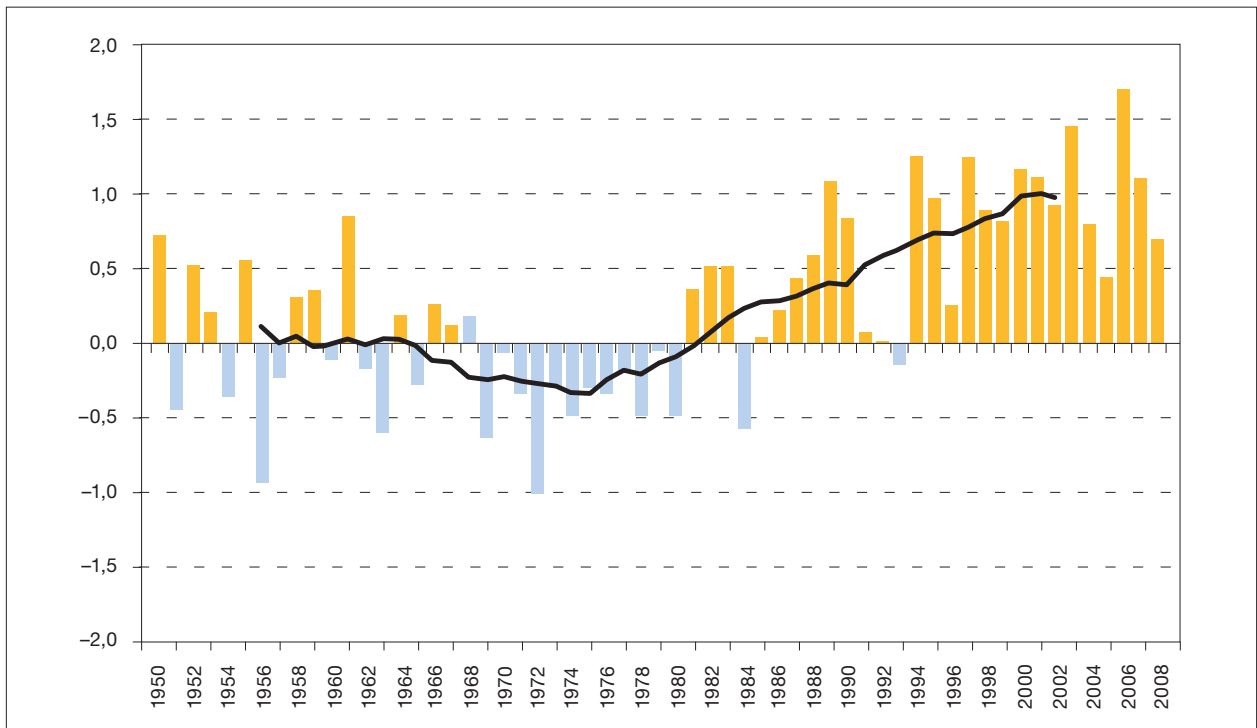


Figura 6. Evolució temporal de la temperatura mitjana anual ($^{\circ}\text{C}$) per al conjunt de Catalunya durant el període 1950-2008, expressada com a anomalia respecte al trentenni de referència (1961-1990). La corba negra indica la mitjana mòbil de tretze anys de període.

Font: Servei Meteorològic de Catalunya.

2.3.2. Canvis en la precipitació

2.3.2.1. Variacions i tendències de llarg recorregut i contextualització

Les tendències de la precipitació, tant a escala global com a escales més petites i properes a Catalunya, no mostren un patró ni espacial ni temporal tan definit com l'establert per a les temperatures, atesa l'alta variabilitat temporal (tant interanual com intranual) i la complexitat de la distribució espacial, juntament amb els factors de gran i petita escala que regulen aquesta variable, particularment els factors geogràfics. En el darrer informe de l'IPCC (2007), les tendències estimades per al conjunt de la Mediterrània occidental són de petita magnitud i de signe contraposat i no són estadísticament significatives.

Encara que l'estudi de l'evolució temporal de la precipitació a la península ibèrica ha suscitat un gran interès en els darrers anys, atesa la importància dels canvis temporals en l'entrada d'aigua per a la disponibilitat hídrica dels territoris, els resultats obtinguts no presenten un consens generalitzat i ofereixen senyals de canvi variats. Aquests no sols es poden explicar per la gran variabilitat espacial i temporal de la precipitació, sinó també per la diversitat dels períodes analitzats, per les diferents bases de dades utilitzades i per les metodologies d'anàlisi aplicades (Cuadrat i Martín-Vide, 2007). A més a més, el complex mosaic espacial que presenta la precipitació a la península ibèrica, inherent a la seva condició mediterrània i a la seva complexa orografia, requereix un nombre més gran de sèries representatives de totes les variants pluviomètriques amb les quals analitzar el seus canvis en el temps (Castro *et al.* 2005).

La major part d'estudis citats a Castro *et al.* (2005) i a Cuadrat i Martín-Vide (2007) no mostren tendències estadísticament significatives, especialment si aquestes es calculen per a sèries agregades espacialment, i alhora apunten a una àmplia varietat de respostes subregionals en funció del període de temps analitzat. L'estudi d'Esteban-Parra *et al.* (1998) mostrà una disminució de la precipitació sobre la Mediterrània i l'interior espanyol i un lleuger increment en els sectors costaners del nord peninsular, mentre que en l'estudi de Rodríguez-Puebla *et al.* (1998) la dis-

minució pluviomètrica s'esglaona des del sud-est cap al nord peninsular. Més tard, Rodríguez-Puebla *et al.* (2002), analitzant els patrons pluviomètrics espacials i estacionals de la península, estimaren una disminució estadísticament significativa durant els mesos de febrer, març i abril al sud-oest de la península. També Paredes *et al.* (2006) estimaren una reducció de la precipitació al març, que fou especialment elevada a l'oest de la península ibèrica.

Rodríguez-Puebla i Brunet (2007), en un estudi recent de síntesi, utilitzant tant sèries de dades observades com dades de reanàlisi per al període 1949-2005 en el conjunt de la península, van evidenciar una disminució dels totals pluviomètrics anuals tant en les dades observades com, particularment, en les de la reanàlisi, una reducció que fou especialment acusada al Cantàbric i al sud-est peninsular. L'examen estacional de tendències, tant de conjunt com per a cada un dels punts de les xarxes utilitzades, assenyala la primavera i l'estiu com les estacions de l'any en què s'ha produït una disminució més acusada i espacialment coherent, si es compara amb la que s'ha observat a l'hivern (amb una disminució lleugera) o a la tardor (amb increments lleugers). Els autors conclouen que s'ha observat una tendència cap a valors més baixos de la precipitació peninsular en la segona meitat del segle xx, particularment acusada al començament de la primavera. La coincidència d'aquesta tendència a la baixa de la precipitació amb el fort escalfament observat ha d'estar conduint cap a una intensificació en el grau d'aridesa del clima peninsular, amb un increment de l'evapotranspiració i una reducció de la disponibilitat hídrica, entre altres impactes en el socioecosistema peninsular.

En regions properes a Catalunya, Abaurrea *et al.* (2002) analitzaren l'evolució espacial i temporal de la precipitació en vint-i-nou punts de la conca de l'Ebre durant el període 1916-2000 i estimaren una disminució no significativa en els totals anuals durant el subperíode 1970-1985. Per a la regió de València, De Luis *et al.* (2000) assenyalaren una disminució de la precipitació i un increment de la variabilitat per al període 1961-1990 en els sectors valencians més humits. Per al conjunt de l'arc mediterrani espanyol, González-

Hidalgo *et al.* (2001) trobaren una tendència cap a la sequera de tardor i una variabilitat més gran a l'hivern a partir de l'estudi de noranta-set observatoris, i, alhora, obtingueren resultats similars incrementant el nombre de registres (385) i limitant el període d'anàlisi de 1950 a 2000.

Un estudi molt recent, basat en dades d'observatoris que cobreixen el vessant mediterrani de la península ibèrica (i que inclou tot Catalunya), amb 1.113 sèries pluviomètriques mensuals homogènies i contínues per al període 1951-2000, ha mostrat que al mes de març s'ha produït una minva de la precipitació pràcticament generalitzada a tot el Principat (González-Hidalgo *et al.*, 2009). D'altra banda, la pluja a Catalunya mostra una correlació més bona (negativa) amb els índexs de l'Oscil·lació de la Mediterrània Occidental (WeMO) i de l'Oscil·lació de la Mediterrània que amb l'índex atlàntic de la NAO. En canvi, a diferència del que ha ocorregut a la part occidental de la península ibèrica, al llarg de l'últim mig segle la pluja hivernal no presenta tendències significatives a Catalunya (López-Bustins *et al.*, 2008).

A Catalunya, l'estudi del canvi a llarg termini de la precipitació també ha merescut atenció, i l'evolució pluviomètrica s'ha analitzat tant en el seu conjunt com per diferents subregions catalanes. Els treballs de Saladié *et al.* (2004a, 2004b), centrats en l'anàlisi de les tendències del segle xx sobre el Sistema Mediterrani català i les Terres de l'Ebre, respectivament, assenyalen un lleuger descens dels totals pluviomètrics anuals, amb un descens primaveral acusat i increments baixos en la resta de les estacions de l'any al litoral i al prelitoral català (Saladié *et al.* 2004a), encara que cap coeficient assoleix significació estadística; en canvi, per a les Terres de l'Ebre s'ha verificat un lleuger increment anual, associat a lleugers augments a l'hivern i a l'estiu, que es redueix en les estacions equinoccials (Saladié, 2004b). Finalment, aquests autors assenyalen l'existència d'una tendència a l'increment pluviomètric fins a principi de la dècada de 1970 i una reducció des de llavors fins al final del segle xx.

Finalment, la construcció de la sèrie regional catalana mitjançant la utilització de 121 observatoris (Saladié *et al.* 2007) va permetre també a Saladié *et al.* (2008) analitzar les variacions de la

precipitació catalana i estimar les tendències anuals i estacionals per al conjunt del segle xx. La precipitació anual a Catalunya durant el darrer segle ha disminuït un 1% (-6,6 mm respecte de la mitjana catalana per al període de referència, 1961-1990), i el fet més destacat de l'evolució estacional ha estat la remarcable reducció de la pluviometria primaveral en un 22% del total estacional, aproximadament, un valor significatiu amb un nivell de confiança del 90%. L'estiu, la tardor i l'hivern, en canvi, presenten lleugers increments que en cap cas no assoleixen, juntament amb el total anual, significació estadística. La disminució de la precipitació primaveral s'ha accentuat des de l'inici de 1970 fins a l'any 2000, amb un -1,5%/any, i s'ha estès fins a l'estiu, una estació que, sense arribar a la significació estadística del 95%, ha registrat una reducció de l'1,32%/any durant el període 1975-2000.

2.3.2.2. Canvis recents en l'Observatori Fabra i en l'Observatori de l'Ebre

Com és sabut —i ja s'ha esmentat anteriorment, la precipitació presenta una variabilitat temporal i espacial elevada, que en l'àmbit mediterrani esdevé encara més accentuada. Per això, la detecció de tendències o de senyals climàtics és sovint infructuosa i requereix sèries prou llargues i contínues, així com una densitat de sèries remarcable a nivell regional.

En el cas de Catalunya, es disposa de dues sèries que compleixen aquests criteris i que, per tant, esdevenen candidates prioritàries per a l'anàlisi de la variabilitat de la precipitació a escala anual i estacional: l'Observatori de l'Ebre (Roquetes, Baix Ebre), amb dades des de 1905, i l'Observatori Fabra (Barcelona, Barcelonès), amb una sèrie que es remunta a 1914.

L'anàlisi de l'evolució de la pluviometria anual i estacional en ambdós observatoris no presenta cap tendència clara en el darrer segle. Així, els increments o els dèficits pluviomètrics detectats no són estadísticament significatius, per la qual cosa no es pot determinar una tendència conclouent. Malgrat tot, s'han detectat comportaments comuns a ambdós punts: un lleuger augment de la precipitació hivernal i de tardor i una disminució de la precipitació estival. La taula 3 en mostra els resultats.

	Anual		Hivern		Primavera		Estiu		Tardor	
	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre	Fabra	Ebre
Precipitació (mm/dècada)	+1,38	+5,73	+3,63	+2,30	-2,31	+1,18	-1,15	-0,82	+1,49	+2,86

Taula 3. Tendències de la precipitació anual i estacional a l'Observatori Fabra (1914-2008) i a l'Observatori de l'Ebre (1905-2008), expressades en mm/dècada (cap valor no assoleix el nivell de significació estadística amb un 95 % de confiança, $p < 0,05$).

La figura 7 mostra l'evolució de la precipitació anual en ambdós observatoris, expressada com a anomalies percentuals respecte al període 1961-1990. Tal com s'indicava anteriorment, es fa di-

fícil detectar cap tendència o cicle i únicament és apreciable un cert predomini d'anys secs en els darrers trenta anys a l'Observatori de l'Ebre, que és menys evident a l'Observatori Fabra.

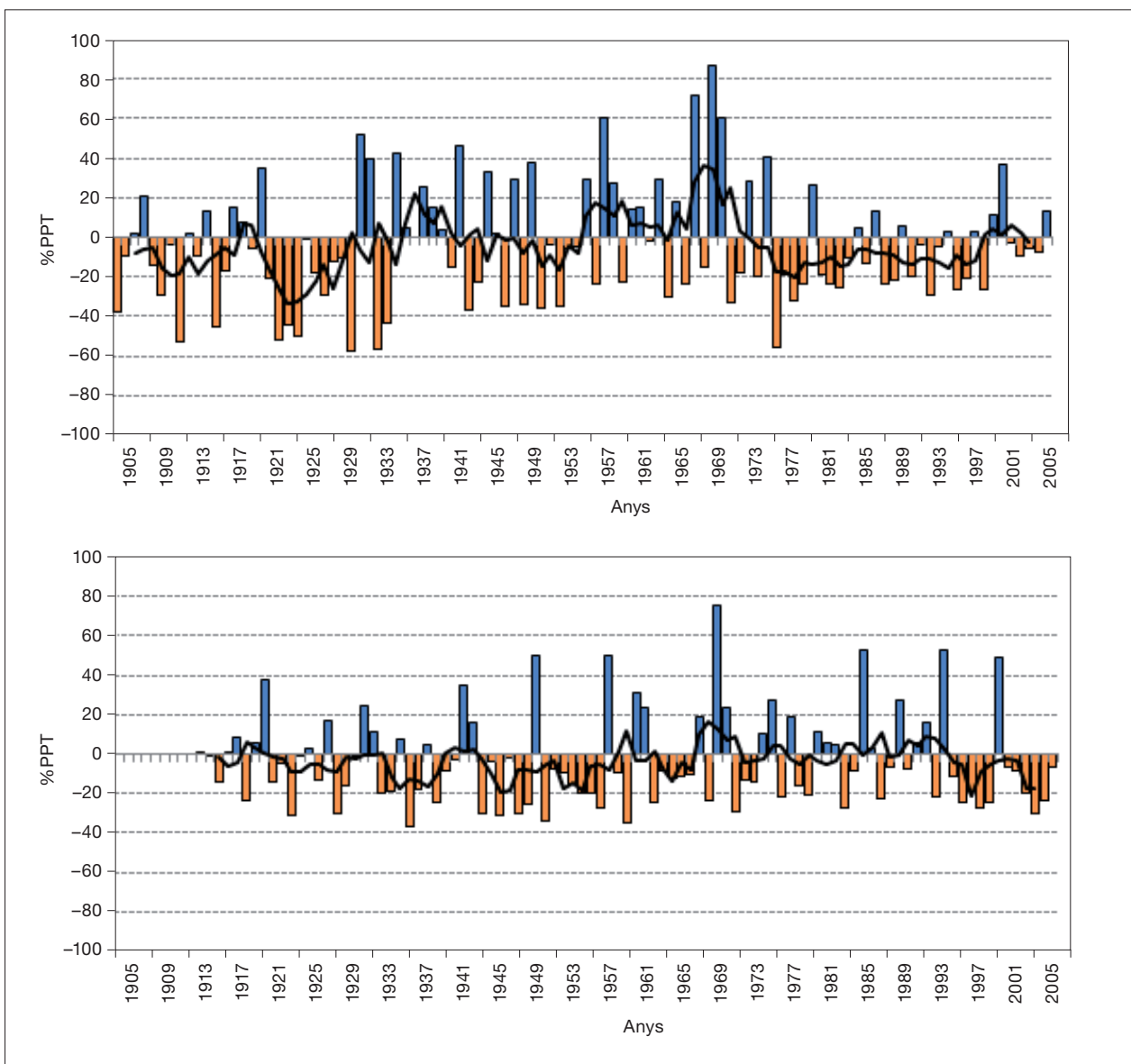


Figura 7. Evolució de l'anomalia de la precipitació anual a l'Observatori de l'Ebre (1906-2008) i a l'Observatori Fabra (1914-2008). Els valors s'expressen com a anomalies percentuals respecte al període de referència (1961-1990). Les barres de color blau indiquen percentatges positius, és a dir, anys plujosos, mentre que les barres taronges indiquen anys secs. La corba negra contínua expressa la mitjana mòbil de cinc anys de període. Atès que l'Observatori de l'Ebre no disposa de les dades corresponents a 1938, la gràfica queda interrompuda aquell any.

Font: Servei Meteorològic de Catalunya, *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics*, 2008.

2.3.3. La insolació

Existeixen sis sèries d'insolació amb una resolució mensual: Barcelona, Girona, Reus, Lleida, la Molina i l'Observatori de l'Ebre, amb dades contínues des d'abans de 1950, que permeten establir amb un notable grau de versemblança les tendències de la insolació anual, així com estacional i mensual, a Catalunya almenys des de mitjan segle xx fins a començament del segle XXI. Un cop comprovada la qualitat de les sèries esmentades, i després d'omplir-ne el buits i d'homogeneitzar-les, van formar part d'un estudi més ampli sobre la península ibèrica, amb setanta-dos punts d'observacions (Sánchez-Lorenzo *et al.*, 2007). La sèrie mitjana anual d'insolació de Catalunya per al període 1951-2004, expressada com la mitjana de les sèries d'anomalies de cada una de les sis sèries respecte al període 1971-2000, es representa en la figura 8. La tendència lineal per al conjunt del període és positiva, però no significativa amb un nivell de confiança del 95%. La manca de significació és conseqüència de dos subperíodes que tenen un comportament clarament contrastat: 1951-1983, amb una clara davallada de la insolació, que al final marca el

global dimming, o enfosquiment global, i 1984-2004, amb una tendència nítida a l'alça, en la que s'ha anomenat *brightening*. Les tendències parcials d'ambdós subperíodes són significatives (al 95%): $-50,2$ hores/dècada i $+109,4$ hores/dècada. Estacionalment, la primavera presenta l'augment d'insolació més clar des dels anys vuitanta del segle passat, al qual ha contribuït especialment el mes de març. Com a conclusió, és remarcable el fet que la insolació anual a Catalunya, en el darrer mig segle, presenta una evolució paral·lela a la planetària.

2.4. Canvis en l'estat extrem del clima

2.4.1. Canvis a llarg termini en els extrems tèrmics i pluviomètrics i contextualització espacial

D'acord amb el darrer informe de l'IPCC, els canvis en els esdeveniments climàtics extrems són consistents amb l'escalfament observat del clima a escala global (IPCC, 2007). En les latituds mitjanes s'ha produït una reducció generalitzada dels dies de gelada, alhora que en el 75% de la superfície terrestre s'ha registrat un increment

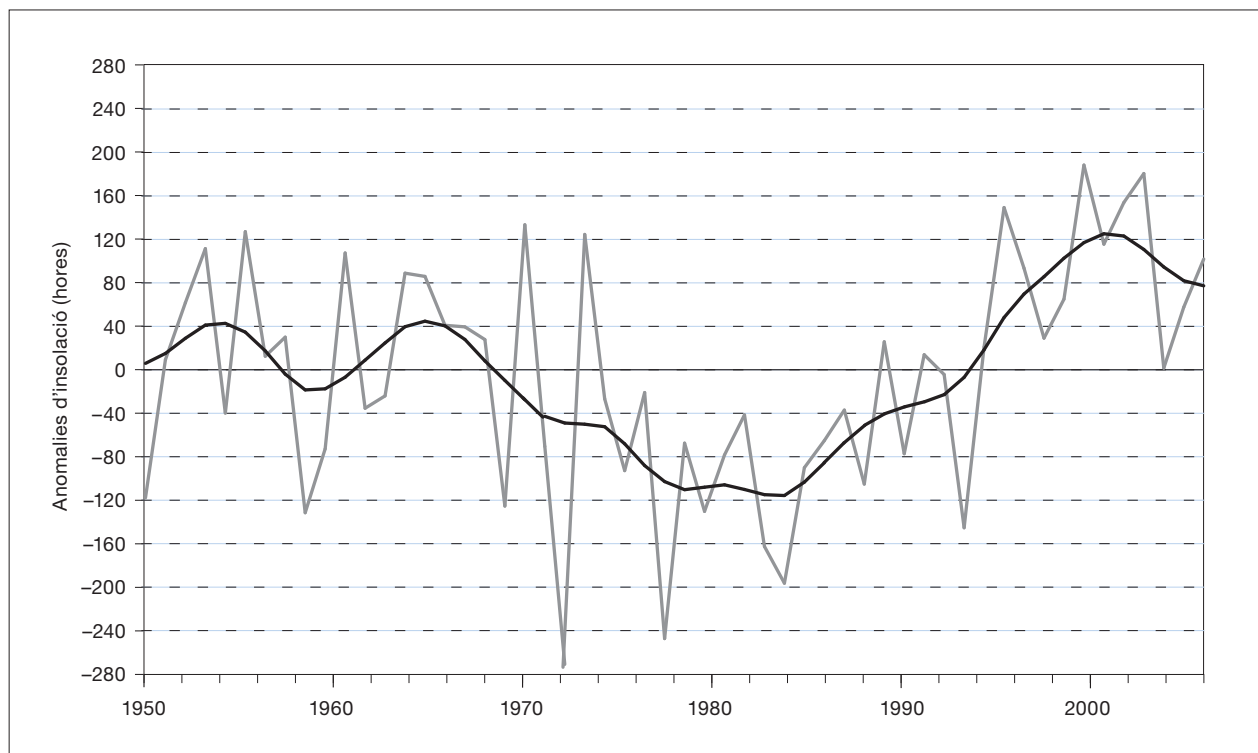


Figura 8. Evolució de la mitjana anual d'insolació de Catalunya per al període 1951-2004, expressada com la mitjana (en hores) de les sèries d'anomalies de sis sèries respecte al període 1971-2000 (i suavització mitjançant un filtre gaussià). Font: Elaboració a partir de les dades analitzades en l'article de Sánchez-Lorenzo, Brunetti, Calbó i Martín-Vide, 2007.

dels extrems càlids i una reducció dels extrems freds, estimats com el canvi en la freqüència de nits i dies amb valors per sobre (o per sota) del percentil 90è (10è, en el cas dels extrems freds) durant la segona meitat del segle xx. Els canvis en els extrems pluviomètrics han estat molt menys coherents que els de la temperatura, encara que la precipitació anual ha evidenciat un increment a nivell global i la major part d'indicadors pluviomètrics extrems mostren una tendència cap a condicions més humides, però sense que tots els índexs mostrin canvis significatius. Acompanyant la intensificació dels esdeveniments pluviomètrics, també s'ha observat un increment marcat de les sequeres, les quals són ara més comunes, especialment a les latituds tropicals i subtropicals des de la dècada de 1970. Aquests canvis han estat coherents amb els que s'han observat per al conjunt del segle xx a partir d'un subconjunt de dades termopluiomètriques diàries de recorregut més llarg (Alexander *et al.* 2007).

Si anteriorment, pel que fa al canvi mitjà de la temperatura a llarg termini, s'esmentaven les dificultats de l'anàlisi associades a l'escassa disponibilitat de dades amb base mensual per a escales espacials més petites que la global, l'anàlisi del comportament extrem del clima, que requereix dades d'alta qualitat amb base diària i horària, encara troba més entrebancs i, aleshores, el canvi en els extrems climàtics està més mal documentat a escales locals, subregionals i regionals. En aquest sentit, no ha d'estranyar que els estudis sobre el canvi en l'estat extrem del clima en un context espacial proper a Catalunya siguin limitats, tant en el temps com en l'espai. En el temps, perquè els períodes analitzats tenen un recorregut més curt o estan centrats en l'anàlisi d'una o una altra estació de l'any. En l'espai, perquè en general estan circumscrits a l'estudi d'observatoris individuals, amb algunes excepcions que aborden l'estudi a escala peninsular i també subregional.

Les onades de calor i les onades de fred en llocs individuals (per exemple, La Corunya, Barcelona, Pamplona, Osca, Granada, Cadis, etcètera) han estat abordades per Almarza i López (1995), Martín-Vide i Moreno (1996), Serra *et al.* (2001), Pejenaute (2004) o López (2004). Per

a escales més grans que les locals, Miró i Estrela (2004) examinaren les tendències de les temperatures en els mesos d'estiu per tal d'analitzar els canvis en la freqüència dels dies calorosos, i indicaren un increment d'aquests en la segona meitat del segle xx per a la regió valenciana. García-Herrera *et al.* (2005) exploraren les temperatures extremes estivals i les relacionaren amb el seu impacte sobre la salut humana, mentre que Prieto *et al.* (2004) analitzaren les temperatures mínimes extremes a Espanya i Díaz *et al.* (2004) les relacionaren amb la mortalitat. Rodríguez-Puebla *et al.* (2004), utilitzant vint-i-nou registres diaris de temperatura màxima procedents de l'European Climate Assessment and Dataset (ECA&D) i dels Instituts Nacionals de Meteorologia d'Espanya i de Portugal, analitzaren l'increment en el nombre de dies càlids de l'estiu per a la segona meitat del segle xx i obtingueren que aquest nombre augmentava, particularment des de principi de la dècada de 1970. Recentment, Brunet *et al.* (2007a) exploraren la contribució que els esdeveniments tèrmics extrems (nits i dies molt càlids i molt freds) han tingut en l'escalfament observat a l'Espanya peninsular i a les diferents regions que presenten un mateix senyal de variabilitat tèrmica. D'aquest estudi es va dependre que l'escalfament espanyol en el període 1850-2005 havia estat més el resultat d'una reducció més forta en els extrems freds que no pas una conseqüència de l'increment observat en els extrems càlids, ja que els dies i nits freds (amb valors de les temperatures màximes i mínimes per sota del percentil 10è) s'han reduït 0,74 i 0,54 dies/dècada, mentre que els dies i nits càlids (amb valors de les temperatures màximes i mínimes per sobre del percentil 90è) s'han incrementat segons taxes de canvi més petites: 0,53 i 0,49 dies/dècada, respectivament. Aquests resultats indicaren que l'Espanya peninsular, igual que el conjunt del globus (Alexander *et al.* 2007), és cada cop menys freda.

En el cas dels estudis sobre l'evolució temporal dels extrems pluviomètrics, Romero *et al.* (1998) van examinar els canvis en els dies amb una precipitació que excedia els llindars d'1 mm, 25 mm i 100 mm, així com els canvis en la durada mitjana de les ratxes seques i humides, a la façana mediterrània espanyola en el període

1964-1993. Aquests autors van identificar una tendència cap a la sequera tant als sectors andalusos com a l'oest de Catalunya. Posteriorment, Goodess i Jones (2002) van analitzar una xarxa de cinquanta-set registres diaris de la precipitació a Espanya i identificaren una tendència creixent a l'ocurrència de pluges més intenses a la regió mediterrània, particularment al sud-est peninsular, i també de precipitacions menys intenses a la resta de l'Espanya peninsular.

Per a escales espacials més grans (Europa), i arran de la realització del projecte europeu ECA&D, en què es van analitzar cinc punts de la geografia peninsular (Badajoz-Talavera, Salamanca, San Sebastián, Roquetes-Tortosa i València), Klein Tank i Können (2003) van concloure que el nombre de dies i nits càlids s'havia incrementat significativament des de final de la dècada de 1970, alhora que van identificar una reducció de la freqüència de dies i nits freds.

Índex	Definició índex	Unitats
Dies de glaçada	Nombre de dies en què $T_n < 0^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Dies d'estiu	Nombre de dies en què $T_x > 25^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Nits tropicals	Nombre de dies en què $T_n > 20^\circ\text{C}$ en un any	Dies
Durada estació de creixement	Nombre de dies en un any entre la primera ratxa de 6 dies, com a mínim, amb $T_m > 5^\circ\text{C}$ i la primera ratxa després de l'1 de juliol amb 6 dies, com a mínim, amb $T_m < 5^\circ\text{C}$.	Dies
Màxima anual de T_x	Valor màxim anual de T_x diària	$^\circ\text{C}$
Màxima anual de T_n	Valor màxim anual de T_n diària	$^\circ\text{C}$
Mínima anual de T_x	Valor mínim anual de T_x diària	$^\circ\text{C}$
Mínima anual de T_n	Valor mínim anual de T_n diària	$^\circ\text{C}$
Nits fredes	Percentatge de dies en què $T_n <$ percentil 10	%
Dies freds	Percentatge de dies en què $T_x <$ percentil 10	%
Nits càlides	Percentatge de dies en què $T_n >$ percentil 90	%
Dies càlids	Percentatge de dies en què $T_x >$ percentil 90	%
Durada de la ratxa càlida	Nombre de dies en un any en què, com a mínim, hi ha 6 dies consecutius amb $T_x >$ percentil 90	Dies
Durada de la ratxa freda	Nombre de dies en un any en què, com a mínim, hi ha 6 dies consecutius amb $T_n <$ percentil 10	Dies
Amplitud tèrmica anual	Mitjana anual de la diferència entre T_x i T_n	$^\circ\text{C}$
Índex Simple d'Intensitat de la PPT	Precipitació total anual dividida pel nombre de dies en què la precipitació és superior o igual a 1,0 mm	mm/dia
Nombre de dies amb PPT > 20 mm	Nombre de dies anuals en què la precipitació és ≥ 20 mm	Dies
Nits extremament fredes	Percentatge de temperatures mínimes (T_n) per sota del percentil 2	% de dies
Nits molt fredes	Percentatge de T_n per sota del percentil 5	% de dies
Nits molt càlides	Percentatge de T_n per sobre del percentil 95	% de dies
Nits extremament càlides	Percentatge de T_n per sobre del percentil 99	% de dies
Dies extremament freds	Percentatge de temperatures màximes (T_x) per sota del percentil 2	% de dies
Dies molt freds	Percentatge de T_x per sota del percentil 5	% de dies
Dies extremament freds	Percentatge de T_x per sota del percentil 10	% de dies
Dies extremament càlids	Percentatge de T_x per sobre del percentil 99	% de dies
—	Dia més plujós de l'any	mm
—	Els 5 dies més plujosos de l'any	mm
Dies molt plujosos	Precipitació diària per sobre del percentil 95	mm
Dies extremament plujosos	Precipitació per sobre del percentil 99	mm

Taula 4. Índexs d'extrems climàtics definits pel Grup d'Experts en Detecció de Canvi Climàtic i Índexs (ETCCDMI).

Sobre l'Europa central i occidental, Della-Marta *et al.* (2006) analitzaren el canvi a llarg termini (1880-2003) en la freqüència, la intensitat i la durada de les onades de calor i identificaren a l'Espanya peninsular un increment en la durada i la intensitat d'aquestes. També Moberg *et al.* (2007), en el seu estudi sobre el canvi a llarg termini en el comportament termopluiomètric extrem a Europa, van concloure que la península Ibèrica destaca sobre altres regions europees per presentar les tendències més altes cap a l'escalfament en els indicadors extrems relacionats amb les temperatures diürnes (temperatures màximes).

Brunet *et al.* (2007c) analitzaren els canvis en els extrems tèrmics i pluviomètrics observats a l'Espanya peninsular en el període 1901-2005 usant una xarxa de vint-i-dues estacions amb informació diària. En aquest estudi s'analitzà el canvi observat en diferents índexs d'extrems tèrmics, com els dies i nits freds, molt freds i extremament freds (temperatures màximes i mínimes diàries per sota dels percentils 10è, 5è i 2n), els dies i nits càlids, molt càlids i extremament càlids (temperatures màximes i mínimes diàries per sobre dels percentils 90è, 95è i 99è) o la durada de les ratxes càlides i de les ratxes fredes. Respecte dels extrems pluviomètrics, es van avaluar els canvis en els índexs següents: els excedents de la precipitació diària per sobre dels percentils 95è i 99è, l'índex simple d'intensitat diària i els indicadors d'1 i 5 dies amb la precipitació més alta de l'any.

Tant l'examen dels percentils superiors de les temperatures com el dels inferiors mostren que s'ha produït un escalfament evident a l'Espanya peninsular al llarg del segle xx, i que aquest ha estat més important en els extrems associats a les temperatures màximes que en el que s'ha observat pel que fa a les temperatures mínimes, en concordança amb altres estudis a escala europea (Della-Marta *et al.* 2006; Moberg *et al.* 2007). No obstant això, aquest patró presenta un lleuger canvi en el període més recent d'escalfament (1973-2005), en el qual la tendència dels extrems d'ambdues variables presenta valors similars; és a dir, taxes de canvi similars tant per a l'increment dels extrems càlids com

per a la reducció dels extrems freds. A més a més, s'ha verificat un augment significatiu en la durada de les ratxes càlides, el qual s'ha produït amb taxes de canvi més ràpides que les que han caracteritzat la reducció de les ratxes fredes.

Finalment, tots els índexs d'extrems pluviomètrics mostren una tendència cap a la intensificació de la pluja, amb lleugers increments dels esdeveniments més extrems, durant el conjunt del segle xx. No obstant això, aquests canvis no s'han produït uniformement al llarg del període analitzat, sinó al contrari: sembla que han ocorregut principalment des de principi de segle fins al terç final del segle, ja que en el període d'escalfament recent s'ha observat una lleugera tendència cap a la disminució en l'ocurrència d'esdeveniments pluviomètrics extrems a l'Espanya peninsular, encara que sense significació estadística.

2.4.2. Canvis recents en els extrems tèrmics i pluviomètrics

Els efectes del canvi climàtic a escala regional no només es poden abordar a partir de l'anàlisi de la possible tendència experimentada per la temperatura o la precipitació mitjana, sinó també a partir de la constatació de canvis en la freqüència i en la intensitat de diferents extrems climàtics. Amb aquest objectiu, sota els auspicis de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM), el Grup d'Experts en Detecció de Canvi Climàtic i Índexs (ETCCDMI) formulà un seguit d'índexs d'extrems climàtics aplicats a les variables *temperatura* i *precipitació*, amb una resolució diària, que han esdevingut els més emprats i acceptats globalment.

Amb aquesta finalitat, la necessitat d'utilitzar sèries amb una cobertura temporal prou àmplia, homogènies i amb una resolució temporal diària, en limita sovint la disponibilitat. Novament, cal fer ús de les sèries que tenen més cobertura temporal i continuïtat, com són els casos de l'Observatori de l'Ebre i de l'Observatori Fabra. La taula 5 mostra els índexs que han mostrat tendències estadísticament significatives en un dels dos observatoris o en tots dos, i les figures 9 i 10 són dos exemples d'índexs d'extrems analitzats.

Índex	Tendència de l'índex (amb un nivell de confiança del 95 %)	
	Observatori de l'Ebre	Observatori Fabra
Dies de glaçada	—	Disminució
Dies d'estiu	Augment	Augment
Nits tropicals	Augment	Augment
Durada de l'estació de creixement	—	Augment
Màxima anual de Tx	Augment	Augment
Màxima anual de Tn	—	Augment
Mínima anual de Tx	Augment	Augment
Mínima anual de Tn	—	Augment
Nits fredes	Disminució	Disminució
Dies freds	Disminució	Disminució
Nits càlides	Augment	Augment
Dies càlids	Augment	Augment
Durada de la ratxa càlida	Augment	Augment
Durada de la ratxa freda	Disminució	Disminució
Amplitud tèrmica anual	Augment	Augment
Índex Simple d'Intensitat de la PPT	Augment	Augment
Nombre de dies amb PPT >20 mm	Augment	—

Taula 5. Índexs d'extremes climàtics definits per l'ETCCDMI i aplicats a les sèries diàries de temperatura màxima (Tx), temperatura mínima (Tn) i precipitació (PPT) de l'Observatori de l'Ebre (1905-2008) i de l'Observatori Fabra (1914-2008). Només es mostren els índexs amb una tendència estadísticament significativa ($p < 0,05$).

Font: Servei Meteorològic de Catalunya, Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics, 2008.

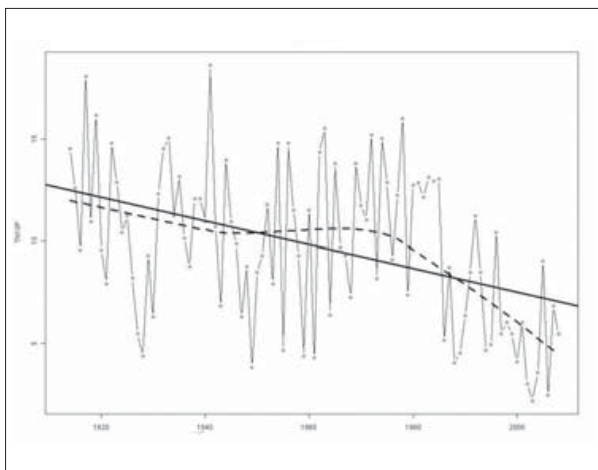


Figura 9. Evolució de l'índex TN10P (percentatge de dies respecte al total anual en què Tn ha estat per sota del percentil 10è) a l'Observatori Fabra, 1914-2008. Tendència anual calculada per regressió lineal de mínims quadrats (línea sòlida) i per regressió lineal amb ponderacions locals (línea puntejada).

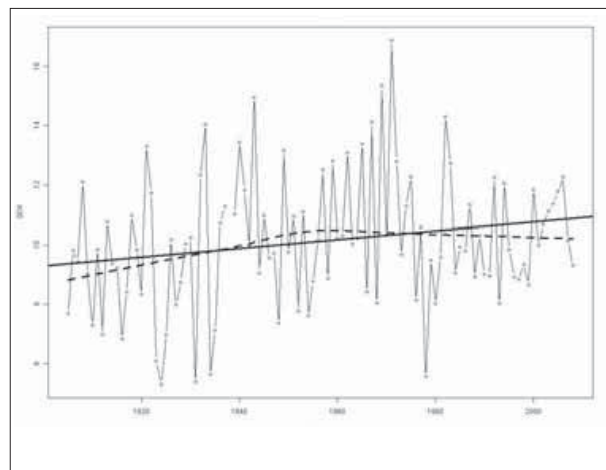


Figura 10. Evolució de l'índex SDII o Índex Simple d'Intensitat de la PPT (precipitació total anual dividida pel nombre de dies amb PPT > 1 mm, en mm/dia) a l'Observatori de l'Ebre, 1905-2008. Tendència anual calculada per regressió lineal de mínims quadrats (línea sòlida) i per regressió lineal amb ponderacions locals (línea puntejada).

Tal com es pot comprovar, bona part dels índexs fan referència a augmentos o a disminucions en la freqüència de determinats indicadors tèrmics i només dos presenten tendència

sobre la precipitació diària. A grans trets, tots dos punts indiquen una disminució en la freqüència i en la durada dels períodes freds, un augment en la freqüència, la intensitat i la du-

rada dels períodes càlids i, pel que fa a la precipitació, un cert augment en la intensitat de la precipitació —és a dir, la precipitació anual es reparteix en menys dies, sense que això signifiqui que anualment s'acumuli menys precipitació. Aquests resultats estan en consonància amb el que reflecteix el IV Informe d'Avaluació de l'IPCC.

Referències

- ABARCA DEL RÍO, R.; MESTRE, O. «Decadal to secular time scales variability in temperature measurements over France». *Geophysical Research Letters*, núm. 33 (2006). L13705. DOI 10.1029/2006GL026019.
- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; ERDOZAIN, O.; FERNÁNDEZ, E. «Climate variability analysis of temperature series in the Medium Ebro River Basin». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 109-118.
- ABAURREA, J.; ASÍN, J.; CENTELLES, A. «Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la cuenca del Ebro». A: GUIJARRO, J. A.; GRIMALT, M.; LAITA, M.; ALONSO, S. (ed.). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca: Asociación Española de Climatología (AEC), 2002, sèrie A, núm. 3, p. 113-124.
- AGUILAR, E.; AUER, I.; BRUNET, M. [et al.] *Guidelines on climate metadata and homogenization*. Ginebra: World Meteorological Organization, WMO/TD núm. 118 (2003), p. 50.
- ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C. [et al.] «Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, núm. 111 (2006). D05109. DOI 10.1029/2005JD006290.
- ALMARZA, C.; LÓPEZ, J.A. «Las temperaturas máximas absolutas en las zonas costeras». A: CREUS, J. (ed.). *Situaciones de riesgo climático en España*. Jaca: CSIC, 1995, p. 153-162.
- BROHAN, P.; KENNEDY, J.J.; HARRIS, I. [et al.] «Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850». *Journal of Geophysical Research*, núm. 111 (2006), D12106, DOI 10.1029/2005JD006548.
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O. [et al.] «Variations and trends of the surface air temperature in the Northeastern Spain from middle nineteenth century onwards». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001a, p. 81-93.
- «A differential response of Northeastern Spain to asymmetric trends in diurnal warming detected on a global scale». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001b, p. 95-107.
- «Warming phases in long-term Spanish temperature change». A: *13th Symposium on global change and climate variations*. Boston: American Meteorological Society, 2002, p. 30-32.
- BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; JONES, P. [et al.] «The development of a new daily adjusted temperature dataset for Spain (1850-2003)». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (2006), p. 1777-1802. DOI 10.1002/joc.1338.
- *A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets*. Ginebra: World Meteorological Organization, 2008, WCDMP-66/WMO-TD-1425, 43 p.
- BRUNET, M.; JONES, P.D.; SIGRÓ, J. [et al.] «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research*, núm. 112 (2007a), D12117, DOI 10.1029/2006JD008249.
- BRUNET, M.; SIGRÓ, J.; JONES, P.D. [et al.] «Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain». *Contributions to Science [Barcelona]*, núm. 3 (3) (2007b), p. 331-342.
- BRUNETTI, M.; MAUGERI, M.; MONTI, F.; NANNI, T. «Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (2006), p. 345-381.
- CAPEL MOLINA, J.J. *El clima de la península Ibérica*. Barcelona: Ariel, 2000.
- CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J.; ALONSO, S. «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI». A: MORENO, J.M. (ed.). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2005.
- CERNOCKY, T.; SÁNCHEZ-LORENZO, A.; TÉLLEZ JURADO, B. [et al.] «Modelización cartográfica mediante SIG del coeficiente de variación de la pluviometría anual y mensual en Cataluña». A: ESTRELA, M.J. (ed.). *Riesgos climáticos y cambio global en el mediterráneo español. ¿Hacia un clima de extremos?* Alzira i València: CEAM, UNED, 2008, p. 215-233 (Interciencias; 34).

- CUADRAT PRATS, J.M.; MARTÍN-VIDE, J. (ed.). *La climatología española. Pasado, presente y futuro/The Spanish climatology. past, present and future*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), sèrie B, 2007. ISBN: 978-84-7733-886-4.
- DE LUIS, M.; RAVENTÓS, J.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C. [et al.] «Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain)». *International Journal of Climatology*, núm. 20 (2000), p. 1451-1469.
- DELLA-MARTA, P.M.; LUTERBACHER, J.; WEISSENFLOH, H. [et al.] «Summer heat waves over western Europe 1880-2003. Their changes and relationships to large scale forcings». *Climate Dynamics*, núm. 29 (2007), p. 251-275.
- DÍAZ J.; LINARES, C.; GARCÍA-HERRERA, R. [et al.] «Mortality impact of extreme winter temperatures». *International Journal of Biometeorology*, núm. 49 (2004), p. 179-183.
- ESTEBAN-PARRA, M.J.; RODRIGO, F.S.; CASTRO-DÍEZ, Y. «Temperature trends and change points in the Northern Spanish Plateau during the last 100 years». *International Journal of Climatology*, núm. 15 (1995), p. 1031-1042.
- «Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880-1992». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 1557-1574.
- ESTEBAN-PARRA, M.J.; POZO-VÁZQUEZ, D.; RODRIGO, F.S. [et al.] «Temperature and precipitation variability and trends in Northern Spain in the context of the Iberian Peninsula climate». A: BOLLE, H.J. (ed.). *Mediterranean climate: variability and trends*. Berlín: Springer, 2003, p. 259-276.
- GALÁN, E.; CAÑADA, R.; FERNÁNDEZ, F.; CERVERA, B. «Annual temperature evolution in the southern plateau of Spain from the construction of regional climatic time series». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 119-131.
- GARCÍA-HERRERA, R.; DÍAZ, J.; TRIGO, R.; HERNÁNDEZ, E. «Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions». *Anales Geophysicae*, núm. 23 (2005), p. 239-251.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; DE LUIS, M.; RAVENTÓS, J.; SÁNCHEZ, J.R. «Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western Mediterranean area». *International Journal of Climatology*, núm. 21 (2001), p. 843-860.
- GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C.; LÓPEZ-BUSTINS, J.A.; STEPANEK, P. [et al.] «Monthly precipitation trends on the Mediterranean façade of the Iberian Peninsula during the second half of the 20th century (1951-2000)». *International Journal of Climatology*, núm. 29 (2009), p. 1415-1429.
- GOODESS, C.M.; JONES, P.D. «Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall». *International Journal of Climatology*, núm. 22 (2002), p. 1593-1615.
- HANSEN, J.E.; LEBEDEFF, S. «Global trends of measured surface air temperature». *Journal of Geophysical Research*, núm. 92 (1987), p. 13345-13372.
- «Global surface temperatures: Update through 1987». *Geophysical Research Letters*, núm. 15 (1988), p. 323-326.
- HANSEN, J.; RUEDY, R.; GLASCOE, J. [et al.] «GISS analysis of surface temperature change». *Geophysical Research Letters*, núm. 104 (1999), p. 30997-31022.
- HORCAS, R.; RASILLA, D.; FERNÁNDEZ, F. «Temperature variations and trends in the Segura River Basin. An exploratory analysis». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 133-142.
- IPCC [SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M. [et al.] (eds.)]. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge (Regne Unit) i Nova York (EUA): Cambridge University Press, 2007.
- JANSÁ, J.M. «La masa de aire mediterránea». *Revista de Geofísica [Madrid]*, núm. 18 (1959), p. 35-50.
- JONES, P.D. «Instrumental temperature change in the context of the last 1000 years». A: BRUNET, M.; LÓPEZ, D. (ed.). *Detecting and modelling regional climate change*. Berlín: Springer-Verlag, 2001, p. 55-68.
- JONES, P.D.; MOBERG, A. «A hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001». *Journal of Climate*, núm. 16 (2003), p. 206-223.
- JONES, P.D.; HULME, M. «Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations». *International Journal of Climatology*, núm. 16 (1996), p. 361-377.
- JONES, P.D.; WIGLEY, T.M.L.; KELLY, P.M. «Variations in surface air temperatures: Part 1. Northern Hemisphere, 1881-1980». *Monthly Weather Review*, núm. 110 (1982), p. 59-72.

- JONES, P.D.; RAPER, S.C.B.; SANTER, B. [et al.] *A grid point surface air temperature data set for the northern hemisphere*. Springfield: United States Department of Energy, 1985.
- JONES, P.D.; RAPER, S.C.B.; BRADLEY, R.S. [et al.] «Northern Hemisphere surface air temperature variations: 1851-1984». *Journal of Climate and Applied Meteorology*, núm. 25 (1986), p. 161-179.
- JONES, P.D.; NEW, M.; PARKER, D.E.; [et al.] «Surface air temperature and its changes over the past 150 years». *Reviews of Geophysics*, núm. 37 (2) (1999), p. 173-199.
- KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. «Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-1999». *Journal of Climate*, núm. 16 (2003), p. 3665-3680.
- LÓPEZ, J.A. «Análisis de tendencias en olas de calor a partir de series largas de temperatura». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C. [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 347-354.
- LÓPEZ BUSTINS, J.A.; MARTÍN-VIDE, J.; SÁNCHEZ-LORENZO, A. «Iberian winter rainfall trends based upon changes in teleconnection and circulation patterns». *Global and Planetary Change*, núm. 63 (2-3) (2008), p. 171-176.
- LUGINA, K.M., [et al.] «Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881-2004». A: *Trends: a compendium of data on global change*. Oak Ridge: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Energy, 2005. <<http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/lugina/lugina.html>>.
- MARTÍN-VIDE, J. «El clima». A: CARRERAS, C. (dir.). *Geografía general dels Països Catalans*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana (1992a).
- MARTÍN-VIDE, J. «El clima». A: BOSQUE, J.; VILÀ, J. (dir.). *Geografía de España*. Vol. 9: «Cataluña y Baleares». Barcelona: Planeta (1992b), p. 44-67.
- MARTÍN-VIDE, J.; FERNÁNDEZ, D. «El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular». *Investigaciones Geográficas* [Instituto de Geografía, Universidad de Alicante], núm. 26 (2001), p. 41-58.
- MARTÍN-VIDE, J.; LOPEZ-BUSTINS, J.A. «The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, núm. 26 (11) (2006), p. 1455-1475.
- MARTÍN-VIDE, J.; MORENO, M.C. «Record temperatures in Spain: The heatwave of July 1995». *Journal of Meteorology*, vol. 21, núm. 208 (1996), p. 138-143.
- MARTÍN-VIDE, J.; OLCINA, J. *Tiempos y climas de España*. Madrid: Alianza Editorial, 2001.
- MARTÍN-VIDE, J.; RASO, J.M. *Atlas climàtic de Catalunya. Període 1961-1990. Termopluiometria*. Escala 1:750.000. Barcelona: ICC i Servei Meteorològic de Catalunya, 2003.
- MARTÍNEZ, M.D.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A.M. [et al.] «Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (NE Spain) for the period 1975-2004». *International Journal of Climatology* [Royal Meteorological Society], vol. 30 (2) (2010). DOI 10.1002/joc.
- MIRÓ, J.J.; ESTRELA, M.J. «Tendencias de la temperatura en los meses de julio y agosto en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas: cambios en la frecuencia de días calurosos». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C., [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 389-398.
- MOBERG, A.; JONES, P.D.; LISTER, D. [et al.] «Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, núm. 111 (2006). D22106. DOI 10.1029/2006JD007103.
- MORALES, C.G.; ORTEGA, M.T.; LABAJO, J.L. [et al.] «Recent trends and temporal behavior of thermal variables in the region of Castilla-León (Spain)». *Atmósfera*, núm. 18 (2005), p. 71-90.
- NINYEROLA, M.; PONS, X.; ROURE, J.M. *Atlas climàtic digital de Catalunya*. Barcelona: Servei Meteorològic de Catalunya, 2001.
- OÑATE, J.J.; POU, A. «Temperature variations in Spain since 1901: a preliminary analysis». *International Journal of Climatology*, núm. 16 (1996), p. 805-816.
- PAREDES, D.; TRIGO, R.; GARCÍA-HERRERA, R.; TRIGO, I.F. «Understanding precipitation changes in Iberia in early Spring. Weather typing and storm-tracking approaches». *Journal of Hydrometeorology*, núm. 7 (2006), p. 101-113.
- PEJENAUTE, J.M. «La ola de calor de agosto de 2003 en Navarra». A: GARCÍA-CODRÓN, J.C. [et al.] (ed.). *El clima entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), 2004, sèrie A, núm. 4, p. 105-144.

- PETERSON, T.C.; GALLO, K.P.; LAWRIEMORE, J. [et al.] «Global rural temperature trends». *Geophysical Research Letters*, núm. 26 (1999), p. 329-332.
- PRIETO, L.; GARCÍA-HERRERA, R.; DÍAZ, J. [et al.] «Minimum Extreme Temperatures over Peninsular Spain». *Global and Planetary Change*, núm. 44 (2004), p. 59-71. DOI 10.1016/j.gloplacha.2004.06.005.
- PROHOM, M. «La contribución de la Sociedad Astronómica de Barcelona en la difusión de las observaciones en Catalunya (1910-1923)». *Investigaciones Geográficas*, núm. 40 (2006), p. 141-155.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; ENCINAS, A.; NIETO, S. [et al.] «Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 299-316.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; GARCÍA-CASADO, L.A.; FRÍAS, M.D. «Trend and interannual variations in air temperature over Iberian Peninsula». [Article presentat en el 13th Symposium on Global Change and Climate Variations. American Meteorological Society, Orlando, Florida (EUA), 13-17 gener, 2002.]
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; ENCINAS A.; DOMÍNGUEZ, M.F. [et al.] «Impacto de índices climáticos en las variaciones de precipitación acumulada en los meses de febrero, marzo y abril». A: GUIJARRO, J.A.; GRIMALT, M.; LAITA, M. [et al.] (ed.). *El agua y el clima*. Palma de Mallorca: Asociación Española de Climatología (AEC), 2002, sèrie A, núm. 3, p. 315-323.
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; FRÍAS, M.D.; ENCINAS, A.H. «Relaciones entre los extremos de temperatura máxima y patrones de circulación en el Atlántico Norte». Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Meteorología (AEC), 2004, 6 p. [Article presentat en les XXVIII Jornadas Científicas. La meteorología y clima atlánticos. 5.º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología, Badajoz, Espanya, 11-13 febrer, 2004.]
- RODRÍGUEZ PUEBLA, C.; BRUNET, M. «Variability and Climate Change». A: MARTÍN-VIDE J.; CUADRAT, J.M. (ed.). *Spanish climatology: past, present and future*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC), sèrie B, 2007.
- ROMERO, R.; GUIJARRO, J.A.; RAMIS, C. [et al.] «A 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study». *International Journal of Climatology*, núm. 18 (1998), p. 541-560.
- SALADIÉ, O.; BRUNET, M.; AGUILAR, E. [et al.] «Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el Sistema Mediterráneo Catalán (1901-2000)». A: GARCÍA, J.C.; DIEGO, C.; FERNÁNDEZ DE ARRÓYABE, P. [et al.] (eds.). *El clima, entre el mar y la montaña*. Santander: Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (2004), sèrie A, núm. 4, p. 399-408.
- «Variacions i tendència de la precipitació a les Terres de l'Ebre durant el segle XX». A: *Actes del IV Congrés ibèric sobre gestió i planificació de l'aigua*. Tortosa: Fundació Nova Cultura de l'Aigua, 9 p. (CD), 2004b.
- *Observar la lluvia en Cataluña: 150 años de registros. Creación de la base de datos de precipitación mensual ajustada del sector nororiental de la península Ibérica (1850-2000)*. Tarragona: Publicacions de la Universitat Rovira i Virgili (2007). (Recerca; 3).
- «Variacions i tendència de la precipitació al sector nord-oriental de la península Ibèrica durant e segle XX». *Revista de Geografia*, núm. 8 (2008), p. 25-46.
- SÁNCHEZ-LORENZO, A.; BRUNETTI, M.; CALBÓ, J. [et al.] «Recent spatial and temporal variability and trends of sunshine duration over the Iberian Peninsula from a homogenized dataset». *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, vol. 112 (2007). D20115. DOI 10.1029/2007JD008677.
- SERRA, C.; BURGUEÑO, A.; LANA, X. «Analysis of maximum and minimum daily temperatures recorded at Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) in the period 1917-1998». *International Journal of Climatology*, núm. 21 (2001), p. 617-636.
- VINNIKOV, K.Y.; GROISMAN, P.Y.; LUGINA, K.M. «Empirical data on contemporary global climate changes (temperature and precipitation)». *Journal of Climate*, núm. 3 (1990), p. 662-677.