

## ÀMBIT 1: ESTÀ CANVIANT EL CLIMA?

### LECTURA DE REFERÈNCIA

#### TEMES QUE TRACTA DE L'ÀMBIT: TOTS

##### Referència bibliogràfica:

Revista Medi Ambient. Canvi climàtic: ens escalfem?

Número 32 – setembre 2002

[http://mediambient.gencat.net/cat/el\\_departament/revista/inici.jsp](http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/revista/inici.jsp)

## Hi ha un canvi del clima?

### Josep Enric Llebot

*Catedràtic de Física. Universitat Autònoma de Barcelona. Membre de l'Institut d'Estudis Catalans*

*El pensament actual considera que les activitats humanes i els estils de vida d'avui dia poden alterar d'una manera notable el funcionament del planeta Terra. El text repassa els aspectes científics i socioeconòmics de la problemàtica relacionada amb el clima. Es planteja si realment el clima està canviant i es projecten algunes reflexions sobre el futur i si la situació actual és una amenaça o més aviat una oportunitat per a noves activitats econòmiques.*

### L'Aurora, el Sol i la Lluna i el canvi climàtic

Segons ens explica Maria Àngels Anglada en el seu llibre *Relats de mitologia*. Els déus (1) Hèlios, el Sol, Eos, l'Aurora, i Selene, la Lluna, eren germans. El Sol menava una quadriga divina: quatre cavalls alats, en un carro d'or que cada dia sortia de l'Oceà, a llevant, travessava la volta del cel i tornava al mar per ponent. El Sol era tan bell que cap nimfa es negava a ser la seva amant, i així va tenir una munió de fills. Faetont era fill d'Hèlios i Clímene, una oceànide. Quan era adolescent, el seu pare veient-lo tan bonic i fort li va prometre de concedir-li un desig. Faetont li va demanar conduir el carro del Sol. Hèlios va veure amb preocupació que el seu fill no podria dominar la quadriga però un déu no podia negar-se a complir la seva paraula. El resultat fou pitjor fins i tot del que s'esperava. Faetont no en sabia gens, de conduir i dominar el carro de flames, i en el foll camí que els quatre cavalls alats el feren seguir es va acostar massa a la terra i va produir-hi incendis als boscos i va dessecar rius i llacs. Zeus, finalment, veient l'acció imprudent del carro desbocat, envià el seu llamp reparador i així va matar Faetont. Aquest episodi de la mitologia grega recull, de forma poètica i, també, exagerada, la importància del Sol en el funcionament del sistema climàtic. Uns dos milers d'anys més tard que aquest episodi fos imaginat, Melutin Milankovitch (2) plantejà que les variacions periòdiques de les característiques de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol eren la causa dels canvis del clima en èpoques passades, com volent justificar mitjançant les complicades composicions de la mecànica celeste allò que els clàssics representaven mitjançant el carro del Sol.

**Fins fa uns disset anys, però, no es va començar a adquirir** de manera més o menys generalitzada la **consciència sobre les conseqüències de les activitats humanes en el comportament global de l'atmosfera**. Entre la tardor de l'any 1984 i la primavera de 1985 van ser publicats els articles de S. Chubachi (3), corresponents a les observacions a la base japonesa de Syowa, i de Farman, Gardiner i Shanklin (4) a l'estació a Halley Bay sobre el contingut d'ozó de l'estratosfera de l'Antàrtida. Els dos equips de científics atmosfèrics mostraren que el contingut d'ozó a l'estratosfera antàrtica davallava espectacularment durant

els mesos de setembre i d'octubre. El fet que aquest fenomen es mesurava justament per sobre el continent més allunyat de les zones del globus on s'emeten la majoria de pol·luents, va produir, **primer, mostres d'incrèdula però, poc després**, un cop confirmades les mesures i entès el fenomen, **una intensa preocupació**. Per primera vegada es constata un problema ambiental global: **les emissions a l'hemisferi nord d'uns compostos químics denominats genèricament CFC, utilitzats en nombroses aplicacions de consum i industrials, s'escampaven i difonien per tota l'atmosfera fins a arribar a l'estratosfera i a l'Antàrtida** on, a la primavera, les baixes temperatures i la dinàmica de l'atmosfera produïen unes complexes cadenes de reaccions químiques que acabaven eliminant l'ozó estratosfèric.

Com a conseqüència de la descoberta científica i de la importància del problema, es posaren a investigar el problema nombrosos grups de científics d'arreu del món.

Va haver-hi una ingent activitat i nombrosos congressos i trobades que servien per debatre i presentar els resultats de les darreres recerques. Un aspecte que cal destacar és que, malgrat que aleshores el fenomen s'havia mesurat amb dades instrumentals, es disposava ja d'informació dels satèl·lits sobre els nivells d'ozó a l'Antàrtida des de feia uns quants anys, però ningú no l'havia estudiada. A la vegada, atesa la dimensió global del problema, els representants polítics dels governs dels països es reuniren sota els auspicis de l'ONU per tal d'actuar enfront del problema i avui el que sabem és que es va assolir un acord de limitació de la producció i del consum dels compostos químics causants del problema amb la signatura del Protocol de Mont-real l'any 1987, el qual s'amplià, segons el progrés del coneixement del problema, mitjançant acords posteriors. En conseqüència, **avui podem dir que el problema de l'ozó estratosfèric es coneix prou bé des del punt de vista científic i, políticament, hi ha acords internacionals que s'han elaborat amb l'objectiu de pal·liar el problema**. És paradigmàtic, doncs, el paper que la ràpida irrupció del problema de l'ozó tingué a l'opinió pública: des d'aleshores, doncs, hi ha hagut un canvi en la concepció social dels problemes ambientals i del seu abast. Si bé hi segueix havent una percepció més directa sobre la dimensió local de molts problemes ambientals, **la possibilitat que les activitats humanes puguin alterar de manera significativa el funcionament del planeta és present en el pensament actual**.

Justament mentre s'estaven duent a terme les converses que conduïren al Protocol de Mont-real, l'Organització Meteorològica Mundial i l'ONU estaven preparant la formació del **Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic** (conegut habitualment com a IPCC, l'acrònim del grup en anglès). Finalment l'IPCC es constituí l'any 1988 i des d'aleshores actua com un important element de referència pel que fa al coneixement científic i dels impactes del canvi climàtic i de les accions d'adaptació i de mitigació sobre aquest fenomen. D'alguna manera, doncs, **l'IPCC forma l'opinió consensuada dels experts sobre el canvi del clima associat a les activitats humanes, llurs impactes i les possibles estratègies de mitigació i d'adaptació**. Els informes de l'IPCC són utilitzats pels responsables polítics com a referència per a la discussió i eventual elaboració de tractats internacionals que pretenen incidir en la problemàtica del canvi climàtic.

Quan avui es parla de **canvi climàtic**, hom es refereix al **canvi del clima terrestre lligat als efectes de les emissions a l'atmosfera d'alguns gasos, que es produeixen com a conseqüència de les activitats de la societat moderna**. No ens referim, doncs, als canvis del clima terrestre que s'han produït durant tota la història geològica de la Terra, tot i que el seu coneixement és una eina important per al coneixement del clima actual i de la seva evolució. També es coneix com a **escalfament global**, ja que és l'escalfament de l'atmosfera el primer efecte que la presència més elevada de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera sembla que està produint. En aquest article es pretén fer un repàs breu a l'estat actual d'aquest problema, articulant-lo a partir d'una sèrie de preguntes. **La problemàtica associada al canvi del clima a causa de les activitats humanes té dos vessants mútuament relacionats: el científic, d'una banda, i el socioeconòmic i polític de l'altra**. Tradicionalment s'ha posat molt èmfasi en el primer, ja que el que calia era conèixer bé el problema i les seves implicacions, però a l'hora d'aventurar les accions que s'han de prendre s'entra directament en les dimensions socials, econòmiques i polítiques del nostre món, que representen el punt de partida de qualsevol solució.

## Els inicis: què és el clima i què entenem per canvi climàtic?

Una definició intuïtiva sobre **què és el clima** es resumeix en dir que **és el temps mitjà, és a dir, una mitjana de les variables meteorològiques més importants que caracteritzen la meteorologia: la temperatura, la precipitació, la humitat, etc.** En definir una mitjana temporal, no obstant això, cal precisar els períodes de temps en els quals es calcula: dies, setmanes, mesos, anys. La meteorologia, doncs, correspon al coneixement del temps instantani, és a dir, el comportament de l'atmosfera inferior a deu dies, mentre que la climatologia estudia el comportament mitjà del sistema climàtic en escales de temps, en qualsevol cas superiors als deu dies, però normalment mitjanes estacionals o anuals o, fins i tot, mitjanes de períodes més llargs. De fet, és justament aquesta característica de la climatologia sobre el coneixement del temps mitjà que ha fet que no hagi estat, fins molt recentment, una disciplina d'interès per a la comunitat científica (5).

Si fem una ullada a la història recent, el primer que parlà en el sentit actual de la qüestió del canvi climàtic fou **Svante Arrhenius** (6), un químic físic suec guardonat amb el premi Nobel, que l'any 1896 presentà a la Societat de Física d'Estocolm una comunicació on **argumentava que una reducció o un augment del 40 % en la concentració de diòxid de carboni, un gas present en concentracions molt petites a l'atmosfera, podia provocar perturbacions en el funcionament del clima que explicarien l'avançament o el retrocés de les geleres.** Arrhenius formulà un model simple, però calculava la reflexió de la radiació per la superfície terrestre i pels núvols o les retroaccions produïdes per la capa de gel i de neu d'una manera que, tenint en compte el coneixement actual, avui considerariem ingènua o, fins i tot, potser errònia. Arrhenius (7) va concloure que la variació del contingut de CO<sub>2</sub> i de vapor d'aigua de l'atmosfera exercia una gran influència en l'equilibri energètic del sistema climàtic. Arribà a aquesta conclusió després de realitzar càlculs sense l'ajut de cap instrument mecànic ni, naturalment, electrònic, i va realitzar a mà entre 10.000 i 100.000 operacions corresponents al que avui anomenariem diferents escenaris d'emissions de CO<sub>2</sub>. També realitzà els càlculs per a les quatre estacions de l'any i va intentar discriminar els efectes de l'augment de CO<sub>2</sub> segons la latitud. A les conclusions del seu treball s'hi pot llegir: «[...] si la quantitat de carbònic augmenta en progressió geomètrica, la temperatura augmentarà en progressió aritmètica». També Arrhenius va constatar que la variació de la temperatura seria més important a mesura que augmentés la quantitat de diòxid de carboni, que la temperatura creixeria més si la latitud era més alta i, a més, que l'augment seria més gran a l'hivern que a l'estiu. **En general, Arrhenius va preveure que, en duplicar-se el contingut atmosfèric de CO<sub>2</sub>, es produiria un ascens de la temperatura d'entre cinc i sis graus Celsius.**

La sort i la casualitat han fet que les prediccions d'Arrhenius siguin tan semblants, des del punt de vista quantitatiu, als resultats obtinguts mitjançant els sofisticats models climàtics actuals. Probablement, en aquesta semblança també hi recaigui la consideració del científic suec com a l'iniciador dels estudis de canvi climàtic. No obstant això, **Arrhenius** compartia amb els experts actuals una visió avançada, ja que no només parlà dels efectes de l'augment de diòxid de carboni sobre el sistema físic sinó que **també parlà d'impactes ambientals.** La seva visió positivista del progrés, juntament amb la perspectiva d'una persona que vivia a un país sotmès als rigors d'un llarg i dur hivern, el feren pensar en l'impacte positiu d'un clima menys rigorós que probablement podria facilitar el desplaçament cap a latituds altes de determinades pràctiques agrícoles, i pal·liar en certa manera el dèficit alimentari de l'època.

Si fem un gran salt en el temps, la recerca en climatologia durant la primera meitat del segle XX gaudí de l'interès de pocs científics. Fou a partir del desenvolupament dels sistemes automatitzats de predicció del temps durant la segona meitat del segle XX i especialment durant el darrer quart d'aquest segle, que començà a pensar-se en l'assoliment de metodologies de predicció del clima. El sistema climàtic fou definit en un document elaborat pel GARP (Global Atmospheric Research Program) de l'Organització Meteorològica Mundial l'any 1975 com al sistema format per l'atmosfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera i la biosfera (8).

Posteriorment la convenció marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic signada a Rio de Janeiro l'any 1992, també mítica per les qüestions ambientals, i que va entrar en funcionament el març de 1994, defineix el sistema climàtic com l'atmosfera, la hidrosfera, la biosfera i la geosfera i les seves interaccions. Mentre que ambdues definicions, naturalment, són molt semblants, la darrera posa èmfasi en les interaccions. L'atmosfera, el sòl, els oceans, la superfície de l'aigua, la superfície de gel i neu, i el conjunt de la vegetació i dels altres éssers vius a l'oceà i als continents, estan fortament relacionats entre ells i intercanvien fluxos energètics i de matèria, la qual cosa fa difícil aconseguir una comprensió completa del seu funcionament.

Sovint també avaluem el clima de manera excessivament simple interrogant-nos sobre com canviarà la temperatura o el nivell del mar. Les respostes que s'intenten donar des de la perspectiva de la modelització climàtica, però, tenen a veure també amb aspectes més socials d'habitabilitat i de sostenibilitat ja que responen preguntes com: «serà l'aire respirable?», «hi haurà suficient aigua per veure i per a l'agricultura?», «serà l'ambient prou confortable?». Per respondre aquestes preguntes caldrà no només conèixer el funcionament del sistema climàtic sinó també elaborar escenaris d'evolució del sistema socioeconòmic, és a dir, establir de manera clara les relacions entre el sistema climàtic i la societat.

## La concentració a l'atmosfera dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle augmenta i, com a conseqüència, el clima està canviant?

La característica comuna dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle (GH) és la seva capacitat d'absorbir la radiació d'ona llarga emesa per la Terra. El nombre d'aquests gasos és molt gran, però a la pràctica els que s'analitzen amb detall, atesa la seva importància radiativa, són només sis. En general, les emissions d'aquests gasos augmenten, tot i que les emissions d'alguns disminueixen. A banda del vapor d'aigua, dels gasos GH més directament influenciats per l'activitat humana, els més importants són el diòxid de carboni, el metà, l'ozó, l'òxid nítric, l'hexafluorur de sofre i els clorofluorocarburs (CFC). Altres components atmosfèrics que també s'han de tenir en compte són els aerosols, partícules materials en suspensió a l'atmosfera de grandària diversa, d'origen natural i producte de les combustions, dels quals encara no es té del tot clar quin paper tenen en l'evolució del clima. En general les emissions dels gasos i dels aerosols a l'atmosfera creixen lligades a l'evolució de l'economia. La bonança econòmica tradicionalment comporta taxes d'emissions grans i, en canvi, les crisis econòmiques es caracteritzen per menys emissions.

El diòxid de carboni a l'atmosfera, per exemple, es mesura des de l'any 1958 quan es va instal·lar a l'observatori de Mauna Loa, a Hawaii, un instrument que des d'aleshores ha enregistrat contínuament el contingut d'aquest gas a l'atmosfera. Si s'observa la corba de Keeling a la figura 1, es veu que, sens dubte, la quantitat de diòxid de carboni a l'atmosfera augmenta any rere any. Aquesta tendència és comuna a la majoria de gasos que provoquen l'efecte d'hivernacle, els quals actualment tenen concentracions a l'atmosfera més grans que en períodes preindustrials (9).

Per tant, que la majoria de gasos GH augmenten a causa de les activitats humanes està fora de dubte. Hi ha, però, encara incerteses sobre on va a parar tot el CO<sub>2</sub> emès a l'atmosfera, ja que el que es calcula que es queda a l'atmosfera aproximadament és la meitat de tot el que hi ha entrat. Tampoc no està del tot clar quin és l'efecte global dels aerosols, sobretot els sulfats i el sutge. Es creu que la seva capacitat de reflectir la radiació solar els dona un efecte esmoreïdor de l'efecte d'hivernacle, ja que actuen com un escut respecte a la radiació del sol. També s'observa que el ritme de creixement de les emissions va disminuint, és a dir, no creix tant com es pensava. Això pot ser conseqüència de la transformació de molts sistemes de producció d'energia elèctrica, de la transformació que passa de l'ús de carbó al d'altres combustibles fòssils amb menys emissions de carboni i a les transformacions de determinades pràctiques agrícoles, ramaderes i industrials.

Per poder afirmar que el clima està canviant, s'ha de recórrer a l'estudi de les dades de la xarxa d'estacions que mesuren la temperatura terrestre. El registre instrumental de la temperatura en estacions terrestres i en vaixells porta a concloure que **la temperatura superficial global de l'aire s'ha escalfat entre 0,4 i 0,8 °C durant el segle XX. La tendència a l'escalfament és general a tot el planeta i coincideix amb el retrocés de les geleres, la reducció de la superfície de neu i el ritme més accelerat d'ascens del nivell del mar durant el segle XX comparat amb els darrers mil anys, per exemple.** S'han observat i s'han documentat fenòmens derivats de l'escalfament i que, com que corresponen a sistemes biològics, suposen una integració dels canvis de diferents variables climàtiques, com per exemple l'allargament del període de creixement d'algunes espècies vegetals, l'avançament de la floració i l'alentiment de la caiguda de les fulles, el desplaçament cap al nord d'algunes espècies de papallones i cap a zones de més altura d'algunes espècies d'arbres i l'arribada abans d'hora d'algunes espècies migratòries. També sembla que es pot afirmar que la capa superficial de l'oceà s'ha escalfat uns 0,05 °C durant els darrers cinquanta anys.

**Els canvis més pronunciats, però, s'han produït a les regions polars, especialment de l'hemisferi nord.** L'anàlisi de dades proporcionades per la informació desclassificada procedent de submarins russos i nord-americans indiquen que el gel de l'Àrtic s'ha anat fent més prim des de mitjan dècada dels 70. Les dades dels satèl·lits també indiquen que la concentració de gel sobre l'Àrtic a l'estiu ha disminuït aproximadament un 10%. Tanmateix, la variació de la temperatura no ha estat uniforme a tot el globus ni en tots els anys. L'escalfament més important s'ha produït abans de 1940 i des de 1980 fins a finals de segle. No obstant això, l'hemisferi nord ha experimentat un lleuger refredament durant el període 1946-1975 i hi ha zones on aquest refredament s'ha fet molt patent, especialment a l'est del continent americà.

Les causes d'aquesta interrupció de l'escalfament no són clares. Una possible explicació és l'augment dels aerosols, als quals fèiem esment abans, com a conseqüència de l'ús de carbó com a combustible amb un alt contingut de sofre. A aquestes causes també s'hi poden afegir causes naturals com la variació de la lluminositat del sol o les erupcions volcàniques que han tingut lloc durant aquest període.

L'informe de l'IPCC (10) compara l'escalfament mitjà produït durant el segle XX amb altres pertorbacions del clima de temps passats. Per fer aquesta comparació s'usen dades instrumentals, que abasten els darrers dos-cents anys, juntament amb dades assimilades que provenen de l'anàlisi dels anells dels arbres i de l'estudi de les bombolles d'aire dels gels a Groenlàndia. El resultat d'aquesta anàlisi és que l'escalfament que hem viscut durant el segle XX és probablement dels més grans que s'han donat durant el darrer mil·lenni. Tanmateix, aquesta afirmació s'ha de prendre amb molta precaució: s'han utilitzat les millors dades disponibles, però aquestes són irregulars en la seva distribució temporal i espacial i, per tant, el grau de confiança que aporten a l'anterior afirmació és moderadament petit.

Una altra qüestió **és saber si aquest canvi de la temperatura es deu a causes humanes o no.** L'informe de l'IPCC abans esmentat **atribueix amb un alt grau de confiança la causa de l'escalfament al creixement del contingut atmosfèric de gasos amb efecte d'hivernacle i, a més, mostra unes simulacions de models numèrics on s'aconsegueix separar, durant els darrers deu anys, la variabilitat natural i la variabilitat relacionada amb les activitats humanes que, naturalment, és molt més gran. Els crítics d'aquestes afirmacions assenyalen, no exempts de raó, que encara hi ha un grau d'incertesa gran en el coneixement de la magnitud de la variabilitat natural.** Així, assenyalen que, en doblar-se el contingut del diòxid de carboni a l'atmosfera, es produeix un forçament radiatiu de 4  $\text{wm}^{-2}$  (del 2 % respecte a la radiació total que arriba a la superfície), quantitat que és molt petita comparada amb l'efecte que pot tenir l'acoblament entre l'escalfament i el contingut de vapor d'aigua de l'atmosfera i la cobertura de núvols. Per tant, **sostenen que fins ara és impossible relacionar de manera precisa el canvi del clima observat amb les emissions antropogèniques ja que manca un coneixement precís sobre la variabilitat natural.**

En resum, sembla que **les dades confirmen que es detecta un canvi del clima del qual probablement en bona part són responsables l'augment de la concentració atmosfèrica de gasos GH com a conseqüència de l'ús generalitzat dels combustibles fòssils i del motor d'explosió, del desenvolupament de l'agricultura i de la ramaderia intensiva i dels canvis en els usos del sòl.** Tot i que durant els darrers anys hi ha hagut una important millora dels models matemàtics que representen el clima, **encara hi ha una certa incertesa sobre la contribució antròpica i la variabilitat natural al canvi climàtic.**

## Quant i com canviarà el clima durant el segle XXI?

Per projectar cap a un futur pròxim de quina magnitud serà el canvi climàtic, cal d'una banda conèixer amb un bon grau de confiança el funcionament del medi físic, és a dir, disposar d'un model fiable, i d'altra, poder projectar amb precisió quines seran les emissions futures dels gasos causants de l'efecte d'hivernacle i quina serà l'evolució dels embornals, és a dir, com canviaran en el futur els usos del sòl, les pràctiques agrícoles i ramaderes, la silvicultura.

Mentre que actualment es disposa de models bastant fiables pel que fa al coneixement que incorporen del funcionament del medi físic, el segon aspecte, les emissions i l'evolució dels embornals, és una fita que gaudeix de moltes més imprecisions. En efecte, s'ha relacionat les emissions, fins ara, amb variables de caràcter econòmic i demogràfic actuals lligades a previsions que permetin albirar l'evolució de l'economia mundial en els propers deu, vint o cinquanta anys. Tanmateix, **no se sap quina serà l'estructura de producció energètica, industrial, de transport de les societats del futur. Aquestes incerteses són, per tant, massa importants com per considerar que els resultats que s'obtenen dels models són prediccions sobre el que pot passar en el clima del futur.**

Per poder comparar els **diferents models l'IPCC ha confeccionat escenaris d'emissions futures** elaborades a partir de previsions del Banc Mundial o de l'ONU sobre el **creixement demogràfic i econòmic mundial**. Aquests escenaris contemplen un ampli espectre d'assumpcions sobre el futur econòmic i el desenvolupament tecnològic. No cal dir el **gran nombre d'incerteses que es plantegen sobre el creixement econòmic, els estils de vida, l'ús dels diferents sistemes de producció d'energia, el creixement de la població o els futurs canvis tecnològics**. És sobre la base d'aquests escenaris i, en especial d'un escenari de previsions mitjanes, que s'han d'entendre les xifres que comentarem a continuació.

Un escenari útil és el que assumeix **el creixement d'emissions durant els darrers 20 anys de l'1 % anual i estipula que fins l'any 2050 les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle quedaran estabilitzades als nivells actuals**. En el context actual és com si estiguéssim considerant una situació de mínim. En aquest escenari la temperatura augmentaria uns 0,75 °C l'any 2050. Els escenaris usats per l'IPCC preveuen que l'any 2100 la temperatura de l'atmosfera haurà augmentat entre 1,4 °C i 5,8 °C, escalfament que, si es donés, seria el més gran dels darrers 10.000 anys. També **tots els models determinen que la diferència entre les temperatures mínimes i les temperatures màximes disminuirà i que, en general, les temperatures mínimes seran més altes i, per tant, es reduiran els episodis de fred extrem**. En general, **es creu també que augmentaran les precipitacions tot i que la distribució espacial i temporal serà diferent**. Al nostre país, per exemple, sembla que **les precipitacions augmentaran a l'hivern però que, en canvi, a l'estiu els períodes de secada seran més intensos i freqüents**. Els models preveuen també una disminució general de la zona coberta per la neu i el gel així com un ascens del nivell del mar, principalment a causa de la dilatació de l'aigua a conseqüència de l'escalfament, d'entre 0,09 i 0,88 metres. **Aquests comportaments generals no ens han de fer creure que tot canviarà uniformement ni en el mateix sentit**. La variabilitat climàtica a la qual fèiem esment abans no només es manifesta temporalment sinó també regionalment. Així, ja es té constància de la coexistència en períodes passats i en pocs centenars de quilòmetres de distància, de tendències oposades de variació natural del clima. Aquest fet es manté també en les pertorbacions climàtiques d'origen antròpic.

En un termini de temps curt l'agricultura i la forest es beneficiaran de la fertilització de diòxid de carboni i de l'augment de la temperatura i de la precipitació. Els estudis regionals són escassos i encara poc concloents. Tampoc no hi haurà una tendència unívoca per a tots els tipus de conreus i d'activitats. **Les condicions òptimes d'alguns conreus canviaran i sovint caldran adaptacions significatives al pla regional.** Tanmateix, serà important la relació entre l'escala de temps del canvi climàtic regional amb els temps característics d'evolució i d'adaptació de les espècies. Les conseqüències sobre les plagues i les malalties de les plantes dels canvis del clima estan enteses de manera incompleta i, per tant, a escala regional i a termini llarg hi ha encara molta incertesa i falten molts estudis.

Alguns models projecten la tendència, **a les regions semiàrides, cap a un creixement dels períodes de secada.** Sembla probable que la quantitat de neu a les muntanyes disminueixi i que la neu es fongui abans com a resultat de l'escalfament atmosfèric, la qual cosa **pot afectar el balanç hídric i tenir importants impactes associats amb la disponibilitat d'aigua dolça.** A la vegada el creixement de les pluges a l'hivern i l'hipotètic augment dels episodis de tempestes fortes pot produir problemes en el control de riuades i canvis als hàbitats de les plantes i dels animals.

Un altre aspecte important que s'ha de considerar és **l'impacte en la salut.** L'augment de la temperatura **influirà, sens dubte, sobre la freqüència i la transmissió de malalties infeccioses, sobre l'efecte en la població d'episodis d'onades de calor i de fred i, naturalment sobre la qualitat de l'aire i de l'aigua.** Es **desconeixen però les pautes cap a les quals poden evolucionar aquests canvis.** Les variacions de la temperatura i de la precipitació indueixen canvis en els hàbitats dels organismes que actuen com a vectors transmissors de malalties (mosquits, rosegadors, etc.). Sembla probable que, si hi ha una freqüència inferior de determinats episodis de fred, puguin sobreviure determinats tipus de mosquits que en les condicions actuals no sobreviuen. Alguns estudis preveuen una possible incidència del mosquit de la malària al sud de la península Ibèrica dintre de 10 anys justament per aquesta causa. El mateix es pot dir per l'impacte de les onades de fred i de calor. És de preveure una afecció menys important a les onades de fred ja que aquestes seran menys freqüents, mentre que probablement hi haurà més episodis de calors extremes, la qual cosa produirà problemes de salut en persones especialment sensibles.

**L'augment d'episodis meteorològics extrems** sembla que sigui una altra conseqüència del canvi climàtic, atesa la quantitat d'energia superior de l'atmosfera. Tanmateix, aquest és un dels aspectes més controvertits, ja que fins ara **no s'ha pogut constatar una determinada tendència des d'un punt de vista instrumental.** No obstant això, bona part de la població del món es concentra a les zones costaneres, la qual cosa fa preveure importants impactes econòmics si el nivell del mar és més alt o si hi ha una freqüència més elevada d'episodis meteorològics extrems.

En qualsevol cas, **el temps és un factor important.** Cadascun dels processos esmentats té les seves dinàmiques i en cap cas es creu que hi hagi processos ni canvis bruscos. L'adaptació dels sistemes naturals als canvis ambientals podrà ser gradual i l'èxit o el fracàs, la vulnerabilitat o la sensibilitat d'un sistema, dependrà justament del temps que necessiti per adaptar-se a les condicions ambientals canviants. Tampoc no tots els canvis seran dolents. Com ja va veure Arrhenius, els canvis de les condicions ambientals seran favorables per a alguns processos i desfavorables per a d'altres. Per exemple, mentre que els canvis del clima a la regió mediterrània sembla que poden afectar de manera desfavorable el conreu productiu de certs cereals, probablement afavoriran el conreu de la vinya i de l'olivera, cultius de gran importància actualment.

## **Hi ha una concentració sostenible de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera?**

Es tractaria de contestar la pregunta de si hi ha una concentració lliandar de gasos GH a l'atmosfera, per sobre de la qual es produeixen canvis catastròfics en el funcionament del sistema climàtic, o bé si es coneixen prou bé les conseqüències de l'escalfament a causa de l'augment dels gasos amb efecte d'hivernacle de manera que la comunitat científica sigui capaç

de definir una concentració acceptable basant-se en anàlisis de riscos potencials i de danys. Una manera de contestar aquestes qüestions és observar què va succeir en el passat. La paleoclimatologia aporta dades respecte a la variació del CO<sub>2</sub> atmosfèric durant èpoques passades en la història geològica de la Terra. Fa uns cinquanta milions d'anys hi havia entre tres i nou vegades més diòxid de carboni a l'atmosfera i, sembla que feia molta més calor que ara.

Per exemple, sembla que hi havia vida abundant al cercle polar o que la temperatura de les aigües profundes del mar era alta. També s'han trobat períodes amb variacions sobtades en milers d'anys del diòxid de carboni atmosfèric, relacionades també amb canvis en la temperatura. D'aquestes oscil·lacions n'hi ha algunes en les quals els períodes càlids excedeixen amb escreix les projeccions més radicals dels models climàtics. Aquests canvis estan associats, a vegades, amb extincions o amb redistribucions d'espècies, en cap cas amb una desaparició total de la biosfera.

**L'evolució del clima del futur dependrà de la naturalesa del forçament climàtic, és a dir, del contingut en gasos GH i de la sensibilitat del sistema climàtic.** Per tant, determinar una concentració sostenible dels gasos amb efecte d'hivernacle depèn de la capacitat de determinar la sensibilitat del sistema climàtic així com del coneixement exacte dels factors de forçament i dels riscos i les vulnerabilitats. A més, com ja s'ha dit, **el clima canviarà amb un marcat caràcter regional i, mentre que tots els models projecten un augment global de la temperatura i de les precipitacions, les distribucions temporals i espacials d'aquestes varien de zona a zona del globus i de model a model.** Per tant, amb el coneixement que es té actualment del sistema climàtic és difícil, per no dir impossible, establir una concentració atmosfèrica de gasos GH assumible on els riscos i els impactes estiguin equilibradament relacionats amb l'esforç tecnològic i econòmic per assolir-la.

A més, aquests darrers factors tampoc no són uniformes per a tothom. El problema del canvi climàtic és diferent si es veu des de la perspectiva d'un ciutadà de la Unió Europea o dels Estats Units, amb bona capacitat tecnològica i econòmica per adaptar-se als canvis, o de la d'un esquimal que depèn per a la seva alimentació de l'extensió del gel, o d'un habitant de les illes Maldives, conjunt d'unes 1600 illes de corall, per al qual l'extensió del seu país depèn de la magnitud de l'ascens del nivell del mar.

Considerant, doncs, un punt de vista realista i pragmàtic, **l'actuació enfront del canvi climàtic comporta dos tipus d'accions fonamentals: la mitigació de les causes i l'adaptació a les noves condicions climàtiques.** La mitigació consisteix en la disminució de les emissions: és evident que en les condicions actuals, hi ha tecnologia disponible per estabilitzar el contingut atmosfèric de diòxid de carboni a 450 ppm, a 600 ppm o a 1000 ppm. Definir el nivell és una qüestió d'ordre econòmic i de voluntat política i social. Pel que fa a l'adaptació, **significa preparar-se per a les condicions canviants, ja sigui des del punt de les activitats econòmiques, com des de l'adaptació d'infraestructures, etc.** Ambdues estratègies, l'adaptació i la mitigació seran imprescindibles per tal de pal·liar el fenomen.

L'únic acord internacional de reducció d'emissions fins ara assolit, el **Protocol de Kyoto**, estableix compromisos fruit d'acords entre estats, els que formen l'anomenat annex B, que justament **ponderen la capacitat tecnològica per reduir les emissions i adaptar-se amb el cost econòmic que comporten.** No hi ha consideracions científiques per a les propostes de reducció, o el que és el mateix, les recomanacions científiques estaven molt allunyades del sostre de les reduccions plantejades. **Els gasos GH tenen temps de residència a l'atmosfera molt llargs, és a dir, es degraden amb dificultat.** Això vol dir que les accions que s'apliquin tindran efectes a un termini llarg, desenes o centenes d'anys. Aquesta és una coincidència important amb altres problemes ambientals, com la degradació del contingut d'ozó estratosfèric, a la qual ens referíem al començament d'aquest article. **L'escala de temps de l'origen de la pertorbació és molt més petita que l'escala de temps de recuperació del sistema.** Per això és important **aplicar el principi de precaució que consisteix a actuar ara, tot i que encara no hi ha certeses completes sobre la magnitud i l'abast del fenomen.** El que se sap, però, és que qualsevol actuació haurà de mantenir-se molt temps i que farà efecte més enllà de la nostra generació. Això és un problema afegit a la gestió del problema.

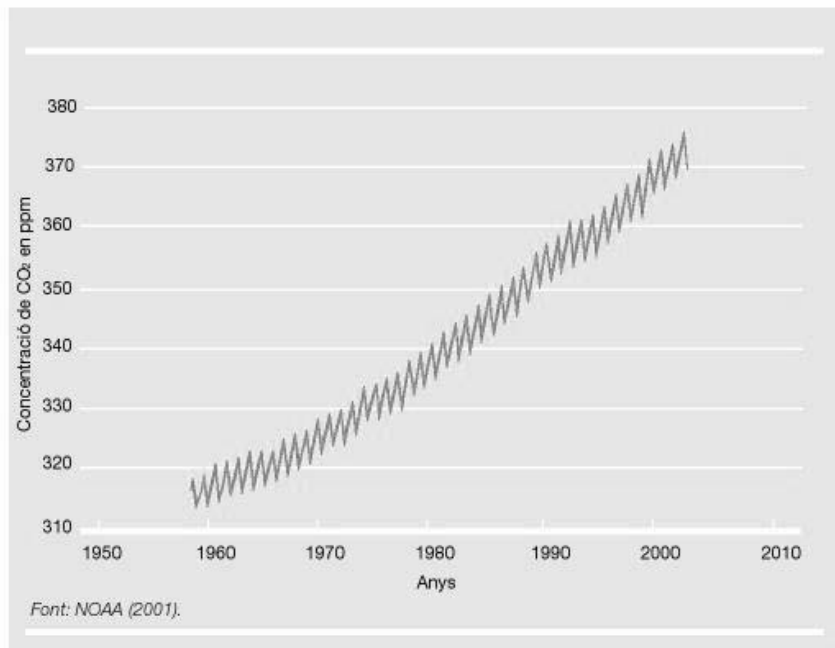
## El canvi climàtic: oportunitat de noves activitats econòmiques?

**Perquè siguin efectives, les actuacions per pal·liar el canvi climàtic han d'ésser econòmicament viables**, però també hi ha nous sectors empresarials que actualment s'estan **començant a desenvolupar com a conseqüència de les accions de mitigació i adaptació**, que s'espera que siguin econòmicament viables. El desenvolupament d'aquests sectors serà una bona eina per reduir el problema del canvi climàtic. Exemples d'aquests sectors els tenim en les companyies dedicades al desenvolupament d'energies alternatives, com les renovables, principalment l'eòlica i la solar, o les que treballen l'ús de l'hidrogen com a combustible i que estudien mètodes de generació i emmagatzematge o desenvolupen les piles de combustible o, fins i tot, aquelles que fan nous intents de revifar la generació d'energia nuclear.

També hi ha, però, **incipients sectors econòmics lligats a la reducció d'emissions**, com les actuacions de compra i gestió de boscos. Efectivament els boscos i la vegetació intercanvien grans quantitats de CO<sub>2</sub> amb l'atmosfera. **Els vegetals capturen CO<sub>2</sub> mitjançant la fotosíntesi i quan respiren emeten oxigen i una part del CO<sub>2</sub> absorbit**. En conjunt **retenen carboni en forma de matèria orgànica**. **L'emmagatzematge de carboni per part de la vegetació creix a conseqüència de les pràctiques de reforestació o dels canvis de les pràctiques de la gestió dels residus als conreus**. A casa nostra i a molts altres països desenvolupats, l'abandonament de zones agrícoles ha comportat, moltes vegades, la seva transformació en zones forestals, amb la corresponent fixació addicional de carboni atmosfèric. La gestió d'aquestes i altres zones en països tercers subjectes a ser gestionades justament amb la seva capacitat de retenir diòxid de carboni, pot representar una oportunitat de negoci si, finalment, s'estableix internacionalment un mercat d'emissions.

L'activitat en el mercat d'emissions, tant des del punt de vista de la intermediació entre les empreses compradores de drets d'emissions i les companyies que en poden vendre, com d'aquelles empreses que es volen dedicar a les certificacions, és a dir, a comptabilitzar les emissions que s'estalvien amb una determinada acció tecnològica o d'inversió, sembla que serà també un sector que es desenvoluparà amb un cert impuls durant els propers anys. **El comerç d'emissions consisteix, essencialment, a poder comerciar amb emissions no fetes o emissions reduïdes per sobre de les quantitats prèviament establertes o pactades**. És un intent d'aconseguir disminuir el màxim les emissions de gasos GH a l'atmosfera amb el mínim cost global. Així, si a una indústria o a una empresa, per complir els seus compromisos, li resulta molt costós econòmicament o tecnològicament canviar una determinada línia de producció per una altra amb menys emissions, podria negociar-ne la compra amb una altra empresa a la qual sobrin drets d'emissions. A escala mundial, l'atmosfera se'n beneficiaria com si l'empresa hagués fet la feina, i tant l'empresa compradora com l'empresa venedora obtindrien millores econòmiques pel tracte.

● Gràfic 1. Concentracions atmosfèriques de CO<sub>2</sub> a Mauna Loa (Hawaii)



S'ha parlat molt dels embornals i sobre el comerç d'emissions com a alternatives a la reducció d'emissions especialment en el marc del Protocol de Kyoto. Les dificultats que hi ha sobre el seu ús no són saber si realment serveixen per absorbir o retenir diòxid de carboni, sinó que se situen sobre la capacitat i la certesa d'arribar a tenir sistemes de mesura i de verificació de les quantitats de diòxid de carboni absorbit o no emès. Només si aquest punt es resol es podran posar en funcionament els mecanismes, tan tímids per a alguns, els únics possibles per als altres, de reducció d'emissions, i aleshores es començarà a actuar sobre els gasos GH a l'atmosfera.

## Consideracions finals

L'intent d'oferir una visió panoràmica i breu sobre alguns punts que caracteritzen l'anàlisi dels possibles canvis del clima no ha d'amagar que encara queden considerables àrees on es plantegen qüestions importants, que cal millorar el coneixement d'aquestes àrees així com fomentar-ne la recerca. D'una banda, s'ha de mantenir i augmentar la xarxa observacional i fomentar-hi el desenvolupament d'estudis que reconstrueixin el clima del passat com a elements indispensables per copsar-ne la variació actual. **Encara manca entendre, tant globalment com localment, quina és la contribució de la variabilitat natural i de la variabilitat d'origen antròpic als canvis del clima, la qual cosa portarà a poder millorar els models i les prediccions a escala local.** En aquest mateix sentit, la incorporació dels núvols i un coneixement precís dels cicles del carboni, de l'aigua i del nitrogen millorarà també la capacitat de predicció de la climatologia. Tanmateix, quedarà però la poca capacitat de predicció sobre l'evolució socioeconòmica futura de les nostres societats que, al capdavall, és l'element essencial per poder predir l'evolució del clima del futur. Malgrat tots aquests elements, de cap manera es pot adoptar una postura expectant: **el problema hi és i convé actuar de la manera més ràpida i efectiva possible.** L'avantatge és que la majoria d'actuacions que intervenen per pal·liar el problema de les emissions de gasos GH a l'atmosfera, en termes absoluts, gestionen millor els recursos. En efecte, millorar l'eficiència, utilitzar energies renovables, gestionar adequadament les pràctiques agrícoles i ramaderes, són exemples d'actuacions que redueixen les emissions, però que en termes absoluts, encara que el problema del canvi climàtic no existís, seria bo dur-les a terme.

## Bibliografia

- 1 - Maria Àngels Anglada: Relats de mitologia. Els déus. Edicions Destino, Barcelona, (1996).
- 2 - A. Berger, Milankovith theory and climate. Reviews of Geophysics 26, 624-657, (1988).
- 3 - S. Chubachi, Preliminary result of ozone observation at Syowa Station from february 1982 to January 1983. Mem. Natl. Inst.Polar res. 34, 13-19, (1984).
- 4 - J. C. Farman, B. G. Gardiner, and J. D. Shanklin, Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal CLOx/NOx interaction. Nature 315, 207-210, (1985).
- 5 - Llebot, J. E. El canvi climàtic. Rubes, (1998).
- 6 - Llebot, J. E. Svante Arrhenius: els albors del canvi climàtic en Medi ambient. Tecnologia i cultura: Onze referències del pensament ambiental, Barcelona, (2001).
- 7 - Arrhenius, S. On the influence of carbonic acid in the air upon de temperature of the ground. Philosophical Magazine, 41, 237-276, (1896).
- 8 - Peixoto José P. Y Oort A.H. Physics of climate. AIP, (1989).
- 9 - En el cas dels CFC, aquesta afirmació no té sentit ja que la primera síntesi d'un gas d'aquests és de 1928 i la majoria han estat desenvolupats i utilitzats durant la segona meitat del segle XX.
- 10 - IPCC, Climatic Change 2001, The Scientific Basis. Cambridge University