

Pinzellades sobre el canvi climàtic

Javier Sigró Rodríguez

Avui, bona part de l'activitat científica i política relacionada amb qüestions ambientals no es pot deslligar del canvi climàtic. Informes científics, conferències, debats i cimera internacional giren entorn de la realitat del canvi climàtic, els seus impactes sobre els sistemes naturals, econòmics i socials, i les estratègies de mitigació i adaptació més adequades tant a escala global com regional o local.

La cimera de Copenhaguen ha tornat a posar damunt la taula la necessitat d'adoptar mesures per afrontar el principal problema ambiental que pateix el planeta sencer en aquest segle, que no té únicament conseqüències sobre el medi natural, sinó també importants repercussions socials, econòmiques i culturals. Les properes accions adoptades en relació amb el canvi climàtic definiran en bona mesura els models energètics i de desenvolupament econòmic que s'aplicaran durant les properes dècades.



M. Mases/CENMA

abstract/résumé

Nowadays a large part of scientific and political work related to environmental issues is inextricably linked to climate change. Scientific papers, debates and international conferences are centred around the actual climate change, the impacts it can have on natural orders, economic and social systems and the most appropriate mitigation and adaptation strategies required on both a global and regional scale.

The Copenhagen climate conference has once again highlighted the need to adopt measures to confront the main environmental problem affecting the whole planet this century. The consequences of climate change not only affect the natural environment but also have significant social, economic and cultural repercussions. The strategies used to deal with climate change will largely define the energy and economic development models which will be employed over the next few decades.

De nos jours, l'essentiel de l'activité scientifique et politique en relation avec les questions écologiques ne peut être séparée du changement climatique. Articles scientifiques, conférences, débats et sommets internationaux tournent autour de la réalité du changement climatique, de son impact sur les systèmes naturels, économiques et sociaux, ainsi qu'autour des stratégies de migration et d'adaptation les plus appropriées, aussi bien à l'échelle globale que régionale ou locale.

Le sommet de Copenhague a remis à l'ordre du jour la nécessité d'adopter des mesures afin de faire face au principal problème écologique que souffre l'ensemble de la planète en ce siècle, problème qui n'a pas seulement des conséquences sur le milieu naturel, mais également d'importantes répercussions sociales, économiques et culturelles. Les mesures adoptées en relation avec le changement climatique définiront en grande partie les modèles de gestion énergétique et de développement économique qui s'appliqueront durant les prochaines décennies.

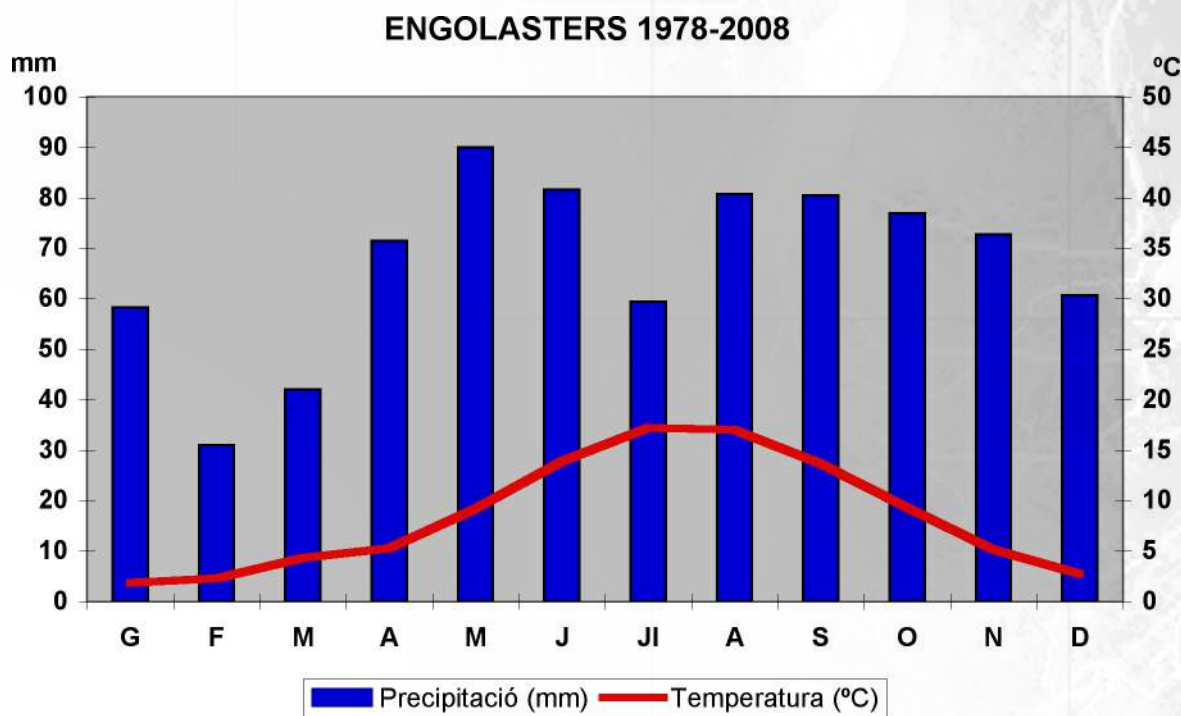


Figura 1. Climograma corresponent a l'observatori d'Engolasters durant el període 1978-2008. (Font: Elaboració pròpia a partir de dades del Govern d'Andorra).

Què és el clima?

El clima d'un indret és definit per un conjunt d'elements que el caracteritzen (temperatura, precipitació, vent, humitat, pressió, nuvolositat...) i que alhora depenen d'una sèrie de factors que els influeixen (latitud, altitud, distància al mar, relleu, cicles solars, vegetació...). Normalment, quan parlem del clima d'un indret ens referim al valor mitjà d'aquestes variables en aquest indret durant un període no inferior a 30 anys.

A la figura 1 podem observar un climograma d'Engolasters del període 1978-2008, en el qual s'estableixen els valors mensuals mitjans de la temperatura i la precipitació. Aquest

gràfic representa el comportament mitjà de la temperatura i la precipitació mensual en aquesta localitat durant 30 anys, fet que, segons les recomanacions de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) ens permet definir el clima d'un indret.

Aquests valors no són immutables en el temps, i si poguéssim construir el climograma d'aquesta mateixa localització fa 15.000 anys, de ben segur que el gràfic seria diferent, ja que estaríem immersos en el darrer dels diversos episodis glacials que han tingut lloc al nostre planeta. Però fins i tot si en comptes de 15.000 anys ens remuntéssim només 50 anys, els valors de temperatura d'aquest indret presentarien petites diferèn-

cies. Una característica del clima és la seva variabilitat, cosa que explica per què un any és més fred i un altre més càlid, un més sec i un altre més humit. També dintre d'aquesta variabilitat trobem cicles decennals o fins i tot seculars.

Però quan ens referim al canvi climàtic parlem d'una altra cosa, d'un procés de modificació de les condicions climàtiques que fa evolucionar tot el sistema climàtic des d'unes condicions d'equilibri, les que teníem durant els darrers 1.000 anys, a unes altres que encara no coneixem amb exactitud, però que tot indica que portaran un increment de la temperatura atmosfèrica al conjunt del planeta.



Desert d'Atacama (Xile).

A què ens referim quan parlem de canvi climàtic?

Tal com es veu a la figura 2, les temperatures a la península Ibèrica no han estat constants al llarg dels darrers 150 anys, ans al contrari, durant el darrer segle i mig s'ha produït una tendència contínua i sostinguda a l'increment de les temperatures, quantificada en 1,55 °C, el doble del que s'ha observat a escala planetària. Òbviament, aquest escalfament presenta la variabilitat pròpia del clima, amb anys més freds i anys més càlids, però el seu comportament indica que els anys freds cada vegada són una mica menys freds i els anys càlids, una mica més càlids.

L'increment de les temperatures ha anat acompanyat d'un increment de les emissions

de gasos d'efecte d'hivernacle (GEH) (gasos que atrapen part de la calor que d'altra manera s'escaparia del planeta en forma de calor a l'espai). Les concentracions de GEH actuen en certa manera com un termòstat planetari, de manera que els increments de GEH s'acompanyen d'increments de temperatura, mentre que als períodes freds els corresponen concentracions menors de GEH.

Les oscil·lacions observades en el registre de GEH continguts en el gel glacial (figura 3) reproduïxen aquesta evolució, corresponent als períodes interglacials del darrer mig milió d'anys, amb concentracions de CO₂ d'unes 280 ppm (parts per milió), mentre que durant els períodes glacials aquestes concentracions disminueixen fins a les 180 ppm. Un comportament similar l'experimenta el metà (CH₄), que

és el segon GEH en importància per la seva contribució a l'efecte d'hivernacle. Però, sens dubte, el que més crida l'atenció és l'increment extraordinàriament ràpid de les concentracions que es produeix des del 1850, i especialment des del 1950, fins a l'actualitat, en què les concentracions de CO₂ (385 ppm) i CH₄ superen de molt les observades per als darrers 800.000 anys.

L'evolució de les temperatures planetàries dels darrers 1.000 anys (figura 4) reflecteix aquest comportament. Durant aquest període s'han anat produïnt oscil·lacions en les temperatures resultat de la variabilitat pròpia de la dinàmica climàtica, però a partir del 1850 s'observa un ascens continuat i vigorós de les temperatures per damunt de les registrades els darrers 1.000 anys, segons el Grup

Evolució de la temperatura mitjana a la península Ibèrica durant el període 1850-2005

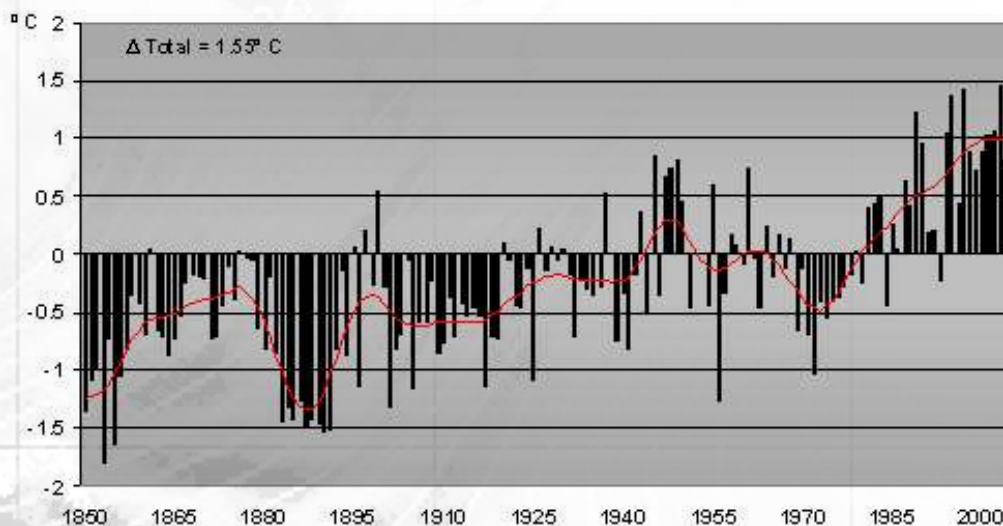


Figura 2. Evolució de la temperatura mitjana a la península Ibèrica durant el període 1850-2005. La línia vermella indica l'evolució, suavitzada amb un filtre gaussià. (Font: Brunet *et al.*, 2007).



Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) de les Nacions Unides, xifrat en 0,75 °C per al conjunt del planeta.

Aquest escalfament no es produeix amb la mateixa intensitat en tots els indrets del planeta, sinó que, com ja hem vist en el cas de la península Ibèrica, en alguns indrets aquest procés és més vigorós i en d'altres és més moderat. En general, les zones oceàniques i tropicals han experimentat un increment de les temperatures menor, mentre que a les latituds elevades i a l'interior dels continents és on la temperatura ha registrat un ascens més important.

La tendència a l'escalfament no se centra únicament en les temperatures mitjanes. S'ha constatat una reducció clara del nom-

bre de dies i nits molt fredes al llarg del segle xx, alhora que ha augmentat l'ocurrència de dies i nits molt càlids.

Al marge dels canvis detectats en la temperatura, s'ha observat també un increment a escala global de les precipitacions, per bé que desigual quant a la seva distribució espacial. Si bé a la major part del planeta hi ha hagut més pluges, a l'àrea del Mediterrani i el nord d'Àfrica la precipitació ha disminuït des de començaments del segle xx.

Aquests canvis en les variables climàtiques s'acompanyen de modificacions en altres parts del sistema climàtic com els oceans i la cobertura de gel. Els registres de nivell del mar indiquen un ascens de 20 cm de

les aigües marines, quatre dels quals s'han produït des de mitjan dècada de 1990.

L'anàlisi de l'extensió de la coberta de gel marí de l'Àrtic, que fins a començaments del 1980 es mantenia estable, indica que els darrers 25 anys la disminució d'aquesta massa de gel ha superat el 7% per dècada (figura 5). Les glaceres continentals també pateixen una severa reducció d'extensió, tant a les zones de muntanya tropical com a les latituds mitjanes i polars (figura 6).

També són moltes les evidències de canvis que afecten el funcionament d'ecosistemes marins i terrestres, com els canvis en els períodes de floració, els desacobraments entre cicles reproductius de plantes i insectes o l'elevada mortalitat a escala mundial d'atols coral·lins.

Dades glacials i interglacials de testimonis de gel

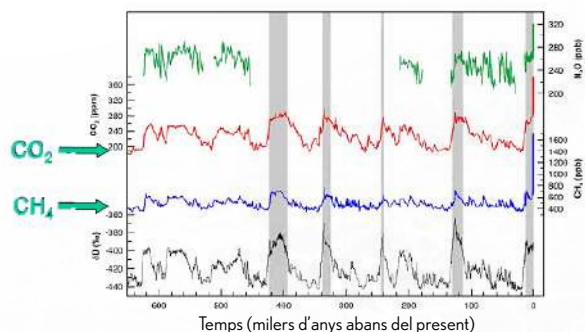


Figura 3. Evolució dels principals gasos d'efecte d'hivernacle els darrers 600.000 anys obtinguts a partir de testimonis de gel de l'Antàrtida i Groenlàndia. La línia vermella correspon al CO₂ i la blava, al metà. (Font: IPCC).

Augments de la temperatura en °C (a partir de les mitjanes entre 1961 i 1990)

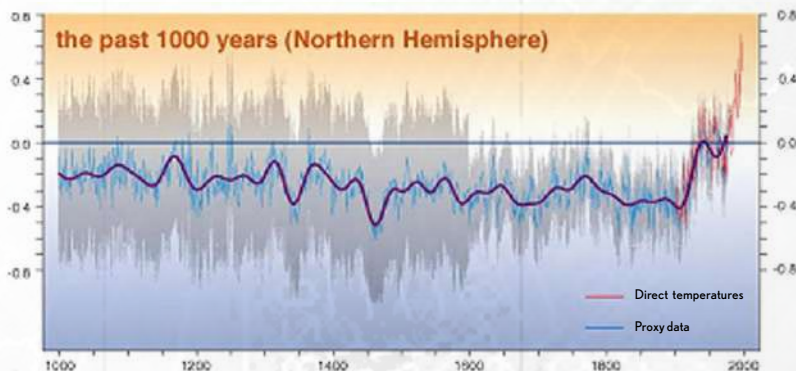


Figura 4. Evolució de la temperatura de l'hemisferi nord els darrers 1.000 anys. En blau, temperatures reconstruïdes a partir d'indicadors indirectes, i en vermell, a partir de dades instrumentals. (Font: IPCC).

[Traducció textos: *The past 1000 years (Northern Hemisphere)*: els darrers 1000 anys (hemisferi nord); *Direct temperatures*: Temperatures directes; *Proxy data*: Dades instrumentals]

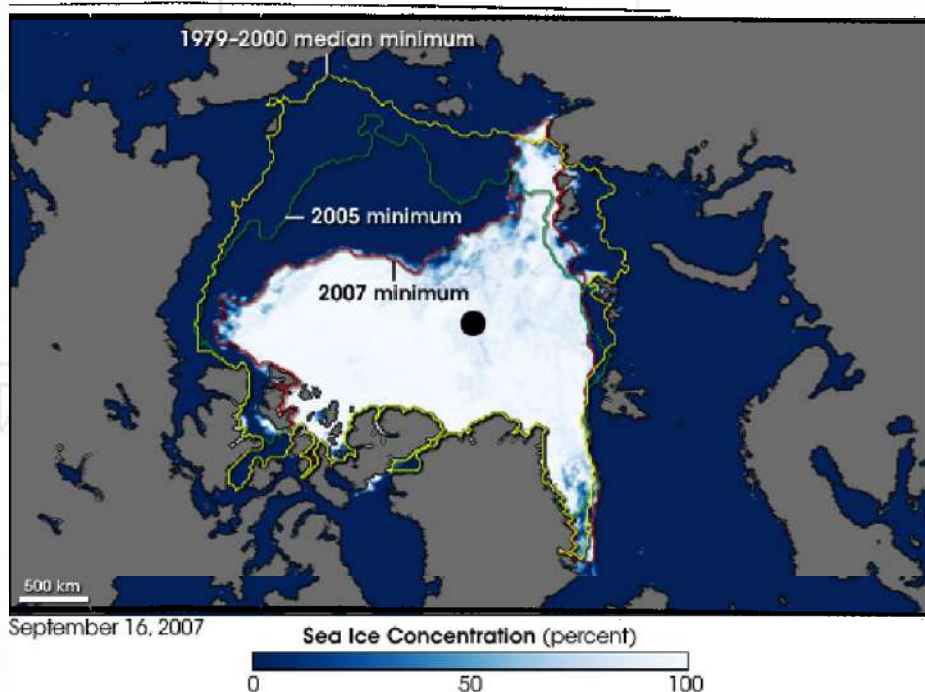


Figura 5. Extensió mínima anual del gel àrtic. En groc, la mitjana de 1979-2000; en verd, el mínim el 2005, i en vermell, el mínim el 2007. (Font: NASA).

[Traducció textos: Sea Ice Concentration (percent): Concentració de gel de mar (percentatge); 1979-2000 median minimum: 1979-2000 mínim mitjà; 2005 minimum: mínim 2005; 2007 minimum: mínim 2007]

La gran majoria de la comunitat científica té clar que ens trobem immersos en un procés de canvi que es va iniciar fa més d'un segle, que s'ha accelerat durant les darreres dècades i que tindrà conseqüències importants al llarg de l'actual segle XXI.

Quina és l'evolució prevista del clima?

Fer prediccions sempre és arriscat, i quan engloben tant dinàmiques naturals com socials i econòmiques, la complexitat s'incrementa notablement. Per tal d'intentar cobrir el màxim de situacions possibles, la comunitat que investiga el canvi climàtic treballa amb diferents escenaris sobre la possible evolució de variables com les emissions de GEH, la població mundial, l'economia, el respecte ambiental, el desenvolupament tecnològic, la transferència



Figura 6. Glacera Muir (Alaska). Fotografies fetes l'agost del 1941 i del 2004. (Font: IPCC).

de tecnologia entre nacions i els acords internacionals, entre d'altres.

Aquests escenaris fixen, doncs, les condicions en què els models climàtics simulen el desenvolupament del clima futur. En general podem simplificar entre escenaris de tipus B, de contenció de les emissions de CO₂, preocupació ambiental i sostenibilitat econòmica, i escenaris de tipus A, amb més emissions de GEH.

Aquests escenaris s'inicien el 1990, any de referència del Protocol de Kyoto. L'evolució fins ara de les emissions de CO₂ indica que, per al conjunt del planeta, se situen en volums similars als dels escenaris de més emissió (figura 7). En cas que continués aquesta tendència, els escenaris més probables serien els de tipus A, que corresponen a un increment més elevat de les temperatures planetàries.

La diferència entre els escenaris es tradueix en

un increment tèrmic que pot anar des d'1,8 °C (més del doble que al segle xx) en un escenari de tipus B1 fins a un increment de 4 °C (6 vegades més que al segle xx) en el cas d'un escenari de tipus A1F1 (figura 8). Encara que podria semblar que 2 o 4 °C no són gaire, estem parlant de canvis en la mitjana planetària, que fins a l'actualitat i amb un canvi d'únicament 0,75 °C ha provocat força efectes sobre els sistemes naturals, socials i econòmics de la Terra.

De la mateixa manera que els efectes del canvi climàtic durant el darrer segle no s'han produït amb la mateixa intensitat a tot el planeta, l'escalfament que experimentarà la Terra al llarg del segle XXI tindrà també una distribució desigual dels canvis en les variables climàtiques i els impactes sobre els ecosistemes naturals i antròpics.

Un exemple el tenim a la figura 9, que ens

mostra la temperatura mensual màxima i mínima en un observatori del Pirineu català, la Molina, per al període de referència 1961-1990, i les mateixes mitjanes de temperatures projectades per a l'escenari A2 als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100.

Encara que moltes de les previsions d'increment de la temperatura que rebem habitualment fan referència al final del segle XXI (2071-2100), la realitat és que els canvis es produeixen progressivament. El període en què entrarem d'aquí a poc, el 2011-2040, presenta, en les simulacions dels models climàtics, increments respecte del període de referència 1961-1990 de prop d'1 °C per a la península Ibèrica, que sembla consistent amb l'escalada que experimenten les temperatures observades. Tot sembla indicar, per tant, que l'ascens de les temperatures observat continuarà, i que en el millor dels casos es mantindrà el ritme actual, si no canvien les condicions d'emissions de GEH.

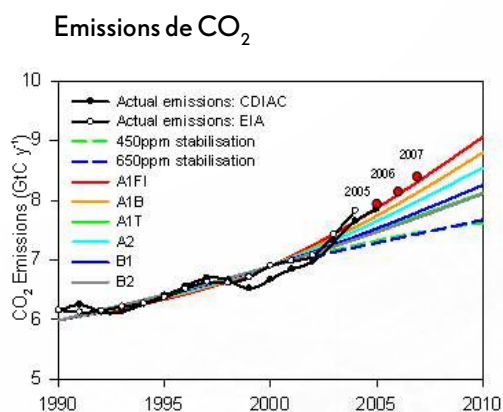


Figura 7. Emissions de CO₂ corresponents a diferents escenaris de l'IPCC per al període 1990-2010 (en color) i les emissions reals que s'han produït segons dues fonts independents. (Font: Raupach *et al.*, 2007, PNAS; Global Carbon Project, 2009).

[Traducció textos: CO₂ Emissions (GtC y⁻¹): Emissions de CO₂ (gigatonnes de carboni per any); Actual emissions: Emissions actuals; stabilisation: estabilització]

Variacions de la temperatura de la superfície de la Terra: entre l'any 1000 i el 2100

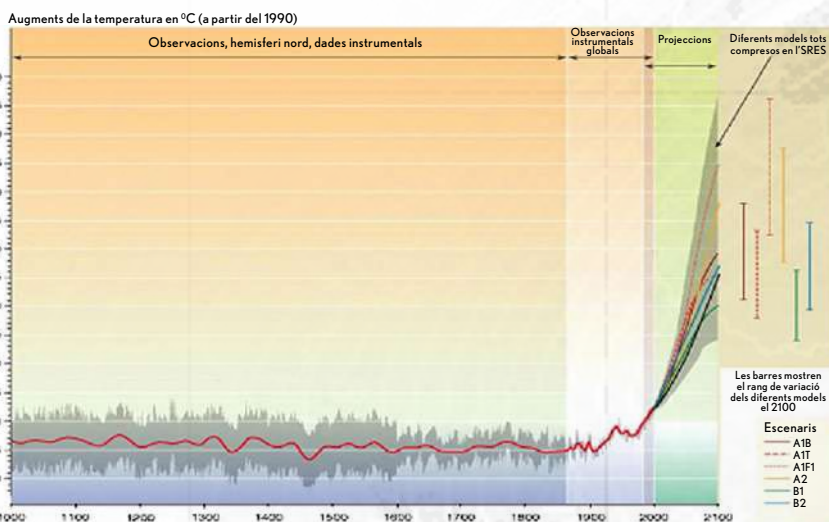


Figura 8. Projeccions de la temperatura en diferents escenaris en el context dels darrers 1.000 anys. (Font: IPCC. SRES: *Special Report on Emissions Scenarios* (Informe especial sobre els escenaris d'emissions)).

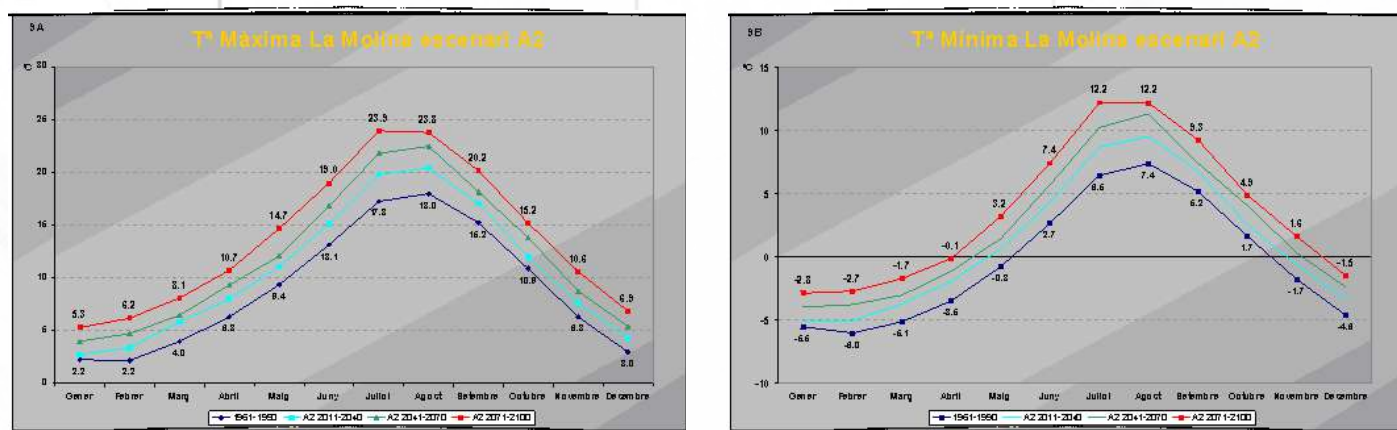


Figura 9. Mitjanes mensuals de la temperatura màxima (A) i de la temperatura mínima (B) per al període de referència 1961-1990 i projectades per a l'escenari A2 als períodes 2011-2040, 2041-2070 i 2071-2100 segons downscaling del CGCM2 a partir de la informació elaborada per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMet).

En l'escenari que mostra la figura 9, que correspon a un increment global de la temperatura entorn dels 4 °C, els efectes per sobre del comportament de les temperatures a la Molina indiquen un escalfament desigual entre el mesos freds i els mesos càlids. A la temperatura màxima, la diferència entre 1961-1990 i finals del segle XXI es traduiria en un increment d'uns 4 °C a l'hivern que arribaria a 6 °C durant el període estival. Pel que fa a la temperatura mínima, els efectes serien una mica més moderats, però igualment es plantegen increments d'uns 3 °C a les mínimes hivernals i de 4-5 °C a l'estiu.

Són fiables les simulacions dels escenaris?

Sempre que fem projeccions existeix la incertesa sobre la seva fiabilitat. Per tal d'intentar reduir aquesta incertesa, els informes sobre les projeccions del canvi climàtic treballen amb les sortides de més d'una vintena de models diferents.

Aquests models són independents i pertanyen a organismes i institucions de tot el món. Per exemple, els informes de l'IPCC es basen en sortides de models dels Estats Units, Canadà,

Noruega, el Regne Unit, França, Austràlia, Xina, Alemanya, Corea i Rússia, de manera que s'agafa la mitjana de les sortides dels més de 20 models emprats. Encara que hi ha models més conservadors i d'altres de més sensibles a l'escalfament, la majoria dona sortides molt similars al senyal mitjà que s'utilitza com a projecció. Com més similars són les solucions dels diferents models que executen un mateix escenari, més fiables i menys incerts són els resultats.

Per tal de verificar-ne el bon funcionament, els models climàtics inicien les seves simulacions centenars d'anys enrere i els resultats projec-

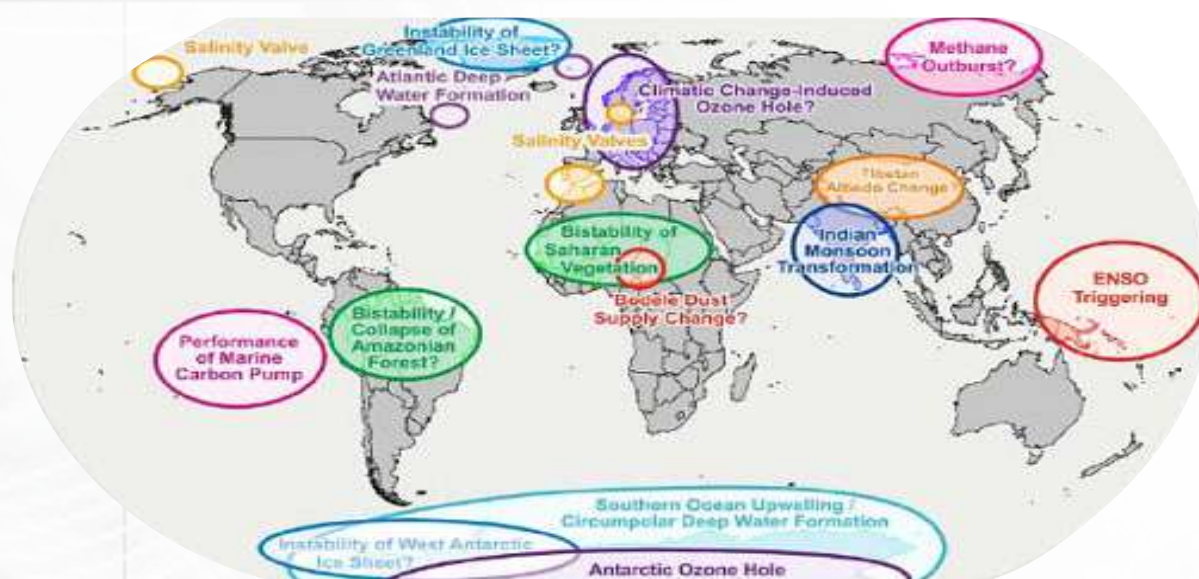


Figura 10. Regions en les quals alguns fenòmens locals poden produir canvis abruptes de les condicions climàtiques a gran escala (Font: Schellnhuber y Held, 2002).

[Traducció textos: *Salinity Valve*: Vàlvula de salinitat; *Instability of Greenland Ice Sheet?*: Inestabilitat de la capa de gel de Groenlàndia?; *Atlantic Deep Water Formation*: Formació de les aigües profundes atlàntiques; *Climatic Change-induced Ozone Hole?*: Forat de la capa d'ozó provocat pel canvi climàtic?; *Methane Outburst?*: Surgències de metà?; *Salinity Valves*: Vàlvules de salinitat; *Tibetan Albedo Change?*: Canvi de l'albedo tibetà?; *Bistability of Saharan Vegetation*: Biestabilitat de la vegetació del Sàhara; *Bodele Dust Supply Change?*: Canvi en la quantitat de pols que subministra Bodélé; *Indian Monsoon Transformation*: Transformació del monso de l'Índia; *ENSO Triggering*: Ocurrencia del fenomen del Niño; *Performance of Marine Carbon Pump*: Actuació de la bomba marina de carboni; *Bistability / Collapse of Amazonian Forest?*: Biestabilitat / Col.lapse del bosc amazonià?; *Instability of West Antarctic Ice Sheet?*: Inestabilitat de la capa de gel de l'Antàrtic occidental?; *Southern Ocean Upwelling / Circumpolar Deep Water Formation*: Upwelling de l'oceà Antàrtic / Formació de les aigües profundes circumpolars; *Antarctic Ozone Hole*: forat de la capa d'ozó de l'Antàrtic]



M. Mases/CENMA

Les Banyes del Paine al Parc Nacional Torres del Paine, a la Patagònia xilena.

tats per al segle xx es comparen amb les dades reals observades per aquest darrer segle. Es confirma aleshores si el model reconstrueix bé el clima fins al moment actual. En aquest sentit és també molt important una reconstrucció del clima dels darrers dos segles al més acurada, completa i extensa possible.

Al marge que les temperatures observades d'aquí a 100 anys siguin exactament les projectades o que existeixin algunes diferències, el que és cert és que tots els models climàtics que s'utilitzen per avaluar els impactes futurs del canvi climàtic indiquen una tendència a l'escalfament que amb més o menys intensitat serà més gran que la que hem experimentat fins ara.

Val a dir que existeixen incerteses dins la comunitat científica sobre quin serà l'efecte d'alguns fenòmens locals o regionals en el comportament global del clima. Alguns d'aquests fenòmens, representats en la figura 10, són processos dels quals se sospita que tant poden influir en una ralentització com en una acceleració de l'increment de les temperatures, encara que en general s'inclinen més cap a aquest darrer efecte.

En aquest sentit, els propers anys s'ha de monitoritzar i fer un seguiment molt acurat del comportament de la circulació oceànica, en particular de la circulació termohalina (un dels principals mecanismes de distribució de calor del planeta i que defineix en gran mesura el clima europeu), l'estabilitat de les glaceres terrestres de Groenlàndia i l'Antàrtida, tant pel seu impacte en l'elevació del nivell del mar com per les repercussions en la circulació oceànica, el ritme d'alliberament de metà (el segon GEH en importància) del permafrost o terra conge-

lat a les regions àrtiques i l'impacte del canvi climàtic en la coberta nival i les temperatures a les zones d'alta muntanya, entre d'altres.

En definitiva, estem davant un esdeveniment planetari que hem d'afrontar sense alarmismes però amb fermesa, potenciant la recerca sobre l'evolució del canvi climàtic tant en el passat com en el futur, analitzant les possibles conseqüències per als nostres ecosistemes naturals, socials i econòmics, i adoptant aquelles mesures d'adaptació i mitigació que siguin més adequades a cada zona.

Dr. Javier Sigró Rodríguez

Centre en Canvi Climàtic (C3) - Departament de Geografia de la Universitat Rovira i Virgili.

Bibliografia

BRUNET, M.; JONES, P.; SIGRÓ, J.; SALADIÉ, O.; AGUILAR, E.; MOBERG, A.; DELLA-MARTA, P. D.; WALTHER, A.; LISTER, D.; LÓPEZ, D. (2007). «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research-Atmosphere*, 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.

GLOBAL CARBON PROJECT [en línia]. <<http://www.globalcarbonproject.org>>

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S. et al., ed.]. Cambridge: Cambridge University Press. 996 pp. <<http://www.ipcc.ch>>

RAUPACH, M. R.; MARLAND, G.; CIAIS, P. (2007). «Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions». *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 104-24: 10288-10293.

SHELLNHUBER, H. J.; HELD, H. (2002). «How fragile is the Earth system?». A. BRIDEN, J.; DOWNINGS, T. [ed.]. *Managing the Earth: The Eleven Linacre Lectures*. Oxford: Oxford University Press.