



## 7. Projeccions climàtiques per a Catalunya

**Josep Calbó**, Universitat de Girona  
**Jordi Cunillera**, Servei Meteorològic de Catalunya  
**Carme Llasat**, Universitat de Barcelona  
**Josep Enric Llebot**, Universitat Autònoma de Barcelona  
**Javier Martín**, Universitat de Barcelona

### Introducció, objectiu i metodologia

Fins ara, s'ha comentat en capítols anteriors d'aquesta mateixa secció quines són les projeccions climàtiques que es fan, en general, per a finals del segle XXI, amb els models globals del tipus AOGCM (inclosos en el quart informe del GIECC) o amb els models regionals (tal com s'han utilitzat en el projecte europeu Prudence). Aquestes projeccions marquen clarament quines són les tendències a escala global i, també, per a grans regions d'extensió subcontinental. Fins i tot, en l'anàlisi dels resultats del projecte Prudence s'ha pogut arribar a donar tendències a escala de la península Ibèrica. Aquests resultats (i les incerteses que comporten, que també hem comentat) són encara insuficients, en general, per als gestors i els responsables de prendre decisions en els àmbits en què el clima és un factor rellevant (la gestió de l'aigua, l'agricultura, el turisme, l'energia, etc.), en particular quan tenen competències sobre una àrea territorial relativament petita i geogràficament i climàticament diversa com és Catalunya. Una altra qüestió que també sorgeix és la de l'horitzó temporal: si bé és interessant tenir projeccions per a finals de segle, sembla més convenient, amb vista a la presa de decisions, tenir projeccions per a un termini més proper (20-50 anys).

Per tant, aquest capítol té com a objectiu donar respostes a aquestes qüestions pendents: d'una banda, descriure projeccions climàtiques més detallades per a Catalunya i, d'altra banda, donar aquestes projeccions per a escenaris temporals més immediats.

Atès que no es tractava en aquest informe de generar nous resultats com a conseqüència de nova activitat investigadora, la metodologia seguida ha estat, com en els capítols anteriors, la revisió bibliogràfica i documental d'articles i informes publicats fins avui. En concret, el principal document que s'ha utilitzat és l'informe titulat *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España* (INM, 2007), que ha estat elaborat recentment per l'Institut Nacional de Meteorologia espanyol (actualment, Agència Estatal de Meteorologia, AEMET). Les principals tècniques de regionalització i els resultats més destacats d'aquest document es resumiran en els propers apartats. També hem emprat altres articles publicats en revistes científiques, en molts casos derivats del projecte Prudence, que permeten deduir algun resultat aplicable a Catalunya.

Finalment, s'ha fet l'esforç d'integrar tota la informació obtinguda sobre les projeccions climàtiques a diferents escales, per resumir-la en un quadre que indiqui quins són els rangs esperats d'augment de la temperatura i de canvis de la precipitació, per a Catalunya i en tres àrees diferenciades (litoral, interior i Pirineu). En el mateix quadre donem valors corresponents a finals del segle XXI i, també, per al primer terç d'aquest segle. Avancem ja ara que l'elaboració d'aquest resum no ha seguit una metodologia quantitativa o estadística, sinó que s'ha fet integrant de manera qualitativa (i, per tant, no exempta d'una certa subjectivitat) tot el coneixement dels autors, que correspon en principi a l'estat de la qüestió en cercles científics.

## El document d'escenaris climàtics a Espanya: mètodes utilitzats

L'estudi desenvolupat per l'Institut Nacional de Meteorologia (INM, i actual Agència Estatal de Meteorologia) per tal d'obtenir uns escenaris climàtics detallats per a Espanya es basa en l'ús de diverses tècniques de regionalització. D'una banda, i de manera semblant a com hem fet en els capítols 5 i 6 d'aquest informe (però amb un mètode més quantitatiu i estructurat, el de generació d'escenaris Magicc-Scengen), analitzem directament els resultats dels models globals. D'altra banda, i com també hem mostrat en el capítol 6, fem servir els resultats de tots els models regionals del projecte Prudence. Finalment, i com a novetat interessant per obtenir l'alta resolució espacial desitjada, fem tres tècniques de disminució d'escala amb base estadística. Dues són mètodes que incorporen el coneixement dinàmic de l'atmosfera (mètodes d'anàlegs), mentre que la tercera és un mètode purament empíric. En tots els casos, la idea és, donada una situació meteorològica futura (tal com resulta dels models climàtics globals, és a dir, amb baixa resolució espacial), predir quin seria el comportament local del temps meteorològic i, concretament, d'algunes variables d'interès. D'aquesta manera, del model global n'extraurem uns «predictors» que utilitzarem per avaluar uns «predictands». Aquests darrers, en el cas de l'informe que estem resumint, són les temperatures màxima i mínima diària i la precipitació diària. Tots aquests mètodes estadístics requereixen una bona base de dades de les variables meteorològiques en el passat, tant pel que fa a les estacions (punts concrets en el territori) com els camps meteorològics a escala sinòptica. En el cas que ens ocupa, les primeres estan garantides pel mateix INM, mentre que els segons s'obtenen de les reanàlisis que, provinents de diverses institucions internacionals, estan a la disposició dels investigadors. L'altra assumpció que fem en la base d'aquests mètodes estadístics és que les relacions que hi havia en el passat es mantindran igualment vàlides en un clima futur.

Els mètodes dels anàlegs es basen en la cerca dels dies (passats) en què la situació sinòptica va ser més semblant a la del dia (futur) per al qual es vol predir els valors de les temperatures i la precipitació. Per a això, s'utilitzen diferents criteris objectius de proximitat que, aplicats a la base de dades històrica, permeten considerar que una situació és meteorològicament similar, cosa que fa necessari definir les variables per a les quals es buscarà la semblança. Un cop s'han seleccionat els dies més semblants (anàlegs), es prenen els valors que va tenir la variable que es vol predir per a aquells dies, i, d'aquesta manera, es pot tenir una distribució de freqüència que es projecta com una distribució de probabilitats dels valors de la variable en el dia futur. Algunes vegades es treballa amb la mitjana de tots els valors obtinguts per a cada punt, estació meteorològica o regió, a fi d'obtenir un resultat aparentment determinista.

En el cas de l'informe de l'INM, el primer mètode utilitzat és l'anomenat mètode d'anàlegs FIC (Fundación para la Investigación del Clima). La definició de «situació semblant» es fa basant-se en els camps del vent geostrofic a 1.000 i 500 hPa (que descriuen força bé la situació dinàmica en superfície i a nivells mitjans de la troposfera). Després, s'utilitzen els dies anàlegs per determinar directament el valor de la variable que es vol predir (fent la mitjana de tots els valors corresponents a tots els dies), o es busca una relació, lineal, entre algun índex que defineixi la situació sinòptica i el predictand. La primera opció es fa servir per a la precipitació, mentre que la segona s'aplica a les temperatures màxima i mínima. Les tres magnituds s'avaluen pel que fa a l'estació meteorològica, en més de 300 estacions termomètriques i més de 2.300 estacions pluviomètriques. Aquest mètode utilitza els camps de la reanàlisi del Centre Europeu de Predicció a Termini Mitjà (ERA-40), i s'ha aplicat amb els resultats de dos models globals AOGCM (CGCM2 i ECHAM4) i un d'atmosfèric (HadAM3), sempre per a l'escenari d'emissions A2 i per a tres horitzons temporals (2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100).

El segon mètode pren el nom de mètode d'anàlegs INM, ja que va ser aplicat pel mateix Institut Nacional de Meteorologia, i és força semblant al que hem descrit més amunt. La diferència principal és que no es treballa a escala d'estació meteorològica, sinó que, per tal de cobrir tot el territori, primer s'han interpolat els valors sobre una malla, que cobreix tot Espanya, amb cel·les d'uns 50 km de costat. Altres diferències són que s'utilitza la



reanàlisi nord-americana NCAR (National Center for Atmospheric Research) com a base de dades històrica pel que fa als camps sinòptics, i que la semblança entre les situacions es defineix no tan sols a partir dels camps del vent geotròfic a dos nivells, sinó també utilitzant altres índexs representatius de la situació. Aquest mètode es va aplicar amb els mateixos models globals i escenaris que l'anterior.

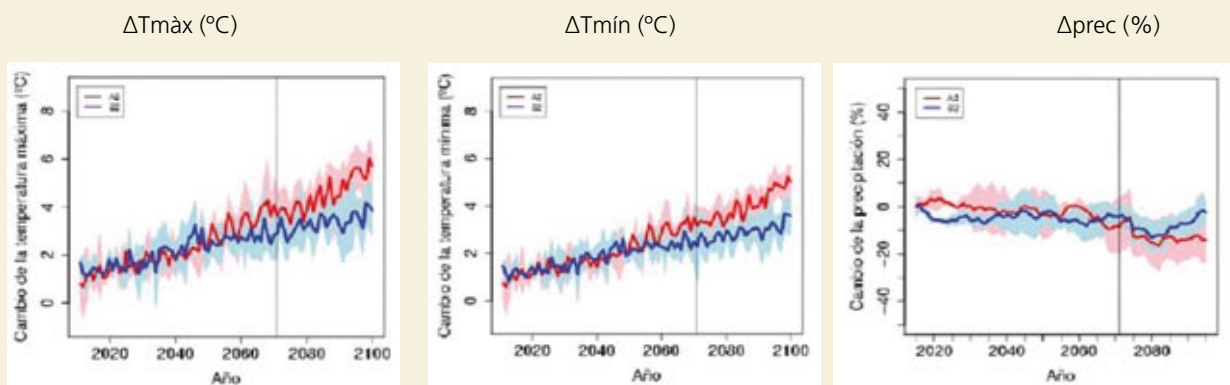
Finalment, un tercer mètode consisteix en una pura regressió lineal múltiple. El mètode pren el nom de SDSM (Statistical DownScaling Method). Es tracta d'establir relacions empíriques entre els predictands a escala local i els predictors d'escala regional, tal com resulten dels models de circulació general. Com en els casos anteriors, s'utilitzen dades històriques (en aquest cas, de les estacions de l'INM i de la reanàlisi de l'NCAR) per calibrar les relacions, que després s'apliquen amb els resultats del model HadCM3 per a l'escenari A2. Una explicació molt més detallada dels tres mètodes es troba en l'informe ja esmentat (INM, 2007) i les referències que s'hi donen.

## Resultats

### Augment de la temperatura a Catalunya

En la figura 1, extreta d'un annex de l'informe INM (2007), es presenta l'evolució prevista de les temperatures màxima i mínima durant el segle XXI a Catalunya, basant-se en els resultats de les diverses tècniques de regionalització i disminució d'escala, incloent-hi a partir de l'any 2071 els resultats del projecte Prudence. A partir d'aquestes figures, hem elaborat la taula 1 amb els valors corresponents als períodes 2011-2040 i 2071-2100, en la qual hem afegit els increments previstos per a la temperatura mitjana, considerant que es pot estimar com la mitjana entre les temperatures màxima i mínima. Encara que aquesta informació és prou interessant, en el sentit que ja assolix l'escala de treball que ens plantejàvem com a objectiu, el cert és que de l'anàlisi detallada dels mapes que es presenten en l'informe se'n poden obtenir resultats encara una mica més detallats.

**Figura 1. Evolucions del canvi de les temperatures màxima i mínima (en °C) i de la precipitació (en %) mitjana anual per a Catalunya, obtingudes agregant tots els resultats de diferents tècniques de regionalització estadística i dinàmica.**



El període de referència és el 1961-1990. Les línies són la mitjana dels resultats de tots els mètodes; l'ombregjat representa la desviació estàndard. En el cas de la precipitació s'ha aplicat també una mitjana mòbil de deu anys per eliminar la variabilitat interanual. [Font: INM, 2007].

**Taula 1. Incrementos de temperatura (°C) per a Catalunya, per a dos escenaris (B2 i A2) i dos horitzons temporals, a partir de les gràfiques de la figura 1.**

	2011-2040		2071-2100	
	B2	A2	B2	A2
Tmàx (°C)	1,5 ± 0,6	1,5 ± 0,6	3,1 ± 1,0	4,7 ± 0,8
Tmín (°C)	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,5	2,8 ± 0,8	4,2 ± 0,7
Tmitjana (°C)	1,4 ± 0,6	1,4 ± 0,6	2,9 ± 1,0	4,4 ± 0,8
Precipitació (%)	-5 ± 5	0 ± 8	-8 ± 6	-12 ± 10

D'aquesta manera, en la taula 2 hem distingit les projeccions en tres àrees geogràfiques, que hem anomenat costa (o litoral), interior i muntanya (Pirineus). En tots els casos donem uns rangs de valors, ja que provenen dels mapes generats amb les diverses tècniques i inclouen també la variabilitat espacial que hi ha dins de les tres àrees definides. D'altra banda, igual que donem mapes a resolució mensual, per a algunes de les tècniques de regionalització també incloem en la taula els rangs esperats d'augment de temperatura a escala estacional. Cal dir que, en aquest cas, l'augment donat correspon a la temperatura màxima, i per a l'escenari de finals del segle XXI. D'aquesta manera, encara que no sigui estrictament comparable amb les projeccions de la temperatura mitjana, dóna una idea de quin és el comportament estacional previst de l'increment de temperatura.

**Taula 2. Incrementos de temperatura mitjana (°C), per a tres zones de Catalunya, per a l'escenari A2 i dos horitzons temporals, a partir dels resultats de diverses tècniques de regionalització (INM, 2007). També, increments estacionals de la temperatura màxima a finals del segle XXI.**

	2011-2040	2071-2100	Hivern (DJF)	Primavera (MAM)	Estiu (JJA)	Tardor (SON)
Costa	0,2-1,3	3,5-5,0	2,5-3,5	3,0-4,0	5,0-6,5	3,5-5,0
Interior	0,7-1,8	4,5-5,0	2,5-4,5	3,5-5,0	6,0-7,5	4,5-6,5
Pirineus	0,7-1,8	4,5-5,0	2,5-4,5	3,0-5,0	6,5-7,5	5,0-6,0

A part dels resultats del projecte Prudence i de les tècniques de disminució d'escala aplicades a l'informe INM (2007), hi ha un bon nombre d'articles que es refereixen a projeccions de la temperatura (o variables i fenòmens associats a aquesta temperatura) publicats els darrers anys. Aquests articles, molts dels quals s'han elaborat també al voltant del projecte Prudence, han estat també revisats per fer aquest informe; per tant, ara comentarem alguns dels resultats que considerem especialment interessants. Per exemple, Beniston *et al.* (2007) troben que tots els índexs relacionats amb les onades de calor (nombre, durada màxima, temperatura màxima, etc.) augmenten clarament a Catalunya (entre el 10% i el 25% segons l'índex) a finals de segle en un escenari A2. Sánchez *et al.* (2004), utilitzant només un model i l'escenari A2, troben que les temperatures més extremes (el percentil 90 de les temperatures màximes) poden pujar 5-7 °C a l'estiu i al voltant de 3 °C a l'hivern. Curiosament, segons el mateix treball, les onades de calor podrien disminuir la seva durada a Catalunya, excepte a l'estiu al Pirineu. Pel que fa a les temperatures mínimes més baixes (percentil 10) augmentarien uns 3 °C a l'hivern i uns 4 °C a l'estiu. Les durades de les invasions d'aire fred a l'hivern serien més curtes, però, en canvi, els períodes amb aire relativament més fresc serien més llargs a l'estiu. Aquest darrer resultat és qüestionat pels mateixos autors del



treball, que el justifiquen basant-se en el fet que els períodes «freds» i «càlids» ho són amb relació als valors normals en el nou clima. Finalment, Diffenbaugh *et al.* (2007) combinen la temperatura i la humitat relativa per definir un índex de calor i obtenen que, per a l'escenari A2 i a finals de segle, els dies en què el valor d'aquest índex supera un cert llindar de perillositat passen a ser més de 30 dies a l'any en algunes zones de la costa i el sud de Catalunya, tot i que en el clima actual no són més d'uns deu dies per any.

### Canvis en la precipitació a Catalunya

Com en el cas de les temperatures, en la figura 1 presentem l'evolució prevista de la precipitació, durant el segle XXI, a Catalunya, agregant els resultats de diverses tècniques de regionalització, incloent-hi a partir de l'any 2071 els resultats del projecte Prudence. Igualment, els valors numèrics per a dos escenaris temporals es donen en la taula 1. Analitzant detalladament els mapes on es presenta el canvi de precipitació, hem pogut extreure la informació que donem en la taula 3, en la qual hem tornat a distingir de manera aproximada entre les tres àrees geogràfiques: costa (o litoral), interior i muntanya (Pirineus). En tots els casos donem rangs de valors, ja que provenen dels mapes generats amb les diverses tècniques (inclosos els resultats de Prudence quan escau) i inclouen també la variabilitat espacial que hi ha dins de les tres àrees definides. Com que també hi ha mapes a resolució mensual, per a algunes de les tècniques de regionalització, i només per a l'escenari de finals de segle XXI, també hem pogut fer una estimació dels canvis de la precipitació a escala estacional, estimació que també donem en la taula 3. Aquestes taules intenten ser un resum entre els resultats obtinguts amb els diversos mètodes de regionalització i els diversos models globals de base que es consideren en el treball INM (2007). A diferència del cas de les temperatures, aquest resum és més difícil de fer, ja que els valors que es troben presenten una dispersió notable. En particular, els resultats provinents de Prudence (forçats amb HadAM3H) són força més pessimistes que la resta pel que fa a l'estiu, i més optimistes per a la tardor. Un altre exemple és el cas de la segona metodologia d'anàlegs, que forçada amb el mateix HadAM3 tendeix a donar augments de precipitació en la meitat freda de l'any, per a la zona de Catalunya.

**Taula 3. Canvis de la precipitació (%), per a tres zones de Catalunya, per a l'escenari A2 i dos horitzons temporals, a partir de diverses tècniques de regionalització utilitzades a INM (2007). També, canvis estacionals de la precipitació, per a finals de segle XXI.**

	2011-2040	2071-2100	Hivern (DJF)	Primavera (MAM)	Estiu (JJA)	Tardor (SON)
Costa	-10, 0	-20, -10	-10, 0	-10, 0	-40, -20	-15, -5
Interior	-5, +5	-15, -5	-5, +10	-15, -5	-35, -15	-15, -5
Pirineu	0, +10	-5, +5	+5, +15	0, +10	-15, 0	-10, 0

Igual que en el cas de les temperatures, hi ha també un bon nombre d'articles que, majoritàriament a partir del projecte Prudence, analitzen a escala d'Europa o inferior algun aspecte relacionat amb la precipitació. Destacarem a continuació alguns dels resultats que s'hi esmenten. Gao *et al.* (2006), per exemple, utilitzen un model regional a una resolució de 20 km, per analitzar els canvis en la durada dels períodes sense precipitació i en les precipitacions intenses (definides a partir de la màxima precipitació acumulada en cinc dies consecutius, 5DP), a finals del segle XXI i per a l'escenari A2. Pel que fa als períodes secs, tendeixen a allargar-se el 25-75% a la primavera i fins a més del 100% a l'estiu, mentre que no canvien de manera significativa a la tardor i a l'hivern. Pel que fa a la 5DP, tendiria a disminuir durant l'hivern i la primavera (el 10-25%) però a augmentar (fins al 50%) en el litoral

a la tardor. En un treball anterior, només per a l'estiu, Pal *et al.* (2004) també troben una tendència similar amb l'escenari B2: els períodes sense precipitació podrien allargar-se entre dos i set dies més, mentre que la 5DP no canviaria significativament durant l'estiu. Per la seva banda, Christensen i Christensen (2004) analitzen els possibles canvis en les precipitacions extremes estivals i conclouen que, malgrat el descens de les precipitacions totals, es pot esperar (A2, finals de segle) un cert augment en les precipitacions intenses. Beniston *et al.* (2007), en canvi, basant-se en algunes de les simulacions desenvolupades en el marc de Prudence, conclouen que les precipitacions intenses disminuiran al sud d'Europa, tant a l'hivern com a l'estiu. El mateix treball, però, coincideix amb altres resultats a predir un allargament en la durada dels períodes secs, que a més poden començar més aviat dins de l'any. Això seria vàlid per als dos escenaris analitzats (A2 i B2). Sánchez *et al.* (2004) utilitzen un sol model regional (Promes) i un sol escenari (A2) per mostrar els canvis de la precipitació mitjana i extrema a finals de segle. Per a la precipitació extrema, destaca que a Catalunya les precipitacions intenses podrien disminuir a l'hivern i, en canvi, augmentar a l'estiu (aquest darrer resultat, especialment significatiu a la vall de l'Ebre). Atesa la disminució general de la precipitació, això implicaria una clara disminució dels dies amb precipitacions intenses (disminució superior al 10% a l'hivern i al 25% a l'estiu).

El treball de Lehner *et al.* (2006) és també interessant. Utilitzen les sortides de dos models climàtics globals (HadCM3 i ECHAM4), amb l'escenari A1B, i obtenen que, a Catalunya i per a finals del segle XXI, cal esperar que les inundacions que actualment tenen períodes de retorn de 100 anys els tinguin d'entre 40 i 70 anys, especialment en llocs del litoral i el prelitoral. D'altra banda, i per a tot Catalunya, caldria esperar que les sequeres que actualment tenen períodes de retorn de 100 anys reduïssin aquests períodes clarament per sota dels 50 anys (de fet, en alguns casos l'increment de la freqüència dona lloc a períodes de retorn de tan sols deu anys). Finalment, un treball recent (López-Moreno *et al.*, 2008) avalua amb detall quina pot ser la precipitació al Pirineu cap a finals de segle (amb vista a la gestió de l'aigua dels rius que neixen en aquesta serralada) i conclou que la importància de la neu en el cicle hidrològic disminuirà clarament, en part pels canvis de la precipitació (que segons aquests autors disminuiria, encara que poc, el 5-10%, a l'hivern en el Pirineu oriental), però sobretot a causa de l'augment de temperatura, que significaria una reducció de l'àrea on s'acumula neu, un avançament del període de fosa i la consegüent disminució dels cabals durant la primavera. Aquests aspectes de caràcter hidrològic s'amplien als capítols 10 i 12 d'aquest informe.

### **Canvis en el nivell del mar a la costa catalana**

En el capítol 6 hem comentat quin és l'augment del nivell del mar previst a escala global segons els diferents escenaris d'emissions. Per al mar Mediterrani en concret, i més especialment per al seu extrem occidental (és a dir, per a la costa catalana), les projeccions relatives a l'augment del nivell del mar són més aviat escasses. En realitat, fins i tot els estudis relatius al comportament del nivell del mar en els darrers decennis també són relativament limitats i, en tot cas, mostren que les variacions de nivell han tingut comportaments diferents en llocs relativament propers (com ara Mallorca, la Costa Brava i Màlaga). Sigui com sigui, un treball recent (Tsimplis *et al.*, 2008) indica que l'augment del nivell del mar que cal esperar a la Mediterrània és relativament modest, atès que els dos components dels canvis estèrics (és a dir, de densitat), la temperatura i la salinitat, tendiran a compensar-se (no del tot) entre si. D'aquesta manera, l'expansió a conseqüència de l'augment de temperatura s'atenuarà per l'augment de densitat d'una aigua més salina. Els altres factors que influeixen en el nivell del mar (principalment, l'aportació d'aigua per la fosa de geleres i casquets de glaç), contribuiran positivament al nivell del mar, que s'estima que pot pujar uns 30 cm per a finals de segle, en l'escenari A2. Aquest valor podria ser fins i tot inferior en les zones més properes a la costa, però està sotmès a una gran incertesa, pel fet que s'ha obtingut amb un sol model, i perquè tampoc no considera (igual que no es fa en les estimacions globals) la possible aportació d'una fossa més ràpida del glaç de Grenlàndia.



## Resum

En la taula 4 hem intentat resumir totes les projeccions que hem comentat fins ara en aquest capítol i en els anteriors, per tal de donar, per a Catalunya i les tres àrees que hem definit, uns rangs de variació de la temperatura i la precipitació que podem considerar probables d'acord amb els coneixements actuals, les tècniques de modelització i regionalització utilitzades pels investigadors i els escenaris considerats. Cal tenir present que els valors de la taula són el resultat d'una síntesi efectuada sense cap metodologia estadística o numèrica, sinó que surten d'una integració més aviat qualitativa de les diverses projeccions, obtingudes per diverses escales i amb diverses metodologies. També cal destacar que en la generació dels valors de la taula s'han considerat també altres referències bibliogràfiques que no han estat explícitament citades en aquests capítols.

Com es pot veure, es donen els rangs esperats d'augment de temperatura i de variació de la precipitació, corresponents a l'escenari A2 i per a finals d'aquest segle. Hem escollit aquest escenari perquè és un dels més pessimistes (quant a les emissions de gasos d'efecte d'hivernacle), però, tot i així, sembla que s'està superant els darrers anys. A més a més, per a aquest escenari es troben moltes més projeccions (en particular, les que resulten del projecte Prudence) que per a tots els altres. Recordem que l'escenari A1B, per al qual també hem analitzat alguns resultats, no és tan diferent d'aquest escenari A2. D'altra banda, també hem afegit una columna en la qual donem les estimacions de canvi de temperatura i precipitació per als propers decennis (2011-2040) i indiquem que són vàlides per a tots els escenaris. La causa d'això és que, per a aquest horitzó tan proper, les projeccions per als diferents escenaris són gairebé indistingibles. En aquest cas no hem trobat prou informació per generar un detall estacional, però hom pot pensar que el comportament seria semblant al donat per a finals de segle per a l'escenari A2, convenientment escalat a la mitjana anual que es dona.

En resum, observem que la temperatura mitjana a Catalunya podria pujar entre 4 i 5,5 °C a finals de segle, i aquest augment és molt més important a l'estiu als Pirineus i les comarques interiors (fins a 7 °C), i més moderat a l'hivern per a les zones costaneres (a l'entorn de 3 °C). Pel que fa a la precipitació, per al conjunt de Catalunya i en mitjana anual, podria disminuir entre el 5% i el 15%, i l'estiu és l'estació que patiria descensos més importants de precipitació (fins al 40% menys de precipitació a les zones costaneres). Afortunadament, a la zona dels Pirineus i en estacions més plujoses (tardor), els descensos serien més moderats, semblants o inferiors als de la mitjana anual. En general, les diverses projeccions indiquen una possibilitat d'un lleuger augment de la precipitació durant l'hivern. Per a l'horitzó més immediat (2011-2040), és clar l'augment de temperatura, que probablement serà lleugerament superior a 1 °C. En canvi, la precipitació no patirà canvis significatius per al conjunt de Catalunya, encara que s'espera una lleugera disminució a la costa i un petit augment al Pirineu.

**Taula 4. Augments de temperatura (línia superior de cada àmbit, en °C) i canvis en la precipitació (línia inferior de cada àmbit, en %), estimats a partir de tots els treballs i documents revisats (capítols 5, 6 i 7).**

	Escenari A2, període 2071-2100					Tots els escenaris, període 2011-2040
	Hivern	Primavera	Estiu	Tardor	Any	Any
Costa	2,5-3,5	3,0-4,0	5,0-6,5	3,5-5,0	3,5-5,0	0,4-1,6
	-10, 0	-10, 0	-40, -20	-15, -5	-20, -10	-12, 0
Interior	2,5-4,0	3,5-5,0	6,0-7,0	4,5-6,5	4,0-5,5	0,8-2,0
	+5, +10	-15, -5	-35, -15	-15, -5	-15, -5	-7, +5
Pirineus	2,5-4,0	3,0-4,5	6,5-7,5	5,0-6,0	4,0-5,5	0,8-2,0
	+5, +15	0, +10	-15, 0	-10, 0	-5, +5	-2, +10
Catalunya	2,5-4,0	3,0-4,5	5,5-7,0	4,0-5,5	4,0-5,5	0,7, 1,9
	-5, +10	-10, 0	-30, -10	-15, -5	-15, -5	-7, +5

### **Comentaris: incerteses i oportunitats**

Atès que els valors presentats en la taula 4 provenen de moltes anàlisis diferents i de resultats d'autors diversos, se'ls pot atorgar un cert grau de confiança. No obstant això, la majoria d'aquests treballs (però no tots) es basen en les simulacions del projecte Prudence, que, malgrat utilitzar diversos models regionals, només els executa en condicions de contorn donades per dos models globals. Ara bé, altres treballs independents de Prudence (inclòs el resum per a la regió Mediterrània que forma part de l'AR4 del GIECC a partir de les dades de l'MMD) sembla que avalen la validesa d'aquests valors. Nogensmenys, cal recordar que totes les projeccions climàtiques porten incertesa: des del desconeixement de les futures emissions de gasos d'efecte d'hivernacle fins a la incapacitat de descriure, amb les tècniques actuals, els fenòmens atmosfèrics que es produeixen a petita escala i que poden tenir una gran influència en el clima sobre un territori orogràficament tan complex com és Catalunya (en particular, pel que fa a les precipitacions), passant per altres fonts d'incertesa ja comentades en capítols anteriors.

En aquest marc, en què la incertesa encara és un gran component de les projeccions climàtiques, especialment d'aquelles que es fan a escala regional i local, és lògic que s'estiguin duent a terme diverses activitats de recerca encaminades a millorar les projeccions i reduir la incertesa. D'aquesta manera, hi ha d'una banda el projecte europeu Ensembles, que els propers anys començarà a obtenir projeccions amb base probabilística, en el sentit que s'hauran obtingut d'un gran nombre d'experiments (simulacions). També a Catalunya hi ha diverses iniciatives en marxa. Per exemple, el Servei Meteorològic de Catalunya està treballant en la modelització climàtica, bàsicament de la precipitació, emprant el model MM5 a resolucions de 135, 45 i 15 km, inicialitzant-lo amb les sortides del model global ECHAM5. En les proves de validació que s'han fet fins ara (utilitzant dades de la reanàlisi ERA40) per al període 1971-2000, els resultats són satisfactoris quan es comparen amb les observacions a Catalunya per al mateix període. A la Universitat Autònoma de Barcelona, al Parc Científic de la Universitat de Barcelona, a la Universitat de Girona i, com ja s'ha comentat, al Barcelona Supercomputing Center – Centre Nacional de Supercomputació, també hi ha en marxa projectes de recerca al voltant de la projecció climàtica regional.





## Referències bibliogràfiques

- BENISTON, M.; STEPHENSON, D. B.; CHRISTENSEN, O. B.; FERRO, C. A. T.; FREI, C.; GOLLETE, S.; HALSNAES, K.; HOLT, T.; JYLHÄ, K.; KOFFI, B.; PALUTIKOF, J.; SCHÖLL, R.; SEMMLER, T.; WOTH, K. (2007). «Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections». *Climatic Change*, núm. 81, pàg. 71-95. DOI: 10.1007/s10584-006-9226-z.
- CHRISTENSEN, O. B.; CHRISTENSEN, J. H. (2004). «Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate». *Global and Planetary Change*, núm. 44, pàg. 107-117.
- DIFFENBAUGH, N. S.; PAL, J. S.; GIORGI, F.; GAO, X. (2007). «Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot». *Geophysical Research Letters*, núm. 34, L11706. DOI: 10.1029/2007GL030000.
- GAO, X.; PAL, J. S.; FILIPPO, G. (2006). «Projected changes in mean and extreme precipitation over the Mediterranean region from a high resolution double nested RCM simulation». *Geophysical Research Letters*, núm. 33, L03706. DOI: 10.1029/2005GL024954.
- INSTITUT NACIONAL DE METEOROLOGIA, INM (2007). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*, INM, Madrid.
- LEHNER, B.; DÖLL, P.; ALCAMO, J.; HENRICH, T.; KASPAR, F. (2006). «Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis». *Climatic Change*, núm. 75, pàg. 273-299. DOI: 10.1007/s10584-006-6338-4.
- LÓPEZ-MORENO, J. I.; BENISTON, M.; GARCÍA-RUIZ, J. M. (2008). «Environmental change and water management in the Pyrenees: Facts and future perspectives for Mediterranean mountains». *Global and Planetary Change*, núm. 61, pàg. 300-312.
- PAL, S. J.; GIORGI, F.; BI, X. (2004). «Consistency of recent European summer precipitation trends and extremes with future regional climate projections». *Geophysical Research Letters*, núm. 31, L133202. DOI: 10.1029/2004GL019836.
- SÁNCHEZ, E.; GALLARDO, C.; GAERTNER, M. A.; ARRIBAS, A.; CASTRO, M. (2004). «Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach». *Global and Planetary Change*, núm. 44, pàg. 163-180.
- TSIMPLIS, M. N.; MARCOS, M.; SOMOTET, S. (2008). «21st century Mediterranean sea level rise: Steric and atmospheric pressure contributions from a regional model». *Global and Planetary Change*. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2007.09.006.