

# El futur a mitjà termini

## Què diuen les projeccions climàtiques per als propers decennis a la regió de Girona

Text > **JOSEP CALBÓ**, professor titular del Departament de Física de la UdG

El clima està canviant i seguirà canviant, tant globalment, com a escala regional i local. I no ho farà només per causes naturals, sinó que sobretot l'evolució futura vindrà marcada per la influència de les activitats humanes. La humanitat mateixa es pregunta, aleshores, com serà el clima en un futur més o menys proper. La resposta està en les projeccions climàtiques efectuades per sofisticats models numèrics. Els resultats, no exempts d'incertesa, indiquen canvis no menyspreables per a les comarques gironines.

**E**n un context de clima bàsicament inalterat en els darrers deu mil o dotze mil anys, la humanitat s'ha desenvolupat fins a la situació actual, en què l'*Homo sapiens* és sens dubte l'espècie que domina la Terra, en el sentit que les conseqüències de la presència d'humans són en molts casos d'abast global i modifiquen moltes de les dinàmiques que es podrien anomenar naturals. El clima serveix com a exemple perfecte d'aquest impacte dels humans sobre el planeta. Essent un fenomen sotmès a causes naturals (la lluminositat del Sol i la geometria de l'òrbita terrestre al seu voltant, la distribució de continents i oceans, la composició de l'atmosfera...), a escala geològica el clima en el passat canviava perquè canviava, de manera «natural», alguna d'aquestes causes. En canvi, en els darrers decennis, el clima canvia, i ho fa molt ràpidament, perquè la composició de l'atmosfera està canviant (ràpidament) degut a l'activitat humana, i molt específicament a l'ús de combustibles fòssils per proveir-nos d'energia.

La consciència d'un canvi climàtic ràpid justifica l'interès per conèixer quin pot ser el clima del futur. Aquesta qüestió fa tan sols uns decennis ni es plantejava (o es plantejava en escales temporals molt llargues: els cicles naturals ens havien de portar a una nova

glaciació en uns pocs milers d'anys), però ha esdevingut de gran importància actualment. L'interès sobre el clima futur a escala regional o local també té molt de sentit, ja que l'adaptació de l'economia i la societat a un nou clima s'iniciarà, molt probablement, en aquests entorns més propers. És per això que en aquest article explorem quin pot ser el clima futur a les comarques gironines.

### El clima canvia molt ràpidament perquè la composició de l'atmosfera està canviant

D'alguna manera, es pot fer un paral·lelisme entre la predicció meteorològica que estem acostumats a consultar en la nostra vida diària i la projecció climàtica que intenta descriure com serà el clima futur. Els fenòmens físics implicats en ambdós casos són fonamentalment els mateixos. També hi ha, però, diferències rellevants. La predicció meteorològica és determinista, en el sentit que parteix d'unes condicions inicials del sistema, de manera que els models, que incorpo-

ren les equacions que descriuen els fenòmens implicats, poden determinar amb força encert el temps meteorològic dels dies posteriors. Com que l'atmosfera és un sistema complex que es comporta de manera caòtica, la predicció mai pot anar més enllà d'uns pocs dies. Sigui com sigui, en predicció meteorològica les condicions inicials són fonamentals, mentre que les condicions de contorn (la temperatura de la superfície dels oceans, la composició de l'atmosfera...) es consideren essencialment constants.

En el cas del clima, el que ens interessa és conèixer com respondrà el sistema a un canvi de les condicions de contorn (o, si volem dir-ho així, a un canvi en els factors causals que expliquen el clima). No estem interessats (i de fet, no podríem tenir resposta) en el temps meteorològic que pot fer un dia concret d'aquí a vint o cinquanta anys. El que es pretén és preveure si la temperatura mitjana, la precipitació acumulada típica, la freqüència de les onades de calor o de les tempestes severes, etc., canviarà en els propers decennis en comparació amb el que ha estat normal en els anteriors. Per això, en aquest cas es parla de projeccions climàtiques, no de prediccions.

Les projeccions climàtiques s'efectuen amb els anomenats models climàtics de circulació global o, més recentment, models del sistema ter-

restre. Aquests són programes informàtics que resolen les equacions que descriuen els fenòmens rellevants del sistema climàtic, és a dir, les circulacions atmosfèrica i oceànica, la resposta dels gels continentals i marins, els intercanvis de matèria i energia entre aquests subsistemes, etc. Aquests models, de gran complexitat matemàtica, són capaços de representar el clima actual, a escala global, si els executem sota les condicions de contorn actuals (la composició atmosfèrica, la lluminositat del sol, els usos del sòl en la superfície de la terra, etc.). Això ens dona confiança per pensar que, si canviem aquestes condicions (si «forcem» els factors causals), els models seran capaços d'aproximar el clima futur.

Una qüestió que sorgeix, en conseqüència, és saber com hem de forçar els models, és a dir, quines són les condicions de contorn que hem d'esperar per als propers decennis. Per exemple, abans de la Revolució Industrial, la concentració de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>) a l'atmosfera era de 280 parts per milió (ppm). Actualment, ja s'han superat àmpliament les 400 ppm i, per això, la temperatura mitjana de la Terra és 1,5 °C més alta. Però, quina serà la concentració de CO<sub>2</sub> el 2040? O el 2100? Òbviament, no ho sabem amb seguretat, ja que la concentració dependrà de molts factors, en particular, del creixement demogràfic, econòmic i tecnològic en els propers decennis. Més específicament, de si la humanitat utilitzarà més o menys combustibles fòssils i, per tant, emetrà a l'atmosfera més o menys CO<sub>2</sub>. Així doncs, per estimar el clima del futur, i ja que no coneixem quines seran les condicions futures que el determinaran, el que es fa és executar els models sota diferents hipòtesis de forçament, les quals sovint s'anomenen «escenaris».

### La limitacions del càlcul

Un altre problema és que els models climàtics esmentats són d'escala global, i malgrat l'augment constant de la potència de càlcul dels ordinadors, la resolució, és a dir, el detall espacial que poden donar aquests models, és limitat. Actualment, els models treballen en malles de càlcul d'uns 100 km de costat. Per això, per mirar de tenir més detall i baixar a escales regionals i locals, s'utilitzen unes tècniques que s'anomenen de regionalització, i que

poden ser de tipus dinàmic o de tipus estadístic. Sense entrar en detalls, aquestes tècniques s'alimenten dels resultats (les evolucions futures) dels models climàtics globals per estimar l'evolució futura del clima amb molta

més resolució (15 km o menys, fins arribar a llocs concrets).

Resumint, si volem donar alguna previsió de com pot ser el clima del futur a les comarques gironines, aquesta serà el resultat de combinar diversos



>> Inundació a Banyoles. (Autoria: PERE DURAN)



>> Efectes de la secada de 1994, a Sant Martí de Llémena. Font: FONTS E. COSTA SAVOIA. INSPA. CENTRE DE LA IMATGE DE LA DIPUTACIÓ DE GIRONA (ERNEST COSTA).



models climàtics globals, diferents escenaris de forçament futur, i algunes tècniques de regionalització. Per això, el resultat no estarà mai exempt d'incertesa, sinó al contrari: en qualsevol projecció climàtica, el que es dona és una tendència, un rang de valors futurs possibles, i mai un valor concret.

En aquest sentit, la publicació més recent rellevant per a aquest article és el Tercer informe del canvi climàtic a Catalunya (TICCC). En aquest TICCC, i concretament en el capítol 5, es presenten les projeccions climàtiques per al conjunt de Catalunya, a partir dels resultats de diversos projectes també recents, com ara les modelitzacions globals corresponents al Cinquè informe del Grup Intergovernamental d'Experts en Canvi Climàtic (IPCC) o els resultats del projecte de regionalització promogut per l'Organització Meteorològica Mundial, anomenat CORDEX. També s'hi inclouen resultats de projectes de regionalització de les projeccions climàtiques desenvolupats pel Servei Meteorològic de Catalunya i per l'Agència Estatal de Meteorologia. L'estudi es va centrar en forçaments mitjans, és a dir, ni els més alts ni els més baixos en emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. En aquesta publicació, es donen resultats per al conjunt de Catalunya i també per a tres zones: el litoral i prelitoral, el Pirineu i l'interior. Les comarques gironines es corresponen sobretot a la zona litoral i

prelitoral, però també inclouen l'extrem oriental del Pirineu i una petita zona de l'interior

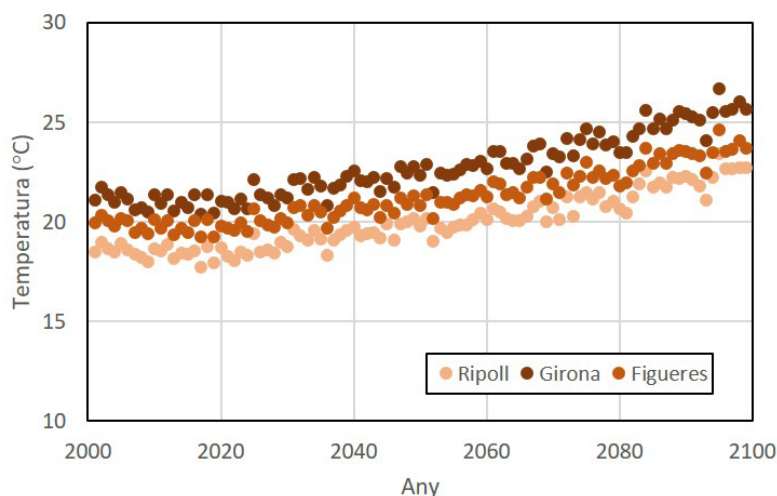
### Un grau i mig d'augment

Segons el capítol esmentat del TICCC, es va obtenir un senyal molt robust d'augment de temperatura, a Catalunya (i, per tant, també per a les comarques de Girona), per als pròxims decennis. Aquest augment es manifesta en tots els horitzons temporals i en totes les estacions de l'any. Si posem el focus a Girona i comarques, l'augment de temperatura podria arribar a +1,5 °C a mitjan segle XXI, respecte a la temperatura mitjana del període 1971-2000. El rang d'incertesa s'estén entre els 0,9 i els 2,1 °C, depenent del model i de l'escenari aplicat. A l'estiu, i sobretot al Pirineu, l'increment podria ser encara més important. En l'informe que estem comentant, no es van presentar projeccions més enllà, tot i que molts models globals s'han aplicat fins a finals del segle XXI. La raó és que, quan més ens allunyem, més incertes esdevenen les projeccions, ja que cada cop depenen més de l'escenari de forçament aplicat. No obstant això, no és agosarat projectar augments de temperatura, a les comarques gironines, d'entre 4 o 5 °C per a finals de segle, si l'escenari de forçament segueix reflectint altes emissions de CO<sub>2</sub> i altres gasos amb efecte d'hivernacle. Aquestes xifres es van trobar combinant també diversos models, tècniques de regiona-

lització i escenaris, i són les que es presenten, per exemple, en el Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya.

Com a exemple concret del resultat d'aquestes tècniques, al gràfic es presenta l'evolució prevista per a la mitjana anual de les temperatures màximes, en tres punts de les comarques gironines (Girona, Figueres, Ripoll), com a resultat de combinar un model global (CNM3 de Météo-France), amb una metodologia de regionalització estadística desenvolupada per AEMET, sota unes condicions de forçament elevat (escenari A2). La tendència a l'augment de temperatura és ben clara, assoleix uns 5 °C al llarg dels cent anys de la simulació, i es reflecteix en els tres punts analitzats.

La segona variable climàtica en importància és sens dubte la precipitació. Aquesta sembla apuntar cap a una disminució, però amb una tendència molt més incerta. Això és el resultat de la gran variabilitat interanual que la precipitació presenta ja actualment en el nostre clima mediterrani, de manera que es fa difícil distingir un possible senyal d'evolució a llarg termini de les importants variacions entre anys consecutius. Sigui com sigui, cap a mitjan segle XXI, i segons els resultats del capítol 5 del TICCC, analitzats posant el focus en les comarques gironines, s'observa que el descens de la precipitació presentaria medianes properes a -10 % a la primavera, l'estiu i la tardor, i disminucions inferiors a l'hivern. En conjunt, per a tot l'any, es va trobar una disminució de -7,3 % en mediana entre les diverses projeccions, però amb un rang d'incertesa que va de -25 % fins a +2 %. Aquests valors són en relació amb la precipitació de finals del segle XX, i prenent com a base diverses simulacions amb models globals i mètodes de regionalització forçats amb un escenari moderat. En un escenari més extrem, i per a finals del segle XXI, la precipitació podria arribar a disminuir prop del -15 %, segons el Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Per altra banda, alguns treballs de l'SMC projecten un augment de la variabilitat interanual de la precipitació anual i és més important aquest augment a la zona litoral i prelitoral que no pas al Pirineu.



>> La variació de la temperatura (mitjana de les màximes) al llarg del segle XXI, per a tres llocs de les comarques gironines. Els resultats corresponen a la combinació d'un model climàtic global (CNCR-CM3) i una tècnica de regionalització estadística. (FONT: AGÈNCIA ESTATAL de Meteorologia <[http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/cambio\\_climat/datos\\_mensuales](http://www.aemet.es/ca/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_mensuales)>. JOSEP CALBÓ.)

### Orografia complexa

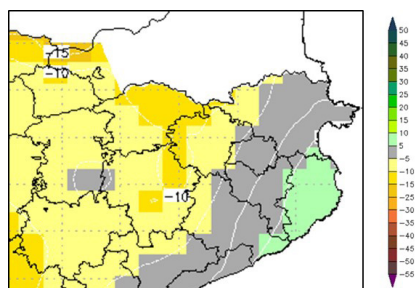
Com hem dit, la precipitació és molt més difícil de reproduir en un model





>> Gran crescuda de l'Onyar al seu pas per Girona aquest 2018. (Autoria: PERE DURAN)

climàtic (com de fet també ho és en un model meteorològic), i encara més en regions com la nostra, on l'orografia és complexa, hi ha una interfase terra-mar i ens trobem en una latitud influenciada tant pel front polar com per les altes pressions subtropicals. És per això que el Servei Meteorològic de Catalunya ha estat desenvolupant diversos projectes de regionalització dinàmica centrats en la precipitació. Un exemple dels resultats que s'obtenen el veiem en el mapa que representa la variació de la precipitació (per a mitjans del segle XXI respecte a la de



>> "Variació de la precipitació cap a mitjans del segle XXI (en percentatge de canvi respecte a la mitjana del període 1971-2000), a les comarques gironines, com a resultat d'una simulació combinant un model climàtic global (ECHAM5) i un de regional (WRF) per a un determinat escenari (A1B). (Font: SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA <<http://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-dema/projeccions-de-precipitacio-1971-2050/>>)

finals del segle XX) per a una simulació concreta, combinant un model global (ECHAM5) i un de regional (WRF) per a un escenari d'emissions moderat (A1B). En aquest cas, a les comarques gironines s'observa que la precipitació podria augmentar molt lleugerament a la costa (Baix Empordà, Selva marítima), variar de manera inapreciable en el prelitoral (Alt Empordà, Pla de l'Estany, Gironès, Selva) i disminuir clarament a la muntanya (Garrotxa, Ripollès, Cerdanya). No obstant això, aquest és només un exemple concret, i ja hem dit que els resultats més fiables resulten de la superposició de diverses simulacions, emprant models i escenaris diferents.

### Onades de calor habituals

En resum, totes les projeccions climàtiques indiquen que el clima a les comarques gironines serà força diferent en els decennis immediats. La temperatura més elevada farà que l'evapotranspiració tendeixi a créixer, cosa que, fins i tot si la pluviometria no disminueix gaire, reduirà encara més el recurs hídric. L'altitud en la qual nevarà i en què la neu romandrà sobre el terra un període relativament llarg també pujarà. Les temperatures que ara considerem d'onada de calor es faran més habituals. Aquests i altres canvis són prou seriosos com perquè la societat consideri necessari, d'una banda, emprendre accions de mitigació de les emissions globalment (per

exemple, promovent la implantació de l'acord de París de finals de 2015), i, de l'altra, endegar accions d'adaptació (en els conreus, les infraestructures, el turisme...) al nou (i inevitable) clima que ha de venir.



>> Inundacions a Vilabertran el 2014. (Autoria: PERE DURAN)