

Institut

L'aire i el medi

d'Estudis

PUBLICACIONS

DE LA

PRESIDÈNCIA

28 / 2008

Cicle de conferències

Catalans

**PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
28 / 2008**



L'aire i el medi

**PUBLICACIONS
DE LA
PRESIDÈNCIA
28 / 2008**

Cicle de conferències

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP

L'**Aire** i el medi : cicle de conferències. — (Publicacions de la Presidència ; 28)

ISBN 978-84-7283-974-8

I. Institut d'Estudis Catalans II. Col·lecció: Publicacions de la Presidència ; 28

1. Aire — Congressos 2. Climatologia — Congressos

504.3(061.3)

551.58(061.3)

Amb la col·laboració de  **Caixa Sabadell**

Disseny gràfic: Enric Satué

4

© dels autors de les conferències

© 2008, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: abril de 2008

Tiratge: 450 exemplars

Text revisat lingüísticament per la Unitat de Correcció del Servei Editorial de l'IEC

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Imprès a Limpergraf, SL

ISBN: 978-84-7283-974-8

Dipòsit Legal: B. 20582-2008

Són rigorosament prohibides, sense l'autorització escrita dels titulars del *copyright*, la reproducció total o parcial d'aquesta obra per qualsevol procediment i suport, incloent-hi la reprografia i el tractament informàtic, la distribució d'exemplars mitjançant lloguer o préstec comercial, la inclusió total o parcial en bases de dades i la consulta a través de xarxa telemàtica o d'Internet. Les infraccions d'aquests drets estan sotmeses a les sancions establertes per les lleis.

Índex

Presentació,

a càrrec de Josep Enric Llebot,
membre de la Secció de Ciències i Tecnologia
9

Societat Catalana de Llengua i Literatura

*Notes sobre el vent en la literatura culta
i en la popular a Catalunya,*

a càrrec d'Albert Manent,
escriptor
13

Societat Catalana de Filosofia

L'aire en la Grècia clàssica,

a càrrec d'Antoni Bosch-Veciana,
de la Universitat Ramon Llull
33

Institució Catalana d'Història Natural (1)

El pol·len i les espores a l'aire,

a càrrec de Jordina Belmonte,
de la Universitat Autònoma de Barcelona
87

Societat Catalana de Física (1)

És una ciència exacta, la meteorologia?,

a càrrec de Bernat Codina,

de la Universitat de Barcelona

107

Societat Catalana de Geografia

Aproximacions transversals al canvi climàtic,

a càrrec de Javier Martín Vide,

de la Universitat de Barcelona

121

Associació Catalana de Ciències de l'Alimentació

Complexitat de la resposta sensorial olfactiva en els humans,

a càrrec de Ramon Viader i Guixà,

dels laboratoris Viader Anàlisi, SL

143

Societat Catalana de Física (2)

Podem veure un canvi del clima?,

a càrrec de Josep Enric Llebot,

de la Universitat Autònoma de Barcelona

i membre de l'Institut d'Estudis Catalans

175

Societat Catalana de Química

La contaminació del medi atmosfèric urbà: un repte de futur,

a càrrec de Josep M. Bayona,

del Consell Superior d'Investigacions Científiques

195

Societat Catalana de Biologia

Població i clima a la Terra: generació i evolució d'estructures dissipatives,

a càrrec de Xavier Rodó,

de la Institució Catalana de Recerca i Estudis Avançats

i de la Universitat de Barcelona

217

Societat Catalana d'Economia

La criminalització de l'aire: un cas a Tarragona,

a càrrec de Josep C. Vergés,

de la Societat Catalana d'Economia

251

Institució Catalana d'Estudis Agraris

L'aire i l'agricultura,

a càrrec de Josefina Plaixats,

de la Universitat Autònoma de Barcelona

289

Societat Catalana d'Estudis Jurídics

El règim jurídic de l'aire,

a càrrec de Josep Esteve Pardo,

de la Universitat de Barcelona

313

Institució Catalana d'Història Natural (2)

Cicles del carboni al bosc:

pensament global, actuació local,

a càrrec de Russell Monson,

de la Universitat de Colorado, Estats Units d'Amèrica

327

L'AIRE I EL MEDI

PRESENTACIÓ,

A CÀRREC DE

JOSEP ENRIC LLEBOT,

MEMBRE DE LA SECCIÓ DE CIÈNCIES

I TECNOLOGIA

DE L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

Els darrers cent anys han estat abundosos en importants transformacions socials i tecnològiques. Dues guerres generalitzades, ultra una munió de conflictes bèl·lics regionals i locals, mostren encara com és de difícil pal·liar els legítims interessos de les comunitats humanes quan es contraposen. El mapa polític del món és dinàmic i cal progressar molt encara en la metodologia de la seva gestió. El desenvolupament industrial, el creixement demogràfic i els canvis en els sistemes de comunicació i informació, molt accelerats especialment en els darrers vint-i-cinc anys, configuren també un entorn característic del darrer segle. En aquest context, es pot dir que la relació de la humanitat amb els quatre elements fonamentals, l'aire, l'aigua, el foc i la terra, ha canviat molt durant els darrers cent anys, especialment pel que fa a l'aire. Així, mentre que fa temps que són ben conegudes la major part de transformacions que la societat contemporània ha aplicat sobre el sòl, l'aigua i, fins i tot, el foc, l'aire sempre ha quedat a part, com l'embolcall generós i inesgotable que envolta la superfície terrestre. El coneixement científic del comportament de l'aire tampoc no ha estat una disciplina a la qual tradicionalment s'hagin dedicat gaires esforços. La meteorologia moderna va néixer fa poc més de cinquanta anys i la climatologia s'ha desenvolupat fa no gaire més de vint-i-cinc anys.

En aquest context s'emmarca aquest quart volum de la sèrie sobre els quatre elements fonamentals i el medi, dedicat, en aquest cas, a l'aire. Correspon als textos que es van presentar en el decurs de l'activitat que va cloure el conjunt de quatre cicles de conferències dedicats a presentar, sota diferents perspectives, les relacions de l'aigua, la terra, el foc i l'aire amb el medi. Amb aquests quatre cicles de conferències, l'Institut d'Estudis Catalans, amb la col·laboració de l'Obra Social de Caixa Sabadell i mitjançant la participació activa i les aportacions de les societats filials, ha pretès oferir una visió

transversal i actual dels quatre elements fonamentals i la seva relació amb el medi.

Dels quatre elements fonamentals, l'aire és el que està repartit de manera més homogènia per tot el globus i, probablement gràcies a això, és el que encara no té assignats drets de propietat. Per això, fins fa relativament poc, se li ha prestat poca atenció legislativa. En canvi, recentment, els problemes sorgits a causa de l'escalfament del planeta com a conseqüència del canvi de la concentració d'alguns gasos a l'atmosfera i l'evolució de la qualitat de l'aire a les concentracions urbanes i industrials han fet desenvolupar un ampli cos legislatiu tant a escala internacional com nacional.

En el cicle «L'aire i el medi» es va parlar del règim jurídic i de la contaminació de l'aire, del càlcul i de la mesura dels fluxos de carboni, de la meteorologia contemporània, de l'escalfament de l'atmosfera i de la relació d'aquest fenomen amb els possibles canvis del clima, del vent a la literatura, dels aires a la Grècia clàssica, del pol·len i de la seva dispersió i, fins i tot, de la resposta sensorial olfactiva. Va resultar un conjunt de conferències interessants i necessàriament heterogènies que aportaren una visió de l'aire des de moltes disciplines diferents. El text que presentem reuneix essencialment els materials que es van dictar durant un mes llarg d'activitats, però amb la virtut de posar-los tots junts, amb la qual cosa s'ofereix una visió poc present a les lleixes de les nostres biblioteques. Quan es parla de gestió ambiental, sovint es troba a faltar la visió interdisciplinària i integradora dels problemes ambientals, en contraposició amb la visió especialitzada i compartimentada amb què sovint s'afronten. Cadascun dels escrits d'aquest volum aporta una visió disciplinària sobre l'aire, però, en canvi, el lector, en moure's pels textos, podrà obtenir una singular i personal visió integrada de l'aire i el medi.

Amb aquest volum s'arriba al final d'una petita aventura del coneixement. És de lloar i d'agrair l'esforç que han fet

l'Institut d'Estudis Catalans i les societats filials per dur a terme l'organització del cicle de conferències «Els quatre elements fonamentals i el medi» i publicar els materials presentats. També és just agrair la sensibilitat i la col·laboració de l'Obra Social Caixa Sabadell, que ha donat suport a la realització dels cicles. La visió dels quatre volums publicats produeix la satisfacció de la feina feta i el convenciment que des de l'Institut hem col·laborat a afegir un gra de sorra al coneixement d'allò que configura una part de l'arquitectura biofísica del nostre món.

**SOCIETAT CATALANA
DE LLENGUA
I LITERATURA
NOTES SOBRE EL VENT
EN LA LITERATURA CULTA
I EN LA POPULAR A CATALUNYA,
A CÀRREC
D'ALBERT MANENT,
ESCRITOR**

El fenomen del vent deu ser més antic que l'home. A la Bíblia la paraula hebrea que correspon a *Esperit* significa originàriament 'alè de vent' (Ex 10, 13) o bé 'alè de vida' (Gn 7, 15; Mt 27, 50). Naturalment Déu, Jahvè, és qui posseeix aquest alè vital (Gn 2, 7) i qui el dóna als vivents (Ez 37, 1-14). Déu es manifesta de vegades a través del vent...

En la nostra literatura medieval els vents són de vegades esmentats *nominatim*. Així en un capítol, precisament dels vents, Llull a *Fèlix o Llibre de meravelles* enumera els vuit que configuren l'anomenada rosa dels vents: llevant, ponent, tramuntana, migjorn, eixaloc —forma antiga de xaloc—, mestre —que així s'anomenava el mestral—, grec —que és la forma primigènia de gregal, perquè venia de Grècia— i llebeig.

A la *Crònica* de la conquesta de Mallorca, de Pere Marsili, hi ha també un altre capítol especial per als vents: hi esmenta els vuit fonamentals i vuit més que són, diu, «d'entremig». Eiximenis parla del cerç al *Primer del Crestià* i a la *Crònica* de Jaume I trobem, ça i lla, el garbí, el llevant, l'eixaloc, el llebeig, i el mestre, o mestral, com es dirà més endavant. Eiximenis parla del migjorn i Jaume Roig, del ponent. Encara alguns textos clàssics esmenten l'aquiló, que ve del llatí *aquilone*, però que no he trobat mai en cap de les vint-i-dues comarques que hem enquestat exhaustivament. Ausiàs March en un dels seus versos fa sortir el «vent tramuntanal», que he trobat en algun indret com a forma popular.¹

Espigolant en els autors del segle XX he descobert uns quants escriptors, sobretot poetes, que han dedicat poemes al vent. Per exemple, Joaquim Ruyra amb la composició «Vent fresquet de tramuntana»:

1. Trec les citacions d'autors medievals de l'obra de Manuel Sanchis Guarner, *Els vents segons la cultura popular* (Barcelona, 1952).

Benvingut
si duus salut,
vent fresquet de tramuntana;
si fas bons
els nostres sons
i ens remous delit i gana.

Amb udols,
saltant pujols
et desboques per la plana,
i no sents,
com altres vents,
mai fatiga ni galvana.
.....

Tires vells
a capgirells
i llurs capes cargolades,
i al jovent
alces, rient,
els faldons i camisoles.
.....

Llança udols,
salta pujols
i desboca't per la plana,
i els sembrats
deixa escombrats
de cadell i voliana...

En aquest cas Ruyra personifica la tramuntana com si fos un minyó inquiet i tant li atorga la condició de fresquet com la de desolador.

Pere Coromines, a *Les gràcies de l'Empordà* (1919),

parla, naturalment, de la tramuntana: «La cinquena gràcia de l'Empordà és la tramuntana. Tant si ve de Canigó, com si baixa de Recasens o dels colls de Panissars o de Banyuls, la tramuntana esbandeix el cel, purifica l'atmosfera i presenta les arestes de les coses a la més clara percepció dels sentits. L'empordanès la tem perquè encara és més franca i més valenta que ell, mes al cap de temps de no sentir-la cantar, alegre i esbojarrada, oprimint per la boira i la congoixa, la desitja i l'enyora. Ruïnes d'Empúries la grega ¿no fou la tramuntana la que us va colgar? [...] Quantes vegades he sentit arribar de lluny els seus bruels de dalt estant del Serra de la Creu en el camí de Terrades, mentre al coll del Portús es llevava la polseguera del seu galop! [...] Serà una gràcia terrible si voleu, però si no fos la tramuntana, ni vosaltres els empordanesos seríeu tal com sou, ni aquesta plana fóra l'Empordà.»

Eugeni d'Ors, pocs anys després d'haver deixat de ser Xènius, en un dels primers glossaris en castellà publicà un bell poema sobre el vent, que té reminiscències del cançoner popular. Es titula «El viento en Castilla»:

Si yo andaba por Castilla, se andaba tras mío el viento.
 Era en el tiempo de mayo, que es tiempo que muda el tiempo.
 Hogaño los campos van, que Dios da gloria de verlos,
 por las miesecicas nuevas, vestidas de terciopelo,
 por las miesecicas verdes, con ese verde tan tierno;
 y el viento allí levantaba tornasoles al repelo.
 Vimos correr desde el páramo a tornasoles ligeros,
 procesión interminable, tierras de Castilla adentro.
 Yo corría de Castilla, castillos, villas y pueblos.
 Me acompañaban amigos, mañana eran otros nuevos,
 pero no me dejaba uno. Uno, infatigable, el viento.

Josep Carner va fer una excursió el 1904 per terres del Camp de Tarragona i el Priorat i va dedicar poemes a Salou,

Cornudella, el Mèdol, Siurana o a la Torre dels Escipions, un dels quals es titula «Tarragona un dematí de vent», recollit al *Segon llibre de sonets* (1907), però no a les obres completes. Diu així:

Els grans corsers de Foibos travessen les sagrades
blavors i junts renillen amb vigorós anhel;
la terra s'enlluerna de la claror del sol,
i corre una frisança d'argent per les onades.

I esmenta l'urbs augusta les esplendors llunyanes
de son poder, i escolta pels aires ressonar
el vent gegant que un dia calia per inflar
els estendards de Roma, les veles catalanes!

Enmig de les empentes, les fúries i els braols,
es drecen les muralles com protegint estols;
superbament encara fulguren les pedreres;

i encar en una glòria de sol i cel i vent,
la catedral s'eleva dins la claror esplendent
amb una apoteosi vibrant de polsegueres!

En un altre poema, prou conegut, «El dia revolt», trobem el vent com a protagonista del tràngol que Carner expressa amb el seu do immarcescible. Heus ací algun dels fragments:

Fes batre de nou mon cor que s'enuja;
per cel, terra i mar emporta't en folla carrera la vida que es
dol;
o dia revolt de sol i de pluja,
o dia esquinçat de vent i de pluja i de sol!

Qui sap si seran amargues o pies tes deixes?
 Hi ha ocells que t'afronten i d'altres que fugen als nius.
 Les frondes, el cel, la boira, la gorga, les bruixes mateixes
 no saben si plores o rius.

Potent, de la nau abats el cordatge, la vela has retuda
 i emplenes el bosc de laments;
 i a l'era del cel hi menes batuda
 dels núvols de flama que petja la bella quadriga dels vents.

Escampes llavors, polsegueres, auguri de mort i de vida;
 t'emportes les fulles cantant, a l'atzar;
 i clapes de llum la terra atuïda
 i voltes de rares escumes els pàl·lids miralls de la mar!

I Carner acaba amb aquella famosa invocació, que encara ens emociona:

Bon dia pel tany que desperta —l'alzina sabuda
 només que de Déu, que ja guarda la seva llavor de perills!—
 Salut a la pàtria, tan feble i dolguda,
 salut a la pàtria que encara no és nascuda
 com l'hem somniada sos fills!

Antoni Rovira i Virgili troba el vent a Poblet: «La setmana passada vam fer a Poblet una de les nostres freqüents visites d'amics fidels. Era un dia revolt, que és una mena de dia que ens agrada. Tota la nit anterior havia plogut al Camp de Tarragona, i els grans tambors de la tronada havien acompanyat el cop de l'aigua batent; però després la nuvolada s'havia esbargit, i per orient ja vermellejava el sol. [...] Ens agraden, hem dit, aquests dies revolts, amb pluja i sol i vent, rics d'incertitud. Mai no havíem trobat tan bell el panorama de la Conca de Barberà vist des del mirador de Poblet. Mai no havíem tro-

bat tan belles i tan joves les muntanyes de la serralada que guarda el gloriós cenobi. El mestral havia guanyat la batalla. El cel era mig blau, l'aire diàfan. Desmoralitzats, romputs, els núvols reculaven. [...] El fort vent fresc del dia s'aquietava en entrar al monestir. Per les grans obertures, la claror esclatava...»

Josep Maria López-Picó era un poeta molt urbà, no gaire propens a cantar la natura. Però tanmateix dedica al vent un poema, més aviat difícil, amb el títol de «Dia clar de vent», del qual esmento la part final:

Només del teu domini es desacostuma
al teu damunt el vent. ¿No sents el braç
del nedador gosat alçant l'escuma
dels núvols blancs a cada cop de braç?
Natació, deport del vent. Diria
que es fa tangible i relluent son cos
quan emergeix dels núvols l'harmonia
insòlita i segura del seu cos
i es desempereseix amb l'alegria
de fer del moviment el seu repòs.

Finalment, d'aquest espigoleig trio un poema amb gran hostilitat contra el vent de Clementina Arderiu, amb el títol de «Passa, vent»:

Passa, vent, cosa sinistra,
a qui et pogués mai deturar!
Tota la casa em fa trista
el teu malastruc xiular,

M'enfolleixes les colomes
allà dalt del colomar;
de l'arbre arrenques les pomes
molt abans de madurar;

i colltorces la florida
 novella del roserar;
 i esfulles la margarida
 —si vindrà, si no vindrà—

A l'hort el planter m'aplanes
 i em malmets el fonollar;
 del llibre em gires les planes
 com si em volguessin reptar.

I els papers treus de la taula
 i me'ls llences a volar.
 si el jardí tingués un saule,
 com el faries plorar!

Ni finestra ni portella,
 res no hi val, tot és en va;
 sempre et resta una clivella
 per poder-te enforinyar.

Jo a ciutat no et conceixia
 i ara m'ets tot casolà!
 véns a casa cada dia
 i entres sense tustar.

Una mica a l'atzar i refiant-me de la memòria, recullo uns quants llibres on el vent és protagonista a la portada. Així, ja el 1909 Pere Prat Gaballí publicà *Contes del vent*; Carner té dos títols de poemes ben significatius: *La paraula en el vent* (1914) i *L'oreig entre les caryes* (1920), i encara *Cop de vent* (1966). Agustí Esclasans té *Víctor o La rosa dels vents* (1931); Joan Sales va afegir en algunes edicions d'*Incerta glòria* una altra narració: «El vent de la nit», que també passà a formar part del títol de l'obra. Miquel Arimany edità *L'ombra*

del vent (1987). Marià Manent féu una segona edició ampliada de *Versions de l'anglès* que anomenà *El gran vent i les heures*: «*Versions de l'anglès*» (1983). Vicent Andrés Estellés té l'obra *Vent temporal* (1980), Baltasar Porcel la novel·la *L'emperador a l'ull del vent* (2001), Josep Albanell *Ventada de morts* (1978) i jo mateix un primicer llibre de poemes *Hoste del vent* (1949).

I no oblidem que una gran col·lecció de novel·la catalana es deia i es diu «A tot Vent» i que té com a lema «navego a tot vent».

Guerau de Liost, en un dels seus immarcescibles i poètics articles, amb el títol d'«El vent de les altures», hi fa observacions molt personals: «Fora de la mar, que no conec prou, el més bon observatori del vent és una alta muntanya no ofegada per altres. [...] De vegades el vent passa tan alt que, més que vent, sembla una ala angèlica, visible a penes en el borrisol dels nuvolets altíssims. És l'atzur que tremola del trepig de l'empiri, és un alè purament eteri. Vist d'una calma estant, la serenitat de la seva primor evoca, amb graciós paral·lelisme, l'altitud de l'altiplà en la buidor forana del món.

»Però hi ha un vent de les altures que és vent, que és nostre. Avesat a batre's amb les altes muntanyes, sap treure'n imponderables estremiments. El vent de terra baixa neteja i buida els àmbits; el vent de muntanya els envaneix magníficament. És el terrible geni familiar del bosc intacte. El seu advertiment s'insinua com el ressò d'una remor llunyana que ve, per l'aire i per terra, de més enllà de les collades. És el ressò que prepara, subtil, les vies del Senyor; és el missatger que anuncia el vent de Déu que s'atansa.»

He deixat a part el cas de Josep Pla perquè té molts textos, especialment sobre la tramuntana, i un llibre que es titula *El vent de garbí* (Barcelona, 1952), on, de la pàgina 13 a la 56, fa, com diu el subtítol, un «assaig sobre la meteorologia catalana». Hi parla de tots els vents amb detall i, partint d'informa-

cions científiques, hi afegeix la seva experiència vital d'empordanès *in totum*. Comença amb la nomenclatura de la rosa dels vents i en tres columnes ofereix els noms dels vuit vents clàssics en català, italià i grec modern. Hi trobarem alhora alguna observació evident: «Catalunya, país diversíssim, d'una varietat geogràfica literalment fascinatora, té una meteorologia molt activa, d'una complexitat paral·lela a la seva variada geografia.» I afirma que Catalunya es troba sotmesa alternativament a dos climes: l'europeu i l'africà. I fa una sentència sobre la gent de l'Empordà: «Som els conillets d'índies de la lluita entre la tramuntana i el vent de garbí. Els empordanesos som una gent esventada alternativament [...]. La cosa que ens espanta més és el tedi, l'estabilització de l'avorriment.» Cal recordar que Joan Maragall va anomenar l'Empordà «el palau del vent».

I Pla continua: «La fatalitat, el destí dels vents és bufar. Però encara que els poetes hagin utilitzat el corrent d'aire per a expressar la inconstància i la frivolitat de les passions i els sentiments, els vents no bufen pas per caprici, la direcció que segueixen no és mai atzarosa.»

En l'assaig que comentem, Pla dedica algunes planes al garbí i, per exemple, sentència: «Ha passat el temps de Carnaval, hem entrat a la Quaresma i s'ha entaulat el vent de garbí. Pot durar dies, setmanes enteres.» I l'escriptor hi descobreix fins i tot un perfum i recorda com a la Barcelona de l'Eixample el garbí hi duia una humitat greixosa i una «boirina blanca i lívida». I en fa una descripció desolada: «L'àrea habitualment dominada pel vent de garbí està caracteritzada per un grau d'humitat molt elevat, per l'empastifament de la llum i de l'aire del cel, per les migranyes humanes i per depressions malenconioses, per (a les hores de sol) una extrema suavitat de l'aire, seguida, quan el dia declina, de la projecció sobre les coses d'un tel de tristesa i d'inapetència íntima.»

Josep Pla subratlla com a l'època de la navegació a vela els mariners sabien de memòria les constàncies i les in-

constàncies dels vents. I afegeix: «Ara han perdut importància, i arribarà un moment en què, de tot això, no se'n sabrà ni un borrall.»

El gregal, o sigui vent de Grècia, en realitat ve de Provença, dels Alps i del golf de Gènova. Sembla que la paraula —*graecale*— va néixer a Sicília que els navegants imposaren i feren acceptar a les nostres latituds. I Pla pensa que el nom més genuí era Provença o les provences.

Com un ésser real, Pla ens explica l'arribada del gregal, o gargal, com es diu terra endins: «Entre les vuit i les nou (hora vella), no cal dir que parlem sempre de l'horari solar, que es veu venir de molt lluny, del nord-est, una taca verdent que camina, ràpidament, sobre el mar ensabonat, perquè les seves aigües, tot i el seu grau de salinitat, són sempre una mica grasses. El vent grec, el gregal, està a la vista.» Diu que sol durar tot el matí i sempre, afegeix, és «velejable, noble, franc [...]. Amb això el sol va pujant; arriba al zenit llavors el vent comença a cedir i a fluixejar. Toquen les dotze en el campaneret blanc de l'església i a quarts d'una el gregal cau. Es produeix un moment de perplexitat universal».

Pla, convertit en meteoròleg de l'observació minuciosa, ens parla també del mestral, un vent ben marítim i potent. Basant-se en investigacions del doctor Eduard Fontserè, l'escriptor precisa que el mestral, «corrent d'aire que segueix el vessant septentrional del Pirineu», rep altres noms, i té a França i a Catalunya uns límits precisos: «Carcassona i Narbona es troben en l'àrea genèrica del mestral; Montpeller molt menys.» I la zona de màxima violència és al Rosselló. A Catalunya, precisa, entra pels colls pirinencs de l'Empordà i es projecta sobre el mar i, si «obeeix a un sistema general de depressions, envaïx el Mediterrani occidental i pot arribar a velocitats considerables». Entre els que anomena «els parents pobres», Pla hi situa el llevant que, sorprenentment, afirma que «no és gaire corrent al nostre país». Es veu que, com a

empordanès, desconeix les llevantades de la costa i de la serra litoral i més endins, però reconeix que «és un vent molt important, lligat amb la crònica negra».

Pla no s'interessa gaire pel xaloc, que ve del *sirocco* italià. I afirma que ell i el migjorn tenen ben poca importància a l'estiu. Jo, en canvi, recordo l'ofec i l'opressió d'aquest vent al Camp de Tarragona, quan ve, de tant en tant. Pla, en canvi, subratlla l'embat molt dur de les «xalocades i les migjornades d'hivern». Passa quasi per alt el ponent, que no abunda gaire al nord de Catalunya, i que, tot i que és molt potent, dura poc.

Però el plat fort, el fenomen fascinant per a Josep Pla, és la tramuntana a la qual ha dedicat en tres llibres una dotzena de planes. Mira de definir-la a *El vent de garbí*: «És un vent que ens arriba de l'altra banda de les muntanyes. Passa, enfol·lit, per l'admirable jardí de les terres del Rosselló; entra a l'Empordà després de burirar els colls gelats del Pirineu. Ja entaulada, a la nit, es veu blanca, lleugerament blavosa l'estrella polar. S'ha d'afegir que és un vent sec en extrem, molt fi, de gran impetuositat, de buf seguit, de bona respiració. A Barcelona, dominada pel vent de garbí, els marxapeus són molls i grassos; a Figueres, quan fa tramuntana, les pedres del carrer rellisquien com una pell de serp tibant.» I Pla es plany de les destrosses que fa aquest vent, que sembla imparabile: «Arbres esqueixats, feixes devastades, desordre general. Els pèsols suaus, les orelletes de les faves tendres, la inflada coliflor, l'escarola fina i blanca i l'enciam han quedat trossejats.»

Després en descriu l'arribada: «Tant si es presenta en forma diríem casolana com sobre una escala continental, el primer que fa aquest vent és netejar d'un cop d'escombra els núvols del cel. És un vent que vol cels nets i clars. Es produeix en una atmosfera de cristall, sota d'un cel meravellósment blau, esmerilat, metàl·lic, davant d'un cel gloriós, indiferent al seu ímpetu enfol·lit. A la nit xiula i bramula sota els cels més rutilants, d'una presència estel·lar més prodigiosa que es po-

den imaginar. Sobre l'atmosfera tensa, l'aire queda com rentat, els perfils tenen una cal·ligrafia incisiva, semblen dibuixats a la punta seca. Es produeix una màgia de la claredat: els termes del paisatge se us acosten com per art d'encantament; entre els vostres ulls i el món circumdant queden eliminades totes les interferències, totes les interposicions; les coses topen en la retina d'una manera directa i acusada. És un miratge. Així mentre contemplàvem la devastació de l'hort, el Canigó semblava haver-se prodigiosament acostat. Cobert de neu, lleugerament rosada, semblava un enorme diamant; sobre les seves espatlles paquidèrmiques la geometria de les seves arestes guspirejava en lluïssors roses i blaves.» I afegeix Pla que en llocs de llacunes frebosenques i amb paràsits com l'Empordà i el Rosselló, «la tramuntana fou considerada una força higiènica i antiasmàtica».

En d'altres textos Pla fa la descripció, amb repeticions, de la tramuntana com si fos un personatge real. Així a l'home not que va escriure de Salvador Dalí, diu que la tramuntana, que domina, «produeix sobre aquest pla una volta de cel neta, vastíssima, enorme, i un aire pur, cristal·lí, d'una prodigiosa claredat. A la Provença, amb el mistral [sic] com a vent dominant; a les comarques castellanques esventades pel *cierzo*, es produeix el mateix fenomen de volta de cel amplíssima i de puresa aèria de diamant. Els cels de Castella són cels, però de muntanya. A l'Empordà, en canvi, aquests cels es donen sobre el mateix nivell del mar i, per tant, en un paisatge d'una botànica molt més rica, molt més delicada, més elegant». I aclareix: «L'Empordà és climatològicament parlant, la cua de la meteorologia europea. Es troba en la frontera mateixa del clima continental i del clima africà del llevant peninsular.»

A l'obra pòstuma *Escrits empordanesos* (Barcelona, 1989), hi ha un capítol de quatre planes amb el títol de «Suplement al clima: les tramuntanes». Hom hi trobarà referències, per exemple, al mestral i en diu «que té cara de fu-

riós, de venjatiu, de desesperat». I hi fa una típica recomanació planiana: «Si s'entaula aquest vent, no sortiu creieu-me, de casa; no us mogueu de prop del foc, enlliteu-vos escalfats i deixeu que la naturalesa s'esbravi.» Cal humiliar-se, doncs, davant el vent. I ens explica que per una Pasqua va haver-hi una mestralada que va espantar els nouvinguts: «Quina cara que feien els turistes, sense roba, vestits de primavera, morts de fred! [...] A les cases no hi havia ni brases ni fum. Quan vingué la nit, es trobaren que no hi havia abrigalls al llit, i encara patiren més. Tot era d'estiu [...]. El palau del vent —però sense palau, naturalment.» Sorprenentment en aquest text Pla parla ben poc de la tramuntana. Tanmateix al·ludeix a les provences, «que són el parent pobre del mestral», concreta. I diu que els altres vents del país «són més aptes a deixar que els pescadors i afeccionats s'hi guanyin la vida».

Com a colofó a *El vent de garbí*, l'escriptor vota per un vent, aquell que dona un segell esventat als empordanesos, i escriu: «De tota manera, establerts tots aquests principis de meteorologia ideal, merament somniada, si em preguntéssiu: “Què preferiu, el vent de garbí o la tramuntana?”, no m'hi pensaria ni un moment; diria: “La tramuntana!” Per fer entendre la meua posició davant d'aquest contrast diré que prefereixo a un dia de vent de garbí cinc dies de tramuntana.»

ELS VENTS I LA CULTURA POPULAR

Encara que la rosa dels vents ens ofereix només vuit noms, les denominacions populars es multipliquen. Ja el 1914 mossèn Antoni Griera en el seu recull «Els noms dels vents en català» (*Butlletí de Dialectologia Catalana* [Barcelona], II [juliol-desembre 1914]) va aplegar prop de quatre-cents noms diferents a través d'una enquesta molt selectiva, feta arreu de les terres de parla catalana, incloent-hi Andorra, però sense la

Catalunya del Nord. En la meua recerca exhaustiva per disset comarques del Principat del sud, n'hi puc afegir uns cent cinquanta noms més. De fet he publicat l'estudi de setze comarques: el Baix Ebre, el Baix Llobregat, el Barcelonès, la Conca de Barberà, el Camp de Tarragona, el Maresme, el Penedès, el Priorat, la Ribera d'Ebre, el Solsonès, la Terra Alta i el Vallès Occidental. Mentre «deixebles» meus ho han fet també a l'Alt Empordà, l'Anoia, el Bages i el Montsià, però tenim altres comarques on l'enquesta és en curs d'elaboració.

Com remarca Manuel Sanchis Guarner a *Els vents segons la cultura popular* (1952): «Cal no oblidar tampoc que en la saviesa popular mai no manquen les confusions ni àdhuc les creences errònies.» Fins en comarques properes vents iguals reben denominacions diferents. Hi ha vents genèrics com de dalt, de baix, del coll o de l'afrau, per exemple, que s'ha de destriar en cada cas d'on vénen. I alguns de locals, que de primer cop d'ull no s'endevinen: el favarol, que ve de Favara; el clicantó, de Sant Climent de Llobregat o el canareu, d'Alcanar. D'altres són humorístics, com Marieta del Portús (un nom de la tramuntana), Joanet de Prades, al Camp de Tarragona (també sobre la tramuntana), Jan de França, Jan de Narbona o Marieta de França, igualment tramuntanals, i ho diuen a l'Empordà, Gavatx, etc. O bé pelacanyes o matajaies.

L'anomenada «areologia» és molt important entre els mariners i el vocabulari difereix força del dels pagesos. Grieria remarca que hi ha molta uniformitat en les denominacions que s'empren al litoral català.

Trobem algunes corrandes que per llur gràcia popular mereixen ser citades:

Mariner, tu que pretens
de bon cap i glossador:
me vols fer una cançó
que anomeni tots els vents?

Aquesta és balear i té una resposta en un refrany rimat:

Llevant, xaloc i migjorn,
llebeig, ponent i mestral,
tramuntana i gregal,
vet aquí els vuit vents del món.

I un altre poema popular, valencià, que mereix ser subratllat:

Sols voldria ser un moment,
ponent;
si el ponent té massa foc,
xaloc,
per arribar més enjorn,
mitjorn;
si el migjorn té massa sal,
mestral;
per ser més fresquet i fi,
garbí;
i si el garbí és massa lleig,
llebeig.

I encara a Vinaròs s'ha recollit una bella corrandà amb regust americà:

Donaria un potosí
només per tornar-me un poc
ponent, tramuntana o garbí,
llebeig, mestral o xaloc.

Repassem des de l'angle popular d'altres vents com el gregal, pronunciat així i no gargal, molt propi del litoral i les illes i que a Osona s'anomena arbonès, i albornès entre els

mariners valencians. I encara provençal, provença o vent gavaitx, ja que ve del mateix indret. Com que és nord-est, a l'interior s'anomena berguedà o ripollès. Hi ha una dita, aplicada també a mitja dotzena d'altres vents que fa: «Vent ripollès, no plou ni aclareix, però quan s'hi posa s'hi coneix.» Joan Amades, que ha treballat la matèria en el seu llibre *Astronomia i meteorologia populars* (segona edició, Tarragona, 1993), ens ofereix un altre refrany: «Vent grec, pluja al bec.» Però és dolent per a caçadors i pescadors; així: «En gregal, ni peix, ni pardal», diuen a València.

El llevant és el més popular a la majoria de les comarques perquè duu la benèfica pluja. Ve del mar per on s'aixeca el sol, però a l'Urgellet s'anomena vent de Cerdanya i a l'Alta Ribagorça, vent de Catalunya. És famosa la dita: «Llevant, aigua endavant.» I encara és popular en gran part de Catalunya una corrandà amb variants:

Ponent té una filla
casada a llevant,
que quan la va a veure
se'n torna plorant.

29

El xaloc hem vist que és propi de la costa catalana i de les Balears; a la Catalunya continental és la marinada; a la Ribera d'Ebre, el garbí. És «càlid, humit, polsegós». Ve del Sàhara i és calent, però a l'interior la marinada refresca i permet ventar el blat o l'ordi. A la costa és mal vist, per això a Mallorca sentencien: «Dia de xaloc, mar molta i peix poc.»

El migjorn ja hem vist que no dura gaire i ve poques vegades. En algunes contrades es confon erròniament amb la marinada o el garbí. A l'Empordà diuen: «Migjorn, pluja dejorn», però en les meves recerques he descobert que és gairebé desconegut a l'interior de Catalunya. Per exemple, al Solsonès ni me'l van anomenar, igual que al Vallès Occidental o al Bages.

El garbí, prou estudiat per Pla, no es troba a les Balears i també se'n diu llebeig i en algunes comarques de l'interior, les que alguns diuen «lleidatanes», potser erròniament s'anomena morella i acostuma a ser fred: «Morella no et fiïs d'ella.»

El mestral, del qual ja hem tractat, és propi del litoral pancatalà i de les illes. Sanchis diu que ve de *magister*. També s'anomena cerç cap a les terres de l'Ebre i a muntanya, hem vist, que és berguedà o pallarès; a la Terra Alta és vent d'Aragó, per això hi ha la dita: «Ja bufen los aragonesos.» Curiosament Sanchis no el fa sinònim del serè, com és habitual, sobretot al Camp de Tarragona, al Priorat, a la Conca de Barberà, o fins a l'Urgell, etc. El mestral neteja el cel, però al Baix Ebre o al Segrià anuncia pluja: «Vent d'Aragó, aigua al balcó», diuen a la Ribagorça.

El ponent, que és menys anomenat del que sembla, té una dita tòpica: «De ponent, ni vent ni gent.» Al Penedès és segarrès i al Moianès, segarrenç. A l'Urgell el temen: «Vent de ponent, vent de la fam.» En canvi, en algunes comarques duu pluja: «Després del ponent, ronca el torrent.»

De la tramuntana, força estesa pel nostre territori, se n'ha parlat a bastament, però hi afegirem un parell de citacions: «Mestre [mestral] i tramuntana en s'hivern, troben es diables de s'infern.» I també: «Tramuntana no té abric i home pobre no té amic.» Tot i els entusiasmes de Josep Pla, a Cadaqués fan: «Tramuntana, vent de gana.»

No fóra oportú de continuar amb una rastellera de vents després dels que han estat comentats per alguns escriptors o per la saviesa popular. Però sí que vull donar un tast dels que tenen un caire humorístic. Així, segons Amades, Joanet dels Ventalls es deia a Badalona; la Carmeta és una denominació de la tramuntana; o també el tarragoní per la segona part de la dita que fa: «Ni aigua, ni vi, ni res per a collir.»

D'altres revelen efectes nocius sobre les collites, talment rebentacups (Sant Pere de Ribes), que és el gregal. El de la fam,

de la gana o de la palla curta ve, generalment, a la primavera i no deixa granar. Igualment el matablats, matafesols, a Osona, o arrasatermes al Priorat; aixecateules a pobles de l'Anoia; cigroner, a Begues, o fins i tot el de quaresma, una mena de gregal o de migjorn que és perjudicial. El buidasacs, que es troba en comarques distants, és una metàfora per dir que el vent migrarà la collita i el sac no s'omplirà. N'hi ha un de curiós a Vilanova i la Geltrú, el menjavents, que vol dir que el xaloc es menja el mestral.

Cal subratllar que en un recull de meteorologia popular de Lídia Cruzet, Mireia Custey i Sònia Peitavi, hi trobem quaranta noms diferents sobre la tramuntana, alguns d'origen geogràfic i d'altres d'inventats.

Finalment, vull fer constar, com insinuava al principi, que aquest treball és només una aproximació superficial a una qüestió que mereix molts altres estudis, tesines i fins i tot tesis. No en va, el vent és un dels reis de la creació.



SOCIETAT CATALANA

DE FILOSOFIA

L'*AIRE* EN LA GRÈCIA CLÀSSICA,

A CÀRREC

D'ANTONI BOSCH-VECIANA,

DE LA UNIVERSITAT RAMON LLULL

1. INTRODUCCIÓ

L'Institut d'Estudis Catalans ens ofereix un cicle de conferències sobre un dels problemes més complexos i preocupants del nostre present: «L'aire i el medi». Aquest cicle és el darrer dels cicles que, en aquests últims anys, l'Institut d'Estudis Catalans ha volgut dedicar als quatre elements. La Societat Catalana de Filosofia ha estat convidada a participar-hi i ho ha volgut fer, en aquesta ocasió, amb la mirada posada en la Grècia clàssica, això és, amb la mirada posada en *un* dels estrats més profunds del pòsit cultural i espiritual del Vell Continent. Per això, en aquesta exposició, abordarem allò que els *grecs* —alguns d'ells— digueren sobre l'*aire*. Ells, *els grecs*, iniciaren la reflexió sobre l'*aire* i ens hi volem referir en aquesta nostra exposició. Els textos que en conservem parlen de moltíssimes coses i parlen, també, de l'*aire*. Són textos que el senten, són textos que el pensen. Ells, *els grecs*, sentiren la força d'aquell element de la naturalesa que és brisa i vendaval, que fa suau el repòs del migdia i posa en perill la vida a alta mar. L'*aire*, llegit amb tota la intensitat de què els seus sentits en foren capaços, fou també pensat per aquells que, veïns de casals hel·lens, solcaren el mar de Posidó i fatigaren la deessa Terra (cf. Sòfocles, *Antígona*, 332-375).

Els textos que dels grecs conservem conformen un autèntic *corpus* literari en el qual no sols trobem pinzellades literàries sobre la força de l'*aire* i fragments de reflexió matissada sobre el que és considerat l'origen i fonament de tot i del tot, sinó que també topem amb un pensament reposat sobre la relació entre l'*aire* i la constitució del món i de l'ésser humà. Els grecs, en llegir la vida que tenien al seu davant, bo i vivint-la, es veieren empesos a forjar un llenguatge que expressés els matisos de la seva mirada. De l'*aire*, en feren una mirada plural de realitats diverses aplegades sota la força d'aquest element natural. La seva mirada sobre l'*aire* il·luminà la seva

intel·ligència sobre el món i sobre l'ésser humà que viu en aquest món. Nosaltres volem referir-nos ací a aquella mirada grega sobre l'*aire*, aquella mirada terminològicament i semànticament matisada, que trobem dispersa en el ric i desbordant llegat literari dels temps hel·lènics.

En aquesta exposició només ens referirem a alguns autors i a alguns textos de la literatura grega. Aquests autors i aquests textos són tan sols un tast de l'abast conceptual que els grecs donaren a l'*aire* i, així mateix, una mostra de la riquesa de la seva mirada. Amb això esperem poder posar en relleu el valor que l'*aire* tingué en la cultura clàssica grega —i en l'univers quotidià hel·lènic que aquella cultura ens transporta— i, també, la riquesa de matisos que el camp terminològic i semàntic d'*aire* anà cobrint en aquells segles de l'antigor hel·lènica. A través de la consideració de la complexitat conceptual de la terminologia i la semàntica gregues referides a l'*aire*, ens serà enraonat fer palès com per als grecs l'*aire* no fou tan sols un element natural exterior a la vida humana —l'*atmosfera*—, sinó que l'*aire* fou comprès, igualment, com una cosa que pertanyia a l'interior mateix de l'ésser humà: l'*esperit*, que fa de l'home un vivent capaç d'apropar-se i endinsar-se, a través del pensament i la paraula, en l'àmbit més pregon de la realitat, ja sigui amb el llenguatge de la poesia, amb el de la ciència, sempre incansablement vorejant el llinard *indicible* de la realitat.

2. EL VOCABULARI GREC DE L'*AIRE* I ELS SEUS DERIVATS

El llegat literari grec, vist des del nostre present, ens permet destriar la riquesa del vocabulari amb el qual els grecs es referiren a l'*aire*. Així, si fem una breu ullada a aquell *corpus* literari, trobem una colla de termes que tenen a veure amb l'*aire*. La paraula amb la qual els grecs anomenaren genèricament

l'*aire* —i que més s'aproxima al sentit d'aire' donat en aquest cicle— fou ἀήρ.¹ El primer ús del terme ἀήρ no té, però, encara el sentit genèric d'aire', sinó el sentit de 'boira'. Així Homer l'usa totes les vegades (28×) en aquest sentit de 'boira'. El trobem, per posar tan sols un exemple, en el llibre de la *Iliada* V, 776:

Hera, la dea dels braços blancs, sos corsers aleshores
féu parar, els deslligà i amb boires espesses (περὶ δ' ἠέροα
πουλὸν)
va embolcallar-los. Un past diví el Simoent els féu créixer.
(Trad. de Miquel Peix)²

També trobem aquest ús del terme ἀήρ com a 'boira' en Hesíode. Per exemple, en *Els treballs i els dies*, 549:

I la boira matutina (ἀήρ) s'estén fertilitzant des del
cel per sobre la terra cobrint els conreus treballats dels ho-
mes feliços.
(Trad. de Joan Castellanos)³

Més endavant, en el segle VI aC, Anaxímenes de Milet, un dels grans pensadors de l'anomenada escola de Milet, se

1. Seguim en aquest punt H. G. LIDDELL, R. SCOTT i H. S. JONES (1968), *A Greek-English Lexikon*, amb un suplement editat per E. A. Barber, 9a ed., Oxford, p. 30 (*sub voce* ἀήρ). Vegeu, també, A. BAILLY (1992), *Dictionnaire grec-français*, redactat amb la col·laboració d' Egger, 26a ed., París, p. 33 (*sub voce eadem*).

2. Ens servim de les següents traduccions catalanes dels textos homèrics: la *Iliada* (1978), traducció poètica de Miquel Peix, Barcelona, Alpha; l'*Odissea* (1993), novament traslladada en versos catalans per Carles Riba, Barcelona, La Magrana. Per a una excel·lent introducció a Homer, vegeu C. MIRALLES (2005), *Homer*, Barcelona, Empúries.

3. Seguim la traducció catalana següent: *Teogonia: Els treballs i els dies* (1999), introducció, traducció i notes de Joan Castellanos, Barcelona, La Magrana.

servirà del terme *ἀήρ* (*aire*) per a referir-se a l'element constituït de tot. Així, en un fragment d'Aeci (s. IV-V dC) llegim:

El milesi Anaxímenes, fill d'Eurístrat, va declarar que el principi de les coses existents és l'aire (*ἀήρ*) perquè d'ell s'engendren totes les coses i en ell es dissolen.⁴

També Empèdocles d'Agrigent, en el segle V aC, fa servir el terme *ἀήρ* en el sentit igualment d'aire⁵, entès com un dels elements del tot. Segons Aristòtil, fou Empèdocles el primer que parlà dels quatre elements materials constituïts de tot (cf. *Metafísica*, 985a31).

En el mateix segle V aC trobem en el terme *ἀήρ* el sentit de 'clima'. Aquest seria el cas del *Corpus Hippocraticum*, en el tractat intítulat *Aires, aigües i llocs*, on cal llegir el substantiu *aires* en el sentit de 'climes'.

Més endavant *ἀήρ* tindrà el sentit d'«exhalació». Per exemple, en el geògraf Estrabó, del s. I aC-I dC (cf. *Chrestomathiae* 5, 4-5).

Un altre sentit d'*ἀήρ* és el que recull el comediògraf Aristòfanes (s. V-IV aC): el d'«aire personificat». Vegeu, a tall d'exemple, *Els núvols*, 264:

Oh senyor totpoderós, Aire immensurable,
(ἀμέτρητ' Ἀήρ) tu que sostens la terra enlairada.⁵

(Trad. de Mercè Valls)

També el terme *ἀήρ* abraçà tot un altre camp semàntic: el d'«habitació escalfada amb vapor d'aire calent» —el que avui en diem *sauna*— que tenien els banys en l'antigor, tal

4. Sempre que no hi hagi cap altra indicació, la traducció que donem és nostra.

5. Seguim la traducció catalana següent: *Els núvols* (1994), introducció, traducció i notes de Mercè Valls, Barcelona.

com ens refereix el metge Galè (s. II dC) en les seves obres (cf. vol. 11, p. 14 de l'edició de C. G. Kühn).

Igualment el terme significà més endavant 'volum', tal com ho llegim en el mecànic Hero (s. II-I aC?) en la seva obra *Stereometrica*, 57.

Finalment, el terme ἀήρ prengué encara un altre sentit, el d'un pigment, de color *blau* i *gris*. Podem trobar aquest significat en el mateix Hero, en la seva obra intitolada *Automatopoetica* (cf. 28, 3).

A més del terme ἀήρ, hi ha en grec altres termes que podem situar dins del mateix camp semàntic, amb els matisos pertinents. En aquest sentit cal esmentar termes com ara πνοή ('boira', 'alè', 'respiració'), ἄνεμος (vent), ἄηρα ('buf', 'ràfega'), αὔρα ('buf', 'brisa', 'aire'), ψυχή ('buf', 'alè', 'vida', 'ànima', etc.) i πνεῦμα ('buf', 'vent', 'alè', 'exhalació', 'vida', 'esperit', etc.), i d'altres de menys relleu, tots termes ben documentats. No cal parlar de la importància que tota aquesta terminologia tingué no sols a Grècia, sinó en totes aquelles cultures que es veieren fecundades per la Grècia clàssica.

Els lligams semàntics que en els orígens grecs de la nostra cultura —i la de tantes altres, ben cert— hi ha entre *aire*, *vent*, *clima*, *vida*, *ànima* i *esperit* no poden deixar-se de banda en la consideració de l'*aire*, perquè mostren que en els orígens hi ha una mútua fecundació entre el que forma part de l'exterior i el que constitueix l'interior del món i de l'ésser humà. Ja en aquests vincles terminològics s'entreveu la impossibilitat de llegir reductivament l'*aire* com a constitutiu tan sols de la vida biològica, sense tenir present la força constitutiva d'una vida també psíquica i espiritual. La vida, d'acord amb la comprensió que se'n feia a la Grècia clàssica, està lligada a la realitat total del món: el món —i l'home en aquest món— és comprès des d'una pluridimensionalitat dinàmica i fecundadora de l'*aire*, que és vida, ànima i esperit del món i de l'ésser humà en harmonia amb aquest món.

3. ULISSES I EL REGAL DIVÍ DELS VENTS A L'ILLA EÒLIA

En Homer ja hem dit que el terme *ἀήρ* s'usa en el sentit de 'boira'. El terme que fa servir per a dir 'aire' és *ἀνεμος* que, a voltes, va acompanyat de *πνοινή* (*respir*) i, normalment, se li dóna el sentit de 'vent'. Així, llegim a *Odíssea* IV, 839:

[...] es va fondre dins el respir dels vents (ἐν πνοιῶς ἀνέμων).

(Trad. de Carles Riba)

Ulisses, a l'*Odíssea*, coneix prou bé el que *els vents* signifiquen per a la vida d'un navegant, sobretot quan aquest està a la deriva i no pot deixar de lluitar, per arribar a casa, enmig d'aquelles onades ingents i d'aquells vents que embravien la mar. Allí, a casa, l'esperen, de temps, la seva esposa Penèlope, el seu fill Telèmac i tots els del seu casal d'Ítaca. Perdut enmig d'una mar tempestuosa, atida per la venjança de Posidó, Ulisses i els seus companys saben de la necessària força dels vents per empènyer la nau; altrament, llurs braços, cruixits i fatigats en aquella lluita esgotadora, no garantien el retorn anhelat. Perquè els navegants d'aquelles mars sabien prou bé que: o vents o remes.

La lectura de la poesia homèrica continguda en la *Ilíada* i l'*Odíssea*, aplegada en un total de 27.700 hexàmetres, ens permet contemplar les peripècies d'aquells herois i d'aquell univers de relacions humanes esdevingudes en un món on els quatre elements mostren tota la seva força, atiat pel conflicte que s'hi esdevé. L'aigua, el foc, la terra i l'aire són presents tot al llarg dels versos, dels que canten «la ira funesta d'Aquil·les Pelida» (*Ilíada* I, 1) i dels que contenen Ulisses, «aquell home de gran ardit, que tantíssim / errà, després que de Troia el sagrat alcàsser va prendre» (*Odíssea* I, 1-2). El lector llegeix tothora immers en els quatre elements, els quals

esdevenen, ben mirat, el canemàs on la tradició homèrica teixí aquelles èpiques irrepetibles.

Així per exemple, en l'*Odissea*, una obra poètica gegantina,⁶ trobem innombrables escenes on el foc, l'aigua, l'aire i la terra són imatges per al cant dels hexàmetres. Els quatre elements hi apareixen sovint amb violència. Només al final, en l'arribada d'Ulisses al seu casal, a Ítaca, la pàtria plorada, havent combatut i mort els pretendents, i havent estat reconegut i estimat per Penèlope, només llavors, abraçat amb la seva dona, els seus i la pàtria, s'esdevindrà l'inici d'una pau regalada. En el final de l'*Odissea*, Atenea diu a Ulisses (*Odissea* XXIV, 542-548):

Raça de Zeus, Laertíada, en ginys tan fètil, Ulisses!
Para't i atura el procés d'una guerra entre tots igualada:
no et concitessis l'enuig del Crònida Zeus que al lluny mira

Deia Atenea; i l'heroi obeí i s'alegrà en el seu ànim.

I acabat establí concòrdia dels uns amb els altres
Pal·las Atenea, filla de Zeus que l'ègida porta,
tota a Mèntor semblant pel tirat del cos i la parla.

(Trad. de Carles Riba)

Només a Ítaca Ulisses ha retrobat el seu món i, finalment, allí, quan ell hi és present, en el retorn al casal, imperarà la concòrdia. Sense ell, Ítaca havia perdut l'harmonia. Ulisses

6. El professor Carles Miralles, en el seu molt recomanable llibre sobre *Homer*, ha escrit: «Mai els versos d'un poema, l'ofici d'un poeta, s'han adequat tant i tant a la natura del seu heroi com això s'esdevé en l'*Odissea*. I mai un heroi ha representat tant com Ulisses l'experiència humana: de Sòfocles a Riba, passant per Dante i Joyce; fins als nostres dies. No únicament en literatura; també en les arts plàstiques, en la música i en el cine.» C. MIRALLES (2005), *Homer*, p. 155.

esdevé el símbol de l'harmonia d'Ítaca, la casa dels seus, el seu casal, el seu món, aquell món que els pretendents havien volgut rompre. El món que hom s'ha construït amb la lentitud dels anys i l'esforç d'un treball de joventesa incansable, aquest món és el que dona estabilitat i perdura. Només l'enginy i el treball que, amb habilitat i intel·ligència, endrecen l'espai fan d'aquest un món autèntic, un món de vida. La lluita dels elements, que és el que la *Ilíada* i l'*Odissea* ens mostren, porta el perill i la destrucció, fins a la mort. La pau i la concòrdia entre els homes va acompanyada de la pau dels elements. La pau dels elements és signe visible de la pau entre els homes.

Respecte de l'*aire*, i sense moure'ns de l'*Odissea*, voldríem no deixar de banda un episodi ben interessant per al nostre propòsit. En referim al que se'ns diu en el capítol X. En efecte, en el capítol X de l'*Odissea*, s'hi canta l'arribada d'Ulisses i els seus companys a l'illa Eòlia, on habitava Èol, el fill d'Hipotes, «amable als déus que no moren» (X, 2). Era una illa flotant, encerclada per un mur de bronze infranquejable. Ulisses pot accedir-hi i així conversar amb el divinal Èol, a qui conta el seu malaurat viatge. Havent escoltat com Ulisses li demana la ruta per retornar a casa i després de pregar Ulisses que Èol l'encarrili cap a Ítaca, Èol li ofereix el regal dels vents (*Odissea* X, 19-28):

I vet aquí, fa un sac amb la pell d'un brau de nou herbes,
dins el qual empresona les rutes dels vents bramulosos
(βυκτάων ἀνέμων);
car intendent dels vents (ταμίην ἀνέμων) és el càrrec que
té del Croníon,
perquè faci amainar o abrivi, d'ells, el que vulgui.
Èol em dona aquest sac i dins el buc del navili
ve a fermar-lo, nuat amb un fil esplèndid de plata,
ben estret, que no deixi escapar ni una mica de brisa
(παραπνεύσει).

I m'envià llavors l'alè de ponent (πνοῖν Ζεφύροου),
perquè ens dugui,
els vaixells i la gent; però no ens ho havíem de veure
complert, que havia de perdre's la nostra mateixa
oradura.

(Trad. de Carles Riba)

El divinal Èol ha regalat *el vent* a Ulisses, embotit en la pell d'un grandió brau. El foc fou Prometeu qui el robà als déus i per aquest robatori fou castigat. Aquí, en l'*Odissea*, són els déus que regalen els vents a l'home, a Ulisses. Ell és qui necessita de la força dels vents per arribar al seu món d'Ítaca. Però els vents són una força que pot ser benèfica o malèfica. Seran l'orgull humà i l'enveja els que s'excediran. Aquell regal divinal esdevindrà un càstig segur. Era un regal enverinat. Els companys d'Ulisses, quan ja eren just a tocar de casa, a les costes d'Ítaca, pensant-se que aquella pell de brau contenia el botí preuat que Ulisses s'havia endut de Troia, en el moment que el son atrapà Ulisses, obriren el sac de pell de brau. Tots els vents s'escaparen huracanadament d'aquell continent ben nuat i arrossegaren la nau i els companys lluny de la pàtria, a Eòlia un altre cop (*Odissea* X, 47-55):

Deslligaren el sac; i tots els vents (ἄνεμοι) s'escaparen
i arrabassant-nos de sobte, ens portava de nou mar enfora
el bufarut (θύελλα), i ploraven, veient que la pàtria els
fugia.

Jo em desperto llavors i en mon cor sense tara debato
si del vaixell tirar-me i de finir d'un cop dins al pèlag,
o en silenci patir i entre els vius encara romandre.
Vaig aguantar, però, i cobrint-me el cap, vaig ajeure'm
dins el buc del vaixell. I el mal bufarut va portar-nos
altra vegada a l'illa d'Eòlia; i ma gent es planyia.

(Trad. de Carles Riba)

Ulisses, que sabia dels vents que contenien el sac, hauria administrat amb una intel·ligència provada aquell regal divinal i hauria procurat conduir el vaixell a bon port. Els companys, per la seva desconfiança, trencaren l'harmonia dels vents i, desfermats en desordre, van, una altra volta, navegar a la deriva. El vent desfermat, el bufarut violent, castigà màstils i veles, i, amb ells, tots els homes d'aquella barca. Només un vent suau hagués pogut retornar els navegants al seu port: Ítaca, aquella Ítaca tot just entrellucada en aquell moment de desgràcia viscuda.

4. EL PRIMER PENSADOR SOBRE L'AIRE: EL FRAGMENT DK-B2 D'ANAXÍMENES

D'entre els fragments considerats autèntics, trobem un fragment d'Anaxímenes que Aeci, del s. IV-V dC, ens ha fet arribar en la seva obra *Recopilació de les opinions dels filòsofs*, obra en bona part perduda.

El fragment que ens ha arribat fins a nosaltres diu així:

El milesi Anaxímenes, fill d'Eurístrat, va declarar que el principi de les coses existents és l'aire (ἀήρ) perquè d'ell s'engendren totes les coses i en ell es dissolen. Així com la nostra ànima, diu, en ser aire ens manté units, així l'alè, l'aire, abraça tot el cosmos (pren per sinònims «alè» [πνεῦμα] i «aire» [ἀήρ]).

La filosofia milèsia ens és prou coneguda. La reflexió que ens ofereix sobre l'ἀρχή (això és: el principi, l'origen i el fonament de tot) suposà un pas endavant en la consideració de la realitat, un pas en la comprensió racional de la realitat última: el *tot* (τὰ πάντα). Amb Anaxímenes i els seus predecessors milesis assistim a un canvi lent de mentalitat: d'una ma-

nera de llegir el món que acostumem a anomenar *mítica* es passa a la consideració *racional* del món. La recerca de les causes de tot i del *tot* es fonamenta en les coses mateixes i no en causes extrínseques que expliquen míticament el món. Les coses i els esdeveniments són intel·ligibles a la raó humana. Aquest *ser* de les coses constitueix la seva *naturalesa*, la seva φύσις. Aquesta φύσις és el que la raó humana vol penetrar i comprendre. Els primers filòsofs grecs, els milesis, ens han deixat la seva intel·ligència d'aquesta φύσις del *tot*. Tales de Milet la comprenia com a *aigua*, Anaximandre, el seu deixeble, com a ἄπειρον, això és: com l'*Infinit*. I Anaxímenes, deixeble d'Anaximandre, la interpreta com a *aire* (ἀήρ).⁷

Per a Anaxímenes, ho acabem de dir, la realitat de les coses, la seva φύσις és ἀήρ, *aire*. Ell explicarà la formació de les coses a través dels processos de condensació i de rarefacció de l'aire, a partir dels qual en neixen, per condensació, els núvols, l'aigua i la terra, i, per rarefacció, el foc. Així doncs, dels quatre elements constitutius del món, l'*aire* té una particular primàcia perquè se n'engendren els altres tres, i dels quatre tota la realitat.

Però el que és remarcable del fragment d'Anaxímenes és sobretot la comparació que estableix entre el món i l'home. És en comprendre l'ésser humà que anàlogament es comprèn el món: «així com la nostra ànima, diu, en ser *aire* ens manté units, així l'*alè*, l'*aire*, abraça tot el cosmos». I afegeix Aeci en el fragment que hem recollit: «pren per sinònims “alè” [πνεῦμα] i “aire” [ἀήρ]». L'ànima és *aire*, i per això manté la unitat del nostre ésser. L'ànima invisible que habita en el nostre interior, com a aire, dóna cohesió i sentit al ser de l'ésser humà. Igualment com la nostra ànima ens vivifica i ens permet ser,

7. Cf. R. GOULET (1994), «Anaximène de Milet», a *Dictionnaire des philosophes antiques*, I, París, Centre National de Recherche Scientifique, p. 195.

així mateix hi ha en el cosmos una ànima que és l'aire o el *pneuma*. Ἄηρ i πνεῦμα apareixen —ens ho adverteix Aeci— com a sinònims. El fragment d'Anaxímenes resulta interessant per moltes raons, però sobretot ens dóna el sentit d'una interioritat invisible que dóna cohesió a l'existència tant de l'ésser humà com del món. Ni l'ésser humà ni el món tenen consistència sense aquest *alè* interior (πνεῦμα, esperit) que els dóna sentit i existència en unitat indivisa amb el que és exterior i material, visible i palpable: l'aire (ἀήρ).

Hi ha en l'origen de la reflexió filosòfica sobre l'aire una intel·ligència del caràcter *fonamental i fundant* de l'aire. I en aquest caràcter *fonamental i fundant*, s'hi expressa una unitat del *tot*, que el text d'Aeci formula com a *sinonímia*. Aquesta unitat relliga l'ἀήρ i el πνεῦμα. Només una intel·ligència que compregui aquesta *unitat primigènia* comprendrà el *sentit* del *tot*. Aquesta és la lectura que de l'aire ens brinda Anaxímenes, en els inicis del pensament filosòfic occidental.

45

5. EMPÈDOCLES I LA DOCTRINA DELS QUATRE ELEMENTS-ARRELS

Empèdocles d'Agrigent,⁸ nascut en el segle V aC, un home d'una vida carregada d'anècdotes, sovint apòcrifes, és conegut com el primer dels filòsofs anomenats *presocràtics* que parla dels quatre elements: el foc, l'aire, l'aigua i la terra. De fet, literalment en els seus textos no parla d'*elements* (στοιχεῖα), sinó d'*arrels* (ῥιζώματα), de les *arrels* que constitueixen totes les coses. Ell sosté que no hi ha transformacions ni naixement de res: res prové de res sinó que tan sols es donen combinacions d'aquelles *arrels* de què tot està constituït. Tot no és res més que

8. Cf. A. MARTIN i R. GOULET (2000), «Empédocle d'Agrigente», a *Dictionnaire des philosophes antiques*, III, p. 66-88.

combinacions d'aquelles quatre arrels, corpuscles petitíssims, que es troben en totes les coses i que constitueixen l'ἀρχή del món. Un gran hel·lenista, Werner Jaeger, en el seu interessant estudi sobre la teologia del primers filòsofs grecs,⁹ sosté que en l'obra d'Empèdocles, intitolada *Purificacions* (Καθαρμοί), ja hi trobem formulada aquesta doctrina que correntment es coneix com la doctrina dels quatre elements.

Diògenes Laerci ens transmet el testimoni segons el qual Empèdocles formulà amb noms divins aquesta doctrina. Vegem el text de Diògenes Laerci:

La doctrina [d'Empèdocles] és la següent: Els elements (ἑζώματα) són quatre: foc, aigua, terra i aire; hi ha l'Amor, pel qual s'uneixen, i la Discòrdia, per la qual se separen. Diu així (fr. 6,2-3):

«Zeus resplendent, Hera, de vida portadora, Aidoneu, Nestis, que amb les seves llàgrimes amoreix el brollador mortal».

El foc l'anomena Zeus, la terra Hera, l'aire Aidoneu i l'aigua Nestis.

«I aquests elements —diu (fr. 17, 6)— mai no interrompen el canvi incessant», com si aquesta ordenació fos eterna.

I encara afegeix (fr 17, 7-8):

«Adés per Amor totes les coses s'apleguen en l'u, adés cada una és emportada en distintes direccions per l'odi de la Discòrdia».¹⁰

(Trad. d'Antoni Piqué Angordans)

9. W. JAEGER (1977), *La teología de los primeros filósofos griegos*, Mèxic, Madrid i Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, p. 144.

10. DIÒGENES LAERCI (1988), *Vides dels filòsofs*, 2, traducció i edició a cura d'Antoni Piqué Angordans, Barcelona, Laia, p. 135 (= DIÒGENES LAERCI, *Vides dels filòsofs* VIII, 76).

En aquesta doctrina, els quatre elements s'uneixen i mantenen la seva unitat gràcies a la força de l'Amistat (Φιλία). Per contra, a causa de l'Odi (Νεῖκος) que causa discòrdia, els elements se separen. Així doncs, qualsevol canvi no és res més que una dissociació o una combinació nova d'aquestes partícules-arrels que constitueixen totes les coses.

Respecte de l'aire atmosfèric cal reconèixer que Empèdocles fou el primer que n'afirmà, amb un experiment, l'existència i la independència. En efecte, ens refereix Empèdocles que si submergim una clepsidra dins l'aigua, tapant amb el dit l'orifici superior, veurem com la clepsidra no s'omple d'aigua a través de l'orifici inferior. Això, sosté Empèdocles, és degut a l'aire que està en l'interior de la clepsidra quan aquesta és tapada amb el dit.¹¹

La doctrina dels quatre elements d'Empèdocles sembla que va donar lloc a una escola de medicina grega. Aquesta escola tenia el nom de Filistió. Segons Empèdocles, cadascun dels quatre elements o arrels té una propietat: el foc té com a propietat la calor; l'aire, el fred; l'aigua, la humitat, i la terra, la sequedat. Aquella escola mèdica considera que aquestes propietats dels elements actuen com una força en l'organisme humà i que, depèn de com hi estiguin combinades, poden donar lloc a la salut o a la malaltia, a diversos temperaments i fins i tot a diferents graus d'intel·ligència.¹²

Empèdocles, que segurament havia estat influït per Parmènides i els pitagòrics, mostrà una sensibilitat extraordinària en relació amb la vida humana i l'atengué amb una delicadesa exquisida pel que fa al testimoniatge dels sentits (cf. fragments 3 i 7), sense deixar, per això, de comprendre

11. EMPÈDOCLES, DK, fragment 100.

12. Cf. GALÈ (1998), *Oeuvres*, edició a cura de Kuhn, 10, p. 5, citat per É. BRÉHIER, *Història de la filosofia*, 1, *Antiguitat i edat mitjana*, edició catalana a cura de Pere Lluís Font, Madrid i Bellaterra, Servei de Publicacions de la UAB, p. 63.

l'abast que el pensament de Parmènides atorgava a la raó. Empèdocles posà la seva intel·ligència al servei dels sentits. És així com comprengué el caràcter fonamental de l'*aire* i dels altres elements o arrels constitutius del *tot*.

6. ARISTÒFANES, COMEDIÒGRAF CRÍTIC
DELS POSICIONAMENTS JONIS: *ELS NÚVOLS*

Aristòfanes representa, en ple segle de Pèricles, el segle V aC, el vell esperit atenès que es malfia de determinades afirmacions provinents d'un esperit jònic que corria ja per Atenes, amb la vinguda d'Anaxàgores. Per aquells tombants de segle feren acte de presència per les places d'Atenes homes de la rellevància del mateix Anaxàgores, d'Empèdocles, de l'ancià Parmènides, de Protàgores, i un llarg etcètera.

48

Aristòfanes, un home educat en aquella Atenes culta i victoriosa, que tenia un poder marítim indiscutible, coneixia bé els poetes grecs, tal com ens consta a través de les seves obres. Fou de tendència aristocràtica i conservadora, encara que no estava en desacord amb la democràcia, sinó contra la demagògia. Ell va escriure teatre i una de les obres de més anomenada, tot i no ser representada per no haver estat premiada, fou la comèdia intitolada *Els núvols*, a la qual sembla que feia referència Sòcrates en el seu discurs de defensa davant el tribunal atenès com a causa de la seva mala fama que el portà a la mort.

Els núvols tracten fonamentalment de l'educació (παιδεία). En aquesta obra denuncia les concepcions noves de la παιδεία que els sofistes impulsaren. Aristòfanes defensava l'educació tradicional atenesa que feia ciutadans amb idees sòlides i ben fonamentades. La manera de procedir de la sofística, cercant raons contràries per defensar un punt de vista, que era considerat una veritat com a tal, negava la veritat ma-

teixa. Les arrels parmenideanes del relativisme i escepticisme practicats per reputats sofistes de la talla de Protàgores i Gòrgies posava l'educació en un camí que conduïa a un clar nihilisme. De l'afirmació que tot és veritat se seguia —segons els crítics— que res no és veritat. El perill de la nova educació era ben manifest per a un home com Aristòfanes.

En *Els núvols* Aristòfanes, que critica Sòcrates i Querofont com a representants del pensament i la manera de fer del moviment sofístic, parla de l'*aire* (ἀήρ) en diversos indrets (7×). Ja hem assenyalat abans que Aristòfanes personifica l'*aire* en el fragment 264 d'*Els núvols*:

Oh senyor totpoderós, Aire immensurable,
(ἀμέτρητ' Ἀήρ) tu que sostens la terra enlairada.

(Trad. de Mercè Valls)

En aquesta personificació de l'*aire* és indubtable, a parer de molts estudiosos, que Aristòfanes es mofa de la filosofia jònica, representada per Anaxímenes de Milet, per a qui l'*aire* era infinit (ἄπειρος) i no pas indefinit (ἀόριστος). També és refereix a l'*aire*, en sentit burleta, en els textos d'*Els núvols* següents (trad. de Mercè Valls):

v. 225-228: No hauria descobert mai amb precisió els fenòmens celestes, si no hagués penjat l'esperit i el pensament, i no els hagués barrejat amb allò que se'ls assembla, l'*aire* subtil (ἐς τὸν ὅμοιον ἀέρα).

v. 392-394: Fixa't, doncs, quins pets que surten d'un ventre tan petit com el teu, i digues si no és natural que l'*aire*, que és il·limitat, (τὸν δ' Ἄερα τὸν δ' ὄντ' ἀπέραντον) faci uns trons tan grossos. És per això, doncs, que aquestes paraules s'assemblen l'una a l'altra: «tro» (βροντή) i «pet» (πορδή).

v. 761-763: No acorralis sempre la idea al teu vol-

tant; afluixa el pensament cap a l'aire (ἐς τὸν ἀέρα) com si fos un escarabat lligat d'un fil per la pota.

En aquests textos —com acabem de dir— es fa referència als pensaments d'Anaxímenes, que lligava l'aire i l'ànima com a principis de tot, i també es fa referència a Diògenes, el qual defensava que els homes respiren un aire diferent dels animals, perquè els homes, en estar més amunt que els animals, respiren un aire més sec. Els animals, en canvi, més baixos que l'home, més arran de terra, respiren l'aire més humit.

També en *Els núvols* es fan servir fórmules de jurament amb l'*aire*, que també suposen un to irònic amb al filosofia jònica:

v. 628 i 667 (2×): per l'Aire! (μὲ τὸν Ἀέρα).

Aristòfanes en *Els núvols* fa servir una sola vegada *aire* en sentit de 'fora':

v. 198: És que no els és permès d'entretenir-se gaire temps aquí fora, a l'aire lliure (πρὸς τὸν ἀέρα).

(Trad. de Mercè Valls)

Fins i tot, en to igualment burleta, fa caminar Sòcrates, penjat dalt d'una cistella, per damunt de l'*aire*:

v. 225: [Sòcrates:] Camino per l'aire (ἀεροβατῶ) i examino el sol.

(Trad. de Mercè Valls)

Amb els jocs que Aristòfanes va establir al llarg de l'obra, en relació amb la comprensió racional de l'*aire*, no sols es mofa dels pensaments de la nova παιδεία i de la filosofia jòni-

ca, sinó que també, i sobretot, es mofa de la total incomprensió d'una teoria científica per part d'un ignorant (com és el cas del personatge Estrepsíades). Tant és malèfica una παιδεία que explica com a veritable un pensament que no ho és, com ho és aquella παιδεία que no té en compte el receptacle d'acollida, i sobretot si aquest és ignorant.¹³

L'*aire* en Aristòfanes ha estat un recurs còmic que li ha permès donar a conèixer la seva comprensió de la παιδεία atenesa. Els recursos còmics d'Aristòfanes permeten i permeten conèixer, ni que sigui per contrast, les innovacions més remarcables d'aquell present atenès. De fet, si Aristòfanes posava al damunt de la taula els problemes d'una innovació educativa, no serà fins a Plató que es combatran filosòficament (argumentadament) els posicionaments innovadors de la nova παιδεία representada per la sofística, sobretot la protagòrica, i el seu relativisme destructor. Aristòfanes airejava els problemes i els escenificava; amb això feia possible renovar l'aire d'aquella Atenes segura de si mateixa i dels seus nous models educatius.

51

7. LA MEDICINA INCORPORA L'AIRES: LA NOVETAT DEL *CORPUS HIPPOCRATICUM*

El conjunt d'escrits, uns seixanta-dos, que componen el *Corpus Hippocraticum*, s'atribueixen, no sense reserves per part d'alguns estudiosos, a Hipòcrates de Cos (s. V-IV aC), el «pare de la medicina», aquell de qui Galè digué que fou l'«inventor de tots els béns». La medicina que l'esmentat *Corpus* exposa és ja una medicina que ha donat una força extraordinària a la racionalitat humana i s'ha servit d'un mètode empíric que dóna una importància fonamental a l'observació. Segons la

13. Vegeu ARISTÒFANES (1994), *Els núvols*, p. 40, nota 27.

medicina hipocràtica, no es poden establir hipòtesis que es mostren vanes, com ara suposar que el fred i el calent, el sec i l'humit són la causa de les malalties i de la salut. El *Corpus Hippocraticum*, però, no dubta que aquestes causes serveixin per explicar els moviments celestes, dels quals no es pot dir res segur. Segons diu Émile Bréhier: «La véritable medicina és autònoma, i ha descobert mitjançant l'observació, sense l'ajut d'hipòtesis que no es poden verificar, una infinitat de coses de les quals està segura.»¹⁴

Aquest caràcter empíric de la medicina hipocràtica el podem constatar, entre altres obres, en una que mereix ara particularment la nostra atenció. Ens referim a *Aires, aigües i llocs*. És ben cert que si repasséssim tot el *Corpus* podríem donar molts exemples on s'esmenta l'*aire*. Tanmateix és del nostre interès ací de fer notar que en el *Corpus Hippocraticum* hi ha tot un tractat dedicat a estudiar l'*aire*, l'*aigua* i els *lloc* en relació amb la salut i les malalties.

En aquest text etiològic, intítulat *Aires, aigües i llocs*, Hipòcrates, abans que tota altra cosa, deixa ben clar que en la causa de les malalties no intervé cap divinitat particular, sense que això vulgui dir res en relació amb una negació del diví. Ben al contrari, Hipòcrates ha escrit en *La malaltia sagrada* que «totes les malalties són divines i totes són humanes» (XVIII, 1).¹⁵

Cercant una explicació de la salut i la malaltia en l'home mateix i no en la seva relació amb els déus, els metges hipocràtics passen d'un model d'explicació vertical (home-

14. É. BRÉHIER (1998), *Història de la filosofia*, 1, *Antiguitat i edat mitjana*, p. 66.

15. A. BOSCH-VECIANA (2005), «Totes [les malalties] són divines i totes són humanes» (πάντα [τὰ νοσήματα] θεῖα καὶ πάντα ἀνθρώπινα) (*La malaltia sagrada*, XVIII, 1), a *La salut*, edició a cura de Josep Monserrat Molas i Ignasi Roviró Alemany, Barcelona, Universitat de Barcelona, col·l. «Col·loquis de Vic», núm. 9, p. 69-84.

déus) a un model horitzontal (home-entorn). Per això, tal com ha escrit Jacques Jouanna, «una de les grans intuïcions del *Corpus* és que l'home és indissociable de l'univers que l'envolta».¹⁶

En *Aires, aigües i llocs* s'exposa la influència que el medi exterior té en la constitució física dels habitants del lloc, la qual varia segons quina sigui l'orientació dels vents i del sol, i segons quina sigui la naturalesa de l'aigua que es fa servir, segons la naturalesa de la terra i segons el conjunt de condicions climàtiques de l'any. Aquesta és la tesi d'aquest tractat que s'ocupa de desglossar-la. Hi ha una «medicina meteorològica» que es combina amb els factors personals com poden ser l'edat, el sexe i el temperament; però més enllà de les particularitats individuals, cal tenir en compte les característiques comunes de la població que està sotmesa al mateix clima. Podríem dir que hi ha un determinisme del medi, ja que l'home és el resultat del seu entorn geogràfic i climàtic, tal com ho són les plantes i els animals.¹⁷ D'aquí que el text d'*Aires, aigües i llocs*, fa, en un segon moment, un lligam entre la meteorologia i l'etnografia: després d'un estudi general dels factors locals i generals, que possibilita al metge itinerant de preveure millor les malalties d'un lloc determinat, el tractat descriu les poblacions d'Europa i d'Àsia, tenint ben presents les particularitats físiques, però també les morals, d'acord amb les explicacions que li dona la seva experiència mèdica. Els pobles estan fets a la imatge del seu clima, a la imatge del clima que regna en cada continent. A més d'aquest determinisme climàtic, Hipòcrates fa intervenir altres factors com ara les lleis (νόμοι) i el règim polític, ja que també aquests factors intervenen, diu, en la salut i en la malaltia.

16. J. JOUANNA (1999), *Hippocrate: L'art de la médecine*, París, GF Flammarion, p. 37.

17. Vegeu J. JOUANNA (1999), *Hippocrate: L'art de la médecine*, p. 114.

L'aire, és a dir, allò que es comprèn sota el terme ἀήρ, és un dels elements més remarcables de la medicina hipocràtica. El seu estudi i la seva consideració, així com el de les aigües i el dels llocs, fa que l'anàlisi del metge hipocràtic vagi més enllà de l'hel·lenocentrisme tradicional i que renovi, així, la manera de veure i d'entendre els grups humans.

No volem acabar aquest punt dedicat al *Corpus Hippocraticum* sense notar que és en aquests escrits mèdics —i sobretot en els escrits de medicina posteriors al *Corpus Hippocraticum*, que desenvolupen el que s'ha dit en aquest *Corpus*— que apareix l'ús del terme πνεῦμα per tal de referir-se al que entra en nosaltres a través de les artèries/venes i ens és del tot imprescindible per a la vida. Un dels textos del *Corpus Hippocraticum* que es desplegarà després pels autors mèdics posteriors serà el de *La malaltia sagrada*, IV,1-2:

Perquè a través d'aquests vasos sanguinis (κατὰ ταύτας δὲ τὰς φλέψας) introduïm en nosaltres la part més gran d'alè (τὸ πολὺ τοῦ πνεύματος). Perquè atrauen l'aire cap a ells (τὸν ἠέρα ἐς σφᾶς), són per a nosaltres els respiradors del cos (ἀναπνοαὶ τοῦ σώματος). Ells el transporten a la resta del cos a través dels vasos petits: reanimen amb aire fresc (ἀναψύχουσι) i al mateix temps treuen l'aire ja utilitzat (καὶ πάλιν ἀφιᾶσιν).

També en el text hipocràtic *Sobre la naturalesa humana*, 9, justament en el punt referent al guariment pels contraris, en explicar el sentit del tractament, llegim a què són degudes les malalties:

Les malalties provenen ja sigui del règim alimentari ja sigui de l'aire (πνεῦμα) que nosaltres inspirem per a viure.

Això ens indica que també el πνεῦμα, la inspiració d'un bon πνεῦμα, és el que porta la salut a l'ésser humà: un cos està sa si inspira i hi circula un bon πνεῦμα. També en *Vents*, 3, trobem un text en la mateixa direcció:

El vent (πνεῦμα) domina pertot, de la mateixa manera com s'esdevé en el cos dels éssers vivents.

En *Vents*, 7, hi llegim un text on es fa explícita la relació entre el πνεῦμα i l'alimentació:

Després d'una menjada abundant, cal necessàriament que entri també molt d'aire (πνεῦμα).

El terme πνεῦμα és, doncs, el que fa servir l'escola hipocràtica no sols per a indicar el que és necessari per a viure, sinó també per a significar l'aire que penetra en el cos a través de la respiració i a través dels aliments i de les begudes, les quals són portadores de πνεῦμα. Ell ho domina tot (cf. *Vents*, 3 *supra*).

55

8. L'AIRE EN EL *FEDÓ* I EN EL *TIMEU* DE PLATÓ

El tractament que Plató fa de l'aire el podem trobar tot al llarg de la seva obra (104x). Ací ens resulta impossible de presentar totes les citacions en les quals Plató esmenta l'aire, ni que sigui com a exemple per a alguna explicació. Les dues obres que més fan servir el terme *aire* (ἀήρ) són el *Fedó* i el *Timeu*. L'espai de què disposem només ens permet fer una ullada general, sense entrar en el detall del debat exeegètic, als plantejaments que Plató fa, en relació amb el terme *aire*, en aquestes dues obres: el *Fedó* i el *Timeu*. Ens mourem, per tant, en un nivell de presentació suficient.

En el *Fedó* Plató usa 14× el terme ἀήρ. En una obra que parla sobre la immortalitat de l'ànima no deixa de ser interessant que es parli, al final, de l'aire. Se'ns en parla fent referència al desig del personatge Sòcrates de conèixer les causes de cada una de les coses, allò que s'anomenava *investigació de la natura* (*Fedó* 96a). Esmenta el filòsof Anaxàgores, del qual havia llegit un llibre en el qual «s'afirmava que és la ment la que ho ordena tot i és causa de tot» (97b-c).¹⁸ Malgrat l'esperança de trobar bones raons del per què de tot en Anaxàgores (97d-e), el personatge Sòcrates ens manifesta la seva decepció:

Però, amic meu, a mesura que avançava en la lectura, aquella esperança meravellosa s'allunyava de mi, veient com aquell home no feia servir la ment per a res, ni li atribuïa que fos causa de l'ordenament de les coses, sinó que donava com a causes l'aire, l'èter, l'aigua i moltes altres coses igualment fora de lloc (*Fedó* 98b).

Anomenar causes aquesta mena de coses és quelcom ben fora de lloc (*Fedó* 99a).

Ací Plató demana una causa veritable de «tot allò que ho relliga tot i ho sosté tot» (99c). I això no pot ser altra cosa que «allò que veritablement és bo» (99c). Saber aquesta causa demana una *segona navegació*, això és, un nou plantejament que es faci des del món de la intel·ligibilitat suprema: la idea de bé i de bellesa.

En la recerca d'intel·ligibilitat en relació amb el que l'ànima sigui, el *Fedó* finalment planteja, amb un mite —el mite de l'Hades— el problema de la immortalitat de l'ànima, referint-se a la geografia del més enllà. Abans d'entrar en el

18. Seguim la traducció de Josep Vives per a Edicions 62: PLATÓ (1999), *Fedó*, traducció i edició de Josep Vives, Barcelona.

mite pròpiament dit, parla de la nostra terra. Aquí fa algunes al·lusions a l'*aire*.

En primer lloc, Plató ens fa conèixer un convenciment (en 108e-109a):

Estic convençut que si la terra és esfèrica i es troba en el centre del cel, no li cal ni aire (ἀήρ) ni cap altra mena d'impediment per tal que no caigui, sinó que per sostenir-se li basta l'homogeneïtat del cel amb ell mateix en totes les seves parts i el pes ben equilibrat de la mateixa terra. Perquè un cos de pes equilibrat situat en el centre d'un medi homogeni, no s'inclinarà sense inclinar-se en la mateixa posició.

La terra en la qual vivim, Plató, en el *Fedó*, la descriu esfèrica, molt gran i sosté que nosaltres n'ocupem una petita porció, val a dir, l'espai de terra que va des del riu Fasis, que va a parar al mar Negre, fins als pilars d'Hèracles, és a dir, l'estret de Gibraltar (109a). En aquesta terra hi ha molts altres homes que habiten en llocs semblants al nostre (109b). I és que (109b-e):

Pertot arreu de la terra hi ha moltes cavitats de diverses formes i diversa grandària, en les quals conflueixen l'aigua, el boirim i l'aire (ἀήρ). La mateixa terra pura es troba en un cel pur on hi ha els astres; la majoria dels que acostumen a parlar d'aquestes coses l'anomenen èter, i allò que conflueix constantment vers les cavitats de la terra és precisament el solatge de l'èter.

[...]

Això és el que ens passa a nosaltres: habitem en alguna cavitat de la terra i ens pensem que vivim en la seva superfície; i l'aire (ἀήρ) l'anomenem cel (οὐρανός), com si fos el cel en el qual es mouen els astres.

Per la nostra feblesa i torpor no som capaços de travessar l'aire (ἀήρ) fins al seu límit extrem. I, tanmateix, si algú fos capaç de pujar fins allà dalt, o si rebés unes ales per volar-hi, aixecant el cap per veure-hi com fan els peixos del mar quan aixequen el cap per veure les coses d'aquí, podria contemplar d'alguna manera les coses d'allí. I si la nostra natura fos capaç de suportar aquesta contemplació, podria adonar-se que aquell és el cel veritable, i la veritable llum i la veritable terra. Perquè aquesta terra, les roques i tota la regió d'aquí, tot està corromput i consumit com les coses del mar rosegades per la salabror.

A partir d'aquest moment el lector platònic està disposat per escoltar el mite de la terra del més enllà, on les coses són «molt millors que les nostres» (110a). Ara comença la descripció de la geografia de l'altra terra. És una descripció mítica preciosa. També allí hi ha espai per l'*aire* (cf. 110c7; 111a5.6.b1[bis].5[bis]; i 112b3). Com a la nostra terra, la d'enllà, semblant a una pilota de dotze peces, també té cavitats i en elles hi ha aigua i *aire* (ἀήρ). I donats els colors d'aquella terra, que són “molt més brillants i purs que els d'aquí” (110c), l'aigua i l'aire de les cavitats els dona a aquestes «una peculiar coloració i les fa brillar amb una varietat de diverses tonalitats, produint l'efecte d'una única i contínua policromia» (110d).

Quan descriu la terra del més enllà i parla dels vivents que l'habiten ens dibuixa el paper de l'*aire* i el relaciona comparativament amb l'èter (111a-b):

Allí hi ha multitud de vivents, i entre ells també hi ha homes: els uns habiten l'interior i els altres, al voltant de l'aire (ἀήρ), com nosaltres al voltant de la mar: alguns viuen en illes rodejades d'aire (ἀήρ) i properes al continent. En una paraula: el que són aquí l'aigua i el mar per a

les nostres necessitats, això mateix és allà l'aire (ἀήρ); i el que és l'aire (ἀήρ) per a nosaltres, ho és l'èter per als d'allà.

[...]

Les seves estacions són tan temperades que mai no estan malalts, i viuen molt més temps que nosaltres. Pel que fa a la vista, l'oïda, la intel·ligència i totes les altres facultats, ens sobrepassen a nosaltres en la mateixa mesura que l'èter de l'aire (αἰθήρ ἄέρος) sobrepassa en puresa l'aire de l'aigua (ἀήρ τε ὕδατος).

Només, finalment, quan parla dels corrents subterranis, esmenta l'aire (ἀήρ) i el vent (πνεῦμα), ara comparant allò que s'esdevé en les cavitats subterrànies de l'altra terra i el que s'esdevé quan nosaltres respirem. Vegem un fragment de 112b-c:

La causa que tots els corrents surtin d'allí i tornin cap allí és que les aigües no troben allí ni fons ni base, per la qual cosa fluctuen i borbollen cap amunt i cap avall. També l'aire (ἀήρ) i el vent (πνεῦμα) que hi ha en aquell lloc fan el mateix, perquè segueixen les aigües, tant com són empeses cap enllà de la terra com quan ho són cap ençà. És com el que fem en respirar, que contínuament expirem i aspirem en corrent de l'aire (πνεῦμα): també allí l'aire (πνεῦμα), en ser emportat cap amunt per les aigües, va endins i enfora, formant terribles i incalculables ventades (ἀνέμους)[...].

La relació entre l'aire (ἀήρ) i el vent (πνεῦμα) es donen tant en la terra del més enllà com en la vida humana: aquesta com aquella necessiten de l'aire exterior (ἀήρ) i de l'aire interior (πνεῦμα).

L'altra gran obra de Plató en la qual es parla substantivament de l'aire és, com ja hem indicat, el *Timeu*. És ben cert que tothom que s'ha endinsat en la lectura del *Timeu* platònic

n'ha afirmat ben aviat les dificultats que la seva lectura comporta. Nosaltres no constituïm cap excepció en aquesta experiència. Tanmateix, cal reconèixer el valor ingent d'aquesta obra del *Corpus platonicum*. Giovanni Reale, en la seva monumental obra intitulada *Per una nova interpretazione di Platone*, ens recorda que «el Timeu ha estat el diàleg de Plató més llegit i, en molts aspectes, el més influent en la història del pensament filosòfic i teològic d'Occident»,¹⁹ i això, com hem assenyalat, a pesar de les dificultats d'aquest text platònic.

El professor Josep Vives, que ha traduït i ha anotat el *Timeu* per a la Bernat Metge, ha escrit, en la *Introducció* que precedeix la traducció, unes paraules ben eloqüents del que constitueix l'experiència lectora del *Timeu*: «El *Timeu* fascina per l'audàcia i l'originalitat amb què el principal interlocutor s'embrancha a donar una explicació total de tot, dirigint la mirada cap enrere vers el començament absolut de l'univers i projectant-la cap endavant, sota l'impuls alhora del mite i de la faula, de la poesia i de la rigorosa reflexió científica i filosòfica, arrelada en una atenta observació i anàlisi de la realitat.»²⁰ I segueix, el text de Josep Vives: «Era inevitable que el *Timeu* fos considerat com la gran Summa cosmològica i antropològica del món antic: tothom el seguirà com un oracle, i ningú no l'igualarà.»²¹

Plató tracta dels quatre elements constitutius del cosmos —i, doncs, de l'*aire*— en la segona part del *Timeu*, en el llarg discurs que pronuncia el personatge Timeu (27c-92c). El *Timeu* el conformen dues grans parts: *a*) la primera part: un diàleg introductori (17a-27b), on, després d'haver presen-

19. G. REALE (1993), *Per una nova interpretazione di Platone*, Milà, Vita e Pensiero, p. 583.

20. Josep VIVES (2000), «Introducció», a PLATÓ, *Diàlegs*, XVIII, *Timeu*, Barcelona, Fundació Bernat Metge, p. 11.

21. Josep VIVES (2000), «Introducció», a PLATÓ, *Diàlegs*, XVIII, *Timeu*, p. 11.

tat l'escena i els personatges, es resumeixen alguns temes tractats en la *República* i se'ns ofereix el discurs de Críties i, en ell, el mite de l'Atlàntida, i *b*) la segona part: el llarg discurs de Timeu, que ocupa la major part de l'obra (27c-92c). En aquest llarg discurs del personatge Timeu es parla, com acabem de dir, entre altres temes, de l'*aire*. Tots els temes i problemes giren a l'entorn d'un únic tema: la gènesi del cosmos. El personatge Timeu, tal com llegim en el text, es proposa fer «un discurs sobre l'univers [ἡμᾶς δὲ τοὺς περὶ τοῦ παντὸς λόγους ποιῆσθαι],²² sobre com es va generar o si és ingenerat» (27c). Davant aquest propòsit tan ingent, Timeu, abans de començar el discurs, invoca les divinitats amb aquestes paraules, que mostren la consciència dels límits d'un orador que vulgui emprendre un discurs sobre aquesta temàtica (27c-d):

Tothom qui tingui una mica de seny invoca sempre algun déu en el moment d'emprendre alguna cosa, ja sigui petita o gran. I també nosaltres en el moment en què ens disposem a fer un discurs sobre l'univers, sobre com es va generar o si és ingenerat, caldrà que, si no estem totalment trastocats, invoquem els déus i les deesses i els preguem que tot el que diguem sigui adequat en primer lloc a ells mateixos, i després també a nosaltres. Signi aquesta, doncs, la nostra invocació als déus. Pel que fa a nosaltres hem de pregar per tal que vosaltres pugueu comprendre el discurs amb tota facilitat i jo mateix pugui

61

22. Notem que Plató parla ací de *ó πᾶς*, *el tot*. Josep Vives tradueix *ó πᾶς* per *univers*. En *Timeu* 28b2-4 el mateix Plató ens refereix la multiplicitat de termes per anomenar aquest *univers*: «Pel que fa a la totalitat del cel (*ó πᾶς οὐρανός*) —o del cosmos (*κόσμος*), per utilitzar qualsevol altre nom que se li hagi pogut donar mai— [...]». Josep Vives nota (cf. *Timeu*, 69n17) que Plató fa equivalents els termes *οὐρανός* i *κόσμος*. Normalment Josep Vives tradueix *οὐρανός* per *univers* i *κόσμος* per *cosmos* i, més sovint, *món*.

mostrar de la millor manera el que penso sobre el tema proposat.

Amb una metodologia acurada, feta explícita al llarg del text, a cada pas del text, Plató inicia el seu discurs sobre la gènesi de l'univers amb una breu exposició dels seus pressupòsits metafísics (27c-29d). Parteix de l'afirmació que l'univers *fou fet* (γέγονεν, en 28b) «perquè és visible i palpable i té un cos» (28b). Aquest univers, doncs, té una *causa* (ὕπ αιτίου, en 28c). El text, en aquest punt, fa (28c):

Tanmateix, descobrir el creador i pare d'aquest univers (ποιητήν καὶ πατέρα τοῦδε τοῦ πάντος) és cosa àrdua i, una vegada trobat, és impossible d'explicar-ho a tothom.

62

Segueix el text explicant-nos a partir de quin *model* (παράδειγμα) s'ha fabricat aquest univers. La *bellesa* d'aquest univers i la *bondat* del seu *creador* (δημιουργός) exigeixen un *model etern* (ἄδιον):

És evident a tothom que el demiürg va mirar vers el model etern, ja que el món és el millor de tot el que s'ha fet (ὁ κάλλιστος τῶν γεγονότων), i l'artífex és la millor de les causes (ὁ ἄριστος τῶν αἰτίων). Havent, doncs, estat fet així, és construït segons allò que és captat pel raonament i la intel·ligència i és immutable (29a).

L'univers, doncs, resulta una cosa accessible a la intel·ligència i al raonament. Tanmateix Plató afina el seu discurs sabent-se portador d'un discurs que tan sols pot atènyer una certa versemblança. Vegem-ne el text, encara que sigui una mica llarg (29b-d):

Si les coses són així, és absolutament necessari que aquest món sigui imatge d'alguna realitat. [...] Aquí, doncs, tractant-se d'una imatge i del seu model, hem d'explicar que els discursos tenen una afinitat amb les mateixes realitats que pretenen explicar. [...] Els raonaments que fan referència al que és una còpia d'allò immutable, com que es tracta d'una imatge, han de ser proporcionalment semblants a allò mateix. Allò que l'ésser és en relació amb l'esdevenir, això és la veritat en relació amb la creença. Així, doncs, Sòcrates, si resulta que en moltes qüestions sobre moltes coses referents als déus i a l'origen de l'univers no som capaços de presentar raonaments que siguin absolutament coherents i exactes en tots els punts, no t'hauries de sorprendre. Però, si aconseguim fer-los versemblants com qualsevol altre, ens hauríem de felicitar, fent memòria que tant jo, el qui parlo, com vosaltres, que feu de jutges, tenim una naturalesa humana, i en conseqüència ens escau acceptar aquell relat (τὸν εἰκότα μῦθον) que tingui versemblança (ἀποδεχομένους πρέπει), sense buscar més enllà.

63

Quan Plató s'endinsa en la causa de l'univers, el Demiürg, ho fa explicant-nos, a partir de la bondat de la causa, l'obrar d'aquesta causa. El Demiürg actua fent que «tot sigui, en la mesura del possible, semblant a ell i, per això mateix, que tot sigui bo» (29e). Aquest és el principi suprem (τις ἀρχὴν κυριωτάτην) de l'esdevenir i del món (29e). I afegeix el text del *Timeu* (30a):²³

El déu (ὁ θεός), volent que totes les coses fossin bones i que, fins on fos possible, no hi hagués res de dolent, agafà tota la massa visible que hi havia (πᾶν ὅσον ἦν ὄρατον παραλαβόν), que no tenia repòs, sinó que es movia sense ordre ni concert (κινούμενον πλημμελῶς καὶ ἀτάκτως), i ho

23. Cf., també, 53a.

reduí a un ordre a partir del desordre (εἰς τάξιν [...] ἐκ τῆς ἀταξίας), ja que estimava que aquell és en qualsevol cas millor que aquest.

Aquest trànsit del desordre a l'ordre operat pel Demiürg el féu dotant primerament d'intel·ligència i d'ànima el cos desordenat de la massa visible (30*b-c*):

Quan va constituir l'univers, va posar la intel·ligència en l'ànima, i l'ànima en el cos (τόνδε νοῦν μὲν ἐν ψυχῇ, ψυχὴν δ' ἐν σώματι συνιστάς), de manera que l'obra que fabricava fos per natura la més bella i la millor. Així, doncs, d'acord amb el raonament més versemblant (κατὰ λόγον τὸν εἰκότα), hem de dir que aquest món ha estat fet veritablement per la providència del déu (διὰ τὴν τοῦ θεοῦ γενέσθαι πρόνοιαν) com un vivent animat i intel·ligent (ζῶον ἔμψυχον ἔννοον).

Aquest univers comprès com un vivent animat i intel·ligent fou fet com «un vivent visible únic (ζῶον ἓν ὁρατόν), que contingués dins ell mateix tots els animals que per natura li eren afins» (30*d*), i aquest món era un fill únic (31*b*). Vegem el text de 31*a-b*:

A fi que aquest món fos en la seva singularitat (κατὰ τὴν μόνωσιν) semblant al Vivent Omniperfecte (τῷ παντελεῖ ζῶῳ), el constructor (ὁ ποιῶν) no va fer dos ni infinits móns, sinó que el va engendrar com un fill únic que existeix i existirà tot sol (εἷς ὅδε μονογενὴς οὐρανὸς γεγωνὸς ἔστιν καὶ ἔτ' ἔσται).

El personatge Timeu segueix el seu discurs afirmant que allò engendrat necessàriament ha de ser corpori, visible i tangible (31*b*). Per això mateix, cal el foc i la terra:

[...] perquè no hi pot haver res visible si no hi ha foc (χωρισθὲν δὲ πυρὸς οὐδέν); ni hi pot haver res de tangible si no és sòlid; i no hi ha res sòlid si no hi ha terra (στερεὸν δὲ οὐκ ἄνευ γῆς). Per tant, quan el déu va començar a constituir el cos de l'univers, el va fer de foc i de terra (ἐκ πυρὸς καὶ γῆς).

La combinació d'aquests dos elements demanava un vincle intermediari, un terme mitjà, que és, segons Plató, la *proporció* (ἀναλογία), la qual realitza la combinació «de la manera més perfecta» (κάλλιστα, en 31c). Calia, a més, pel fet de no ser la superfície de l'univers plana, un tercer cos sòlid per unificar el foc i la terra. Tanmateix, els sòlids sempre s'estructuren a partir de dos termes mitjans i no pas d'un de sol. I aquí introdueix l'*aigua* i l'*aire*, els dos elements restants, en un relat que remarca la proporcionalitat dels quatre elements, una proporcionalitat que engendra concòrdia. Aquest univers manté, a través dels seus elements constitutius, una unitat comparable als lligams que formen els amics. Vegem com ho diu en 32b-c:

Per aquesta raó [que els sòlids sempre s'estructuren a partir de dos termes mitjans] el déu va posar aigua i aire enmig del foc i de la terra i, en la mesura del possible, va combinar que es trobessin entre ells en la mateixa proporció; la relació que el foc té amb l'aire és la mateixa que té l'aire amb l'aigua, i la relació de l'aire amb l'aigua és la de l'aigua amb la terra, quedant així lligat d'aquesta manera i estructurat un univers visible i tangible. És per això i a partir de tals elements, en nombre de quatre, que es va generar el cos de l'univers amb una concòrdia deguda a la proporció (δι' ἀναλογίας ὁμολογήσαν). I d'aquí el vincle de l'amistat (φιλίαν τε ἔσχεν ἐκ τούτων), de manera que, una vegada s'ha format aquesta unitat (εἰς ταῦτὸν αὐτῷ

συνελθὸν ἄλυστον), ningú ja no la podrà destruir si no és aquell que la va relligar.

I hi afegeix el text (32c-33b):

La construcció del món (ἡ τοῦ κόσμου σύντασις) va absorbir la totalitat de cada un d'aquests quatre elements. En efecte, el constructor el va construir de tot el foc, l'aigua, l'aire i la terra, sense deixar fora cap part ni cap propietat d'ells (μέρος οὐδὲν οὐδενός οὐδὲ δύναμιν ἔξωθεν ὑπολιπόν)[...] Per aquesta causa (διὰ τὴν αἰτίαν) i segons aquest raonament (καὶ τὸν λογισμόν), el déu va bastir aquest món com un tot únic a partir de la totalitat de tots els elements (ἓνα ὅλον ὅλων), perfecte i immune a la vellesa i a la malaltia. I li va donar la figura (σχῆμα) convenient i apropiada (τὸ πρέπον καὶ τὸ συγγενές).

66

La figura convenient i apropiada és l'esfera. Com que l'univers esfèric no estava rodejat d'*aire* (aquí se serveix del terme πνεῦμα), no havia de respirar. Tampoc a l'univers li calgueren ulls, ni cap òrgan per agafar res, ni peus per caminar. Però el dotà de moviment, un moviment apropiat al seu cos: el moviment circular. El dotà d'ànima i intel·ligència. La síntesi de l'univers platònic és descrit en el *Timeu* (34b) així:

[El déu] constituí així un únic univers rodó que gira circularment sobre ell mateix, solitari i aïllat, el qual per virtut pròpia és capaç de conviure amb ell mateix sense necessitar ningú, tenint coneixement (γνώριμον) i amor (φίλον) adequat d'ell mateix. Per tot això el va fer un déu feliç (διὰ πάντα δὴ ταῦτα εὐδαίμονα θεὸν αὐτὸν ἐγεννήσατο).

En l'ordenació del món el déu es dedicà amb cura a fer l'ànima del món i a unir-la amb el cos del món. Llegim en 36d-37a:

Quan tota l'ànima va quedar constituïda segons la ment del seu constructor, aquest va disposar dins d'ella tot el que té forma corporal, ajustant el centre de l'ànima i el del cos de manera que coincidissin. L'ànima, havent estat entreteixida pertot arreu des del centre fins a l'extrem de l'univers tot embolcallant-lo per la part de fora, girava sobre ella mateixa i començava a actuar com a principi diví d'una vida inextingible i intel·ligent que ha de durar per sempre. El cos de l'univers va néixer visible, però l'ànima és invisible, dotada de raonament i d'harmonia, engendrada pel millor dels artífexs com la millor de totes les criatures intel·ligibles.

En el *Timeu*, després d'exposar-se tot allò referent a l'ànima i les seves funcions, a l'eternitat i el temps (*imatge mòbil de l'eternitat* que es mou eternament segons nombre, llegim en 37d), a parlar de la nit i el dia, de les espècies de vivents, dels déus, de la Terra, de les ànimes i del seu destí, dels cossos i de les seves sensacions, del cos humà i les seves parts, després d'un llarg recorregut, s'aborda l'univers, des d'un nou punt de vista, no ja com a obra de la intel·ligència, sinó com a obra de la necessitat, ho i estudiant les limitacions d'aquesta necessitat, això és, el receptacle, els elements i les sensacions (47e-69a). Aquí es torna a parlar dels quatre elements i, per tant, de l'*aire*. Deturem-nos uns moments a llegir allò que Plató ens refereix sobre l'ordre (*intel·ligència*) i el desordre (*necessitat*) en 47e-48a:

El que hem anat dient, llevat de poques coses, ens ha mostrat el que ha estat obra de la intel·ligència. Ara cal

que hi afegim el que és obra de la necessitat, ja que aquest món va néixer com una mescla per combinació de la necessitat i la intel·ligència. La intel·ligència ha dominat la necessitat, induint-la a orientar en bona part el que s'esdevé vers allò que és millor. I és així com, des d'un principi, aquest univers va ser constituït com és, a partir de la necessitat sotmesa a la influència de la intel·ligència. Per tant, si hom vol explicar realment com es va fer aquest món tal com és, cal que hi introdueixi la idea de la causa errant i de la influència que per natura li pertoca. Tornem, doncs, enrere i prenguem un nou punt de partida adequat al que diem, començant, com ho férem abans, des del principi del que ens ocupa.

I del primer que parla és de la naturalesa dels quatre elements: el foc, l'aigua, l'aire i la terra, tal com eren abans de la generació de l'univers (τὴν δὴ πρὸ τῆς οὐρανοῦ γενέσεως πρὸς ὕδατος τε καὶ γῆς φύσιν, en 48b). Plató assenyala que «segurament ningú fins ara no ha explicat llur origen, sinó que parlem com si ens adrecéssim als qui ja saben què és el foc —i qualsevol dels altres elements— i donem per fet que són principis elementals de tot» (στοιχεῖα τοῦ παντός, 48b). I afegeix: «caldria que per poca intel·ligència que hom tingui, no s'accontenti només comparant-los amb els elements de les síl·labes» (48b), que els grecs anomenaven també στοιχεῖα.

En aquest punt del discurs, Timeu exposa el seu propi pensament (cf. 48c). Aquí sosté que no hi ha dues realitats (el model intel·ligible immutable i la imitació del model que és visible i mutable), sinó que, ara, en cal una tercera, «una realitat difícil i fosca» (49a), «el *receptacle de tota generació* (γενέσεως ὑποδοχὴν), com si fos una nodrissa» (49a). Així la *naturalesa*, abans de ser determinada com a cadascun dels quatre elements, és compresa com a *receptacle* i és compara-

da, també, a una *mare*, no essent, encara, els quatre elements (51a):

No direm pas que la mare i el receptacle (μητέρα καὶ ὑποδοχήν) d'allò que és generat, visible i, en general, perceptible pels sentits sigui la terra, o l'aire, o el foc, o l'aigua; ni tampoc no és res que provingui d'aquestes coses; ni tampoc no és una cosa de la qual aquestes provinquin. En canvi, no ens equivocarem si diem que hi ha un cert gènere de realitat invisible i amorfa, capaç d'acollir-ho tot, que participa de l'intel·ligible d'una manera ben paradoxal i que és molt difícil de concebre.

L'afirmació d'aquesta realitat primigènia encara no determinada obliga a parlar, abans, diu Plató, dels quatre elements, és a dir, de què es pot sostenir que és foc, o aigua, o aire o bé terra. Perquè una cosa és *la qualitat de foc, aigua, aire o terra*, que és canviant, i l'altra el que és *pròpiament foc, aigua, aire o terra*, és a dir, allò que és *la realitat* en la qual apareixen aquelles *qualitats* (49b-50a). El text platònic continua endinsant-se en la *naturalesa* i és compresa, més concretament, com a *receptacle de tots els cossos* (περὶ τῆς τὰ πάντα δεχομένης σώματα φύσεως, en 50b). Els quatre elements són la determinació d'aquesta realitat anterior, de la *naturalesa*, que és compresa ací, en 50b, com a *receptacle de tots els cossos* (τὰ πάντα δεχομένης σώματα) i fa un moment, en 49a, com a *receptacle de tota generació* (γενέσεως ὑποδοχήν). Així doncs, els *elements* es transformen els uns en els altres, si bé el *receptacle* és el mateix (51a):

Apareix (φαίνεσθαι) sempre com a foc la part d'aquella realitat que és encesa; com a aigua, la que es presenta humida; i com a terra i aire, la que es presenta reproduint les qualitats d'aquests elements (καθ' ὅσον ἂν μύήματα τούτων δέχεται).

En aquest receptacle mare, que acull els quatre elements, hi ha un desordre originari que, a causa del moviment que s'hi produeix, confereix un cert ordre, fins i tot abans que l'ordre del món aparegués (cf. 53a):

Els quatre elements eren sacsejats pel receptacle que els acollia i que es movia com un estri de garbellar: les coses més dissemblants (ἀνομοιότατα) entre elles es van separar (ὀρίζειν) les unes de les altres tant com fou possible, mentre que les més semblants (ὁμοιότατα) es van concentrar (συνωθεῖν), i així van ocupar el seu lloc propi àdhuc abans que l'ordre de l'univers fos format a partir d'elles (πρὶν καὶ τὸ πᾶν ἐξ αὐτῶν διακοσμηθῆ γενέσθαι).

Quan el Demiürg —la intel·ligència del Demiürg— confereix ordre al món, d'acord amb els models intel·ligibles, bo i imitant-los, primer conforma els quatre elements segons les formes intel·ligibles, això és, les formes geomètriques (els cossos regulars, els triangles, etc.) i també els nombres. L'ordre i la mesura són l'expressió real de la bellesa i la bondat. El món resulta ser, així, com el seu Demiürg, una cosa bona i bella, la més bella i la més perfecta possible. Llegim-ho (53a-b):

Abans d'això, en tots aquests elements no hi havia proporció ni mesura (ἀλόγως καὶ ἀμέτρως); però, quan es va intentar posar ordre a l'univers (κοσμεῖσθαι τὸ πᾶν), primer de tot el foc, l'aigua, la terra i l'aire foren configurats amb formes i nombres (εἶδεσί τε καὶ ἀριθμοῖς), ja que, si bé ja tenien algunes traces d'això, tanmateix es trobaven com és natural que es trobi tota realitat de la qual el déu n'és absent. En tot moment hem de prendre com a afirmació bàsica que el déu ho va compondre (συνιστάναι) tot de la manera més bella i més perfecta (κάλλιστα ἄριστα), fins on era possible, a partir de realitats que no eren així.

A partir d'aquí, Plató explicarà l'origen dels quatre elements i la seva conformació amb els triangles (53a-55c), i a partir d'ells explicarà —sense demostració— com es formen les figures polihèdriques regulars (tetràedre, octàedre, icosaèdre, cub, etc.) i com aquestes figures s'apliquen als quatre elements (55d-56c): la terra és el cub, ja que dels quatre elements és el menys mòbil i el més modelable; l'aigua és l'icosaèdre, la menys mòbil de les figures geomètriques; l'aire és l'octàedre, una figura de mobilitat intermèdia, i el foc és el tetràedre, per la seva extraordinària mobilitat.

El que Empèdocles havia dit respecte dels quatre elements de tot semblaria, a primer cop d'ull, que també ho diu Plató, quan a les primeres pàgines del *Timeu* posa els quatre elements en l'origen de tot (31b-c); tanmateix, quan llegim tot el *Timeu* ens adonem de la distància que hi ha entre el posicionament del text d'Empèdocles i el del *Timeu* de Plató. La comprensió platònica del món no sols no conté el recurs al mecanisme que expressen les forces mítiques de l'Amor (Φιλία) i l'Odi (Νεῖκος), sinó que introdueix tota una explicació feta a partir de la intervenció del Demiürg, el qual, amb la seva intel·ligència, introdueix en el món l'ordre i l'harmonia que els nombres poden conferir, injectant, així, de pitagorisme la doctrina d'Empèdocles sobre els quatre elements. En aquest punt (56c-d), l'explicació del transmutar-se dels quatre elements permet anar comprènent el conjunt del que es dóna en l'univers.

Abans de passar a Aristòtil no volem deixar de banda dos textos d'interès que clouen el *Timeu*: l'un, referit als peixos i mol·luscs (92b-c); l'altre, el final del *Timeu* (92c).

Respecte del primer text, tan sols voldríem assenyalar la importància que l'aire té per a Plató en el *Timeu*. En efecte, Plató comprèn els vivents en relació amb la seva capacitat o incapacitat per a la respiració perquè l'aire inspirat pels vivents els permet la intel·ligència. Vegem-ho en el text esmentat (92b-c):

La quarta espècie, la dels éssers aquàtics, va néixer dels inintel·ligents i més ignorants de tots els éssers (ἀνοητοτάτων καὶ ἀμαθεστάτων). Els qui els van formar ni els van considerar dignes d'una respiració pura (ἀναπνοῆς καθαρᾶς), ja que tenien l'ànima impura amb tota mena de desordres (ὡς τὴν ψυχὴν ὑπὸ πλημμελείας πάσης ἀκαθάρτως ἐχόντων). En comptes de la respiració subtil i pura de l'aire (ἀλλ' ἀντὶ λεππῆς καὶ καθαρᾶς ἀναπνοῆς ἀέρος), els van deixar la respiració tèrbola i profunda en l'aigua (εἰς ὕδατος θολερὰν καὶ βαθεῖαν ἔωσαν ἀνάπνευσιν). Així nasqué l'espècie dels peixos i de tots els mol·luscs que viuen en l'aigua, els quals, com que es trobaven en la més baixa ignorància (ἀμαθίας ἐσχάτης), justament han rebut els habitatges més baixos (ἐσχάτας οἰκήσεις). D'aquesta manera tots els animals, els d'aleshores i els d'ara, es transmuten els uns en els altres, canviant segons el que perden o guanyen en intel·ligència i en estupidesa (νοῦ καὶ ἀνοίας).

L'altre text (92c) és el final del *Timeu* platònic, un text que ens pot sobtar en el nostre present. Plató acaba el *Timeu* donant-nos la clau de lectura de la seva mirada en relació amb el món, a l'univers, mostra d'una finesa poètica extraordinària:

I ara ens toca de dir que hem arribat a la fi del nostre discurs sobre l'univers (τέλος περὶ τοῦ πάντος). Aquest món nostre, havent acollit els vivents mortals i immortals que l'emplenen, és un Vivent visible (ζῶον ὁρατόν) que conté els vivents visibles, imatge sensible del déu intel·ligent (εἰκὼν τοῦ νοητοῦ θεοῦ αἰσθητός), un sol món (εἷς οὐρανός), el més gran (μέγιστος), el millor (ἄριστος), el més bell (κάλλιστος), el més perfecte (τελεώτατος), criatura única (μονογενής).

Aquesta explicació tan matisada del *Timeu* de Plató sobre la *formació del món* i del paper que hi tenen els quatre elements —i, en conseqüència, l'*aire*— és la primera exposició completa sobre el món, un autèntic *logos* sobre el *món*. L'univers que veu Plató és un univers que al llarg de tot el *Timeu* i en les seves paraules conclusives se'ns presenta com un gran Vivent que té ànima i per això mateix allò que s'hi esdevé ho podem intel·ligir. L'*aire* hi ocupa un lloc principal, no sols pel fet de ser-ne un dels elements constitutius, sinó també pel fet de donar vida i intel·ligència a tots els vivents: l'*aire* encara es troba tant a l'exterior dels éssers com en el seu interior. I en el *Timeu* es repeteix que cal tenir tant cura del cos com de l'ànima (88*b* i s.). També és cert que a partir de Plató l'*aire* va esdevenint cada vegada més —tot i les excepcions pertinents, com veurem— un concepte que és usat per a explicar una realitat física. Serà l'ànima del món el concepte que, lligat etimològicament a l'*aire*, n'explicarà la dimensió més espiritual.

No volem acabar l'apartat de Plató sense fer referència a un ús platònic del terme *πνεῦμα*. En efecte, en el *Timeu* hi ha ressons de la medicina hipocràtica en relació a l'ús del terme *πνεῦμα* que hi trobem. Un text és del tot interessant. Ens referim a *Timeu* 84*b*, on podem llegir:

Hi ha una tercera mena de malalties que hem de considerar que vénen de tres causes: l'*aire* (ὕπὸ πνεύματος), la flegma i la bilis. Quan el pulmó que és el qui distribueix l'*aire* pel cos (ὁ τῶν πνευμάτων τῷ σώματι ταμίας πλεύμων), no té nets els passatges obturats per la mucositat, resulta que l'*aire* (*πνεῦμα*), segons com, no pot passar i, segons com, entra més abundant del que caldria.

Plató coneix l'ús mèdic del terme *πνεῦμα* i se'n serveix precisament en el *Timeu*, una obra magistral en la qual es tracta de la totalitat del món.

9. CONSIDERACIONS SOBRE ARISTÒTIL I LA DOCTRINA
DELS ELEMENTS

Havent estat presentat Plató, ens cal, ara, introduir-nos a Aristòtil. Tractarem ací, de manera més sumària, la concepció aristotèlica de l'*aire* en relació amb la temàtica que ens ocupa: l'*aire* com un dels quatre elements constitutius del *tot* (ἅληθ) i, també, de l'*aire* com a alè vital (πνεῦμα). Certament d'Aristòtil podem dir el mateix que hem dit de Plató: que resulta impossible abordar tots els textos —ni bona part d'ells— en els quals parla de l'*aire*. Així doncs, i tal com acabem de dir, tan sols farem referència al més essencial que Aristòtil diu sobre l'*aire*, atenent sols aquells textos que, en aquest recorregut hel·lènic temàtic que ens té interessats, podem prendre en consideració.

74

Aristòtil parla de l'*aire* en sentit físic com un dels *quatre elements*. Amb tot, Aristòtil parla d'un cinquè element, una *quinta essència* o *quinta substància* (ἡ πεμπτὴ οὐσία): l'*èter* (αἰθήρ),²⁴ que és l'*aire* del cel i, fins i tot, el mateix cel. Llegim en *Sobre el cel* I, 2, 269a-270b:

Per tant, és evident, prenent això en consideració, que existeix, per naturalesa, alguna altra entitat corporal, a més dels [quatre] elements que hi ha aquí. [...] En conseqüència, si raonem a partir de tot el que ha estat dit, hom pot arribar al convenciment que existeix un altre cos distint dels [quatre elements] que ens roegen. Té una naturalesa digna, i tant més com més està allunyada d'ells [dels quatre elements]. [...] El seu nom sembla que ens ha estat transmès pels antics, que l'entenien com nosaltres.

24. A casa nostra podem llegir Víctor GÓMEZ-PIN (1984), «El éter: realidad casi divina», a *El orden aristotélico*, Barcelona, Ariel, p. 106-134, original francès de 1976.

[...] El primer cos és distint de la terra, el foc, l'aire i l'aigua; anomenaren èter (αιθήρ) el lloc més excels [...].

Anem, però, més lentament. Aristòtil en la *Física* (Περὶ φύσεως Φυσικῆ ἀκρόασις segons Andrònic de Rodos) estudià el moviment en general i en el tractat *Sobre el cel* (Περὶ οὐρανοῦ) es dedicà sobretot al moviment local (cf. *Sobre el cel* I, 268a1 i s.). En aquest darrer tractat estudia *a priori* l'estructura general de l'univers. La seva atenció se centra en la cosmologia i en l'astronomia. Vegem-ne les afirmacions més fonamentals.

L'explicació del món que ens ha transmès Aristòtil situa la Terra en el centre de l'univers. I en l'explicació del món que ens ha estat transmesa en el seu estudi *Sobre el cel* —i abans, segurament, en la seva obra *Sobre la filosofia*—, és ben sabut que hi distingeix dues esferes prou diferenciades dins l'àmbit de la realitat sensible: l'una l'anomenà *món sublunar*, el nostre món que trepitgem, naveguem i en el qual volen les aus; l'altra esfera l'anomenà *món supralunar o món celestial*, el lloc d'estada dels déus i els estels.

El *món sublunar* és el món de la generació i la corrupció; el *món celestial*, en canvi, és el món dels déus: és ell mateix un món diví i, per això mateix, no hi pot haver ni generació ni corrupció, ni augment ni disminució: no hi pot haver, en definitiva, cap alteració. En el *món sublunar* trobem totes les formes de canvi: moviments ascendents i descendents, tots ells limitats; en canvi, en el *món supralunar* només hi ha un únic moviment: el moviment circular. El *món celeste*, sempre igual, el lloc dels déus i, doncs, de la perfecció, mai no ha canviat. L'experiència que prové dels nostres ulls així ens ho confirma, sosté Aristòtil. Tothom ha vist sempre el cel de la mateixa manera. D'aquí que Aristòtil sostingui que els cels ni han estat engendrats ni mai no moriran. Llegim en *Sobre el cel* II, 283b-284a:

D'això exposat podem tenir la certesa que l'univers no ha estat engendrat ni pot ser destruït, com diuen alguns, sinó que és u i etern. [...] Els antics van col·locar els déus al cel i al lloc superior, per tal de considerar que era l'únic immortal. [...] Tanmateix tampoc cal donar crèdit al mite dels antics que sostenen que el fet que els cels s'aguantin depèn d'un tal Atles [...].

Una altra de les diferències que Aristòtil ens dona d'aquests dos móns és la que es refereix a la matèria de què es componen aquests móns. Així, en el *món sublunar* hi trobem els quatre elements: el foc, l'aigua, l'aire i la terra. També Aristòtil —com Plató, encara que diferentment (cf., per exemple, *Sobre el cel* III, 306a1 i s.)—²⁵ defensa la transformabilitat recíproca dels quatre elements, contra Empèdocles. D'aquesta manera podia explicar millor els processos de generació i corrupció que es donen en el *món sublunar*. Els quatre elements es poden transformar mútuament, perquè estan cadascun d'ells constituïts per aparellaments de les qualitats elementals, que són el càlid i el fred, l'humit i el sec. El foc és l'aparellament del càlid i el sec; l'aire, del càlid i l'humit; l'aigua, del fred i l'humit, i la terra, del fred i el sec.

Aquells quatre elements es mouen tendint a ocupar el *lloc natural* que els és propi. Així, el foc i l'aire, que són elements lleugers, es mouen verticalment, de manera ascendent, vers el seu *lloc natural* que és dalt; d'altra banda, la terra i l'aigua, que són pesants, tenen moviment descendent i tendeixen al seu *lloc natural*, el centre de la Terra. Llegim en *Sobre el cel* I, 8, 277a:

25. Sobre les diferències entre els quatre elements, vegeu Víctor GÓMEZ-PIN (1984), «Sobre el problema de las diferencias originarias de los elementos», a *El orden aristotélico*, p. 295-310.

Que hi ha un lloc que és natural que s'hi desplaci la terra i el foc és evident també a partir dels altres moviments. [...] El foc i la terra no es desplaçaran fins a l'infinit sinó fins als oposats [...].

En relació amb alguns elements, i sobretot l'aire, podem llegir en *Sobre el cel* IV, 308b:

A més de tot això, com diuen que el que té menys parts homogènies és més lleuger i el que en té més, més pesat, i que l'aire i l'aigua i el foc consten dels mateixos triangles, però difereixen pel nombre petit o gran d'aquests, i per això un d'aquells cossos és més lleuger i un altre més greu, hi haurà, per això mateix, alguna quantitat d'aire que serà més pesada que l'aigua.

La matèria del *món supralunar*, dels cels, del món habitat pels déus, és l'*aire celestial*, que Aristòtil anomena amb el terme αἰθήρ (*èter*), també dit *quinta essència* o *quinta substància*. Aquesta matèria té la capacitat d'anar d'un punt a un altre punt i per això tan sols pot rebre el moviment local circular, ja que l'èter no és ni pesat ni lleuger. Aquest èter no va ser engendrat ni morirà, no està sotmès al creixement ni tampoc a cap mena d'alteració. És per ell que també els cels són igualment incorruptibles i és per ell que els déus que hi viuen són immortals.

La distinció aristotèlica dels dos móns, amb unes lleis físiques per a cadascun d'aquests móns i amb la consideració d'un aire exterior celestial, l'èter, restarà gairebé intacta fins a la modernitat; una física metafísicament compresa que culmina amb la demostració d'un primer motor immòbil. Dos móns: l'un, lloc de l'eternitat; l'altre, lloc de la temporalitat. Si no existís el món de l'eternitat, tampoc no existiria el món de la temporalitat. Móns diferents, físiques diferents. En la modernitat s'explicaran aquest dos móns aristotèlics amb una

sola física, i, d'aquesta manera, el *kosmos* passarà a anomenar-se, a partir de la modernitat newtoniana, *univers*, perquè una sola física és capaç d'explicar tot allò que s'hi esdevé: tot tendeix a la unitat, *versus unum, universum* (*universa*, en llatí s'usava en plural per a referir-se als cels).

A més de tot el que Aristòtil diu sobre l'*aire* (ἀήρ) en la seva cosmologia, cal que retinguem el que diu en relació amb l'*aire* que dóna i manté la vida (πνεῦμα).

En primer lloc, cal dir que Aristòtil recull la distinció que ja havia formulat l'escola hipocràtica i el mateix *Timeu* platònic (*Timeu* 84d), una distinció possiblement deutora d'Empèdocles, entre l'aire fred de l'atmosfera que respirem i un *aire psíquic* (τὸ ψυχικὸν πνεῦμα), un aire interior, natural i calent que, amb la calor de la sang del cos circula dins les venes i té com a seu central el cor. Aquest *aire psíquic*, ja ho hem vist anteriorment en altres autors, era considerat, també per Aristòtil, la força que donava la vida (cf. *Sobre el moviment dels animals* X, 703a9 i s.).

Aquell πνεῦμα es troba en diversos graus en els vivents. Així, pot ser entès com a *alè innat* (τὸ σύμφυτον πνεῦμα) que, quant a principi formal, actua en el desenvolupament de l'embrió fent que apareguin les diferències morfològiques, és a dir, els diversos òrgans (cf. *Sobre la generació dels animals* II, 6, 741b37).

També podem trobar el πνεῦμα en el vivent com a *alè vingut de fora* (τὸ ἐπίσασκτον πνεῦμα) (cf. *Sobre les parts dels animals* II, 6, 659b17 i s.). És el πνεῦμα que, venint de fora, manté i regula la calor del πνεῦμα interior. La seva activitat la realitza diversament, segons si es tracta d'una bèstia o d'un ésser humà. Si es tracta d'una bèstia, el πνεῦμα actua governant i guiant el cos a partir dels *instints* (φαντασῖαι); si es tracta d'un ésser humà, igualment actua governant i guiant el cos, però ho fa a partir de la *intel·ligència* (διάνοια) (cf. *Sobre el moviment dels animals* X, 703a4 i s.).

El πνεῦμα, entès com un instrument corporal substancial, actua a com intermediari de l'ànima (ἡ ψύχη), la qual, gràcies a aquest πνεῦμα, fa del cos un vivent, és a dir, manté els moviments i les sensacions corporals. De fet, el πνεῦμα així considerat està, segons Aristòtil, clarament separat de l'ànima i també del calor innat (ἔμφυτος τέρωτης), cosa que després els estoics, contràriament, consideraran unit.

També en Aristòtil, doncs, l'aire (ἀήρ) i l'alè (πνεῦμα) que dóna i manté la vida, en les seves específiques funcions, tenen un lligam ben estret en la consideració del món vivent i dels vivents.

10. NOTA SOBRE L'ÚS DEL TERME πνεῦμα EN L'ESTOÏCISME

No voldríem acabar sense fer esment, ni que sigui de manera breu, en forma de nota, a l'ús sovintejat que els estoics fan del terme πνεῦμα. El terme estoic de πνεῦμα obre el seu sentit a una pluralitat significativa d'àmbits. En efecte, πνεῦμα s'usa tant en l'àmbit físic, com en el psicològic i antropològic, com també en l'àmbit de la cosmologia, de la metafísica i la teologia.

Els estoics visqueren preocupats per realitzar, en els marges de l'espai i del temps humans que els tocà de viure, un *model de savi*, una *manera de viure*, que, a través d'un domini del cos i d'un cultiu de l'ànima, els possibilités, ja en el seu present, viure aquella serenor (ἄταραξία) que els acostava a una vida veritablement humana i molt propera a la divina.

De cap manera no podem identificar el πνεῦμα dels estoics amb l'aire, quant a element constitutiu del tot, de l'univers. Certament els estoics consideren el πνεῦμα com un cos (σῶμα), com una substància pròpia (οὐσία). Si se'l volgués comparar amb els quatre elements —comparació poc escaient—, el πνεῦμα dels estoics seria com la unió del foc (πύρ) i de l'aire (ἀήρ) i, justament per ser com una unió de foc i d'ai-

re, resulta ser molt més lleuger que cap dels quatre elements. Té més força i realitza més activitat que no pas els quatre elements. No sols això, els estoics, a causa d'aquesta comprensió del πνεῦμα, el consideren la font i el principi diví dels quatre elements, els quals penetra. En general, dins l'estoïcisme, és considerat com la *quinta essència*, amb un sentit prou semblant a l'èter d'Aristòtil.

Dins l'estoïcisme, cada autor parla determinant la naturalesa del πνεῦμα. Amb tot, dels testimonis que posseïm, sobretot del de Crisip (280-210 aC?),²⁶ el tercer escolarca de la Stoa, podem afirmar que la corporeïtat del πνεῦμα és molt tènue i invisible, i que la seva forma és aèria. Igualment se'ns refereix que el πνεῦμα té les propietats del foc i de la calor; que té un moviment propi i espontani, i que penetra tota la realitat.

En el fragment 473 de Crisip llegim:

Per tal de constituir un tot, tota la substància és establerta i completament penetrada d'un cert buf/esperit (πνεῦμα) a través del qual el tot es manté, subsisteix i està en harmonia.

En el fragment 449 del mateix Crisip llegim que les diferències individuals són degudes al πνεῦμα:

Les qualitats, essent dels esperits (πνεύματα) i dels vincles acris, modelen i configuren totes les parts de la matèria en les quals elles neixen.

No tots els esperits (πνεύματα) tenen el mateix grau de puresa, ni de força. Aquesta diversa gradació dels esperits fa

26. Cf. R. GOULET, P. HADOT i F. QUEYREL (1994), «Chrysippe de Soles», a *Dictionnaire des philosophes antiques*, II, p. 329-365, i també CHRYSIPPE, *Oeuvre philosophique*, I i II, textos traduïts i comentats per Richard Dufour (2004), París, Belles Lettres, 688 + 752 p.

que les coses inorgàniques i inertes que són penetrades per ells tinguin també graus de consistència diversos. Per això hi ha realitats materials de consistència diversa: no és igual una fulla que un roc.

En el fragment 368 de Crisip llegim:

És l'esperit (πνεῦμα) el qui manté el cos (σῶμα).

El πνεῦμα (πνεῦμα φυσικόν) procura pel creixement de les plantes i dona als animals la seva ànima (cf. els fragments 715-716). En l'home l'ànima consisteix en un πνεῦμα particularment lleuger i molt fi (cf. el fragment 897).

L'esperit (πνεῦμα) circula en l'home a partir del cor, que és el centre de l'home, la seu de la vida de l'ànima. Del cor se'n va, a través de diverses vies, cap a la resta del cos (fragment 826), fent possible les funcions vitals de l'ésser humà, això és, les seves funcions físiques i psíquiques. Sobretot fa possible l'activitat dels cinc sentits, la de la procreació, la del pensament i la de la paraula.

Com més endavant dirà l'estoic romà Sèneca: en el cos humà, el *spiritus* (πνεῦμα) és el suport de la *ratio* (λόγος) i, en aquest sentit, la *ratio* participa del πνεῦμα diví i còsmic (*ex illo coelesti spiritu*, en *Dialogui XII*, 6, 7) que habita les regions etèries i és el guia (en la tradició estoica grega: τὸ ἡγεμινοκόν) del món. Així ho llegim en *Epistolas morales* 66, 12:

En el cos humà, la raó no és altra cosa que una part immersa de l'esperit diví (Ratio autem nihil aliud est quam in corpus humanum pars divini spiritus mersa).

Sèneca dirà d'aquest *spiritus* que roman en el nostre cos que és un *esperit sant* (*spiritus sacer*), un *spiritus sacer* que, tal com llegim en *Epistolas morales* 41, 2:

Roman en nosaltres, que ens observa i ens guia en totes les nostres accions, tant si són dolentes com si són bones (Intra nos sedet, malorum bonorumque nostrorum observator et custos).

Aquest *spiritus sacer* encarna déu a l'interior de l'home. Així ens ho diu, per exemple, Ovidi, en la seva *Ars amatoria* III, 549, referint-se a la inspiració poètica:

Hi ha un déu en nosaltres i ens relacionem amb el cel, l'esperit que hi ha en els habitacles eteris ve a nosaltres (Est deus in nobis et sunt commercia coeli, sedibus aethereis spiritus ille venit).

Per als grecs, recordem-ho, el nom del πνεῦμα còsmic, unió d'aire i de foc, no era altre que el nom de Zeus. Així ens ho refereix l'himne òrfic a Zeus (*Fragments òrfics* 21 [cf. Pseudo-Aristòtil, *De Mundo* 7]) on Zeus s'anomena déu «alè de totes les coses» (πνοιῆ πάντων) i «ardor de foc incansable» (ἀχαμάτου πυρός ὄρη). És veritat, tanmateix, que, en el marc de la religiositat popular grega, trobem que el πνεῦμα còsmic és identificat amb altres divinitats tradicionals (cf. Crisip, fragment 1093).

La doctrina estoica sobre el πνεῦμα fou extraordinàriament important. I com que els estoics ens transmeteren molts dels textos dels filòsofs antics, cal llegir amb atenció aquells textos, ja que autors com ara Anaxímenes, per exemple, potser calgui llegir-los des de la comprensió que del πνεῦμα tenia l'estoïcisme. La doctrina estoica del πνεῦμα també tingué repercussió en l'escola mèdica dels segles II i I dC, escola mèdica que s'anomenava precisament «pneumàtica». En aquesta escola la noció de πνεῦμα hi és considerada un dels punts cabdals de la seva medicina: el πνεῦμα és un dels elements principals de l'organisme humà i a ell es deuen moltes malalties. Per

això caldrà estudiar els πνεύματα de l'organisme humà amb atenció. Segons aquesta escola pneumàtica, tal com llegim en el Pseudo Galileu, *Definitiones medicas* (cf. Kuhn, ja citat, 19, 356):

El nostre cos està compost de sòlids, de líquids i de bufs/aires/esperits (πνεύματα).

Hem de fer notar que més endavant, per a Plotí (205-270), el pare de l'anomenat *neoplatonisme*, el πνεῦμα només tindrà un paper negatiu. Plotí ha estat un dels crítics més rellevants dels estoics i, en la seva crítica, acusa els estoics d'haver dotat el πνεῦμα de corporalitat (extensió limitada i divisibilitat). Per això, per a Plotí el πνεῦμα té un sentit negatiu. Per a ell el que per als estoics fa el πνεῦμα ho realitza la ψύχη i, per això mateix, tampoc el πνεῦμα no pot, com ho fa la *sang* (αἷμα), donar vida al cos i a l'ànima. En aquest sentit és ben il·lustrador el text de Plotí (*Ennèades* IV, 7, 8):

I, certament, no són ni el pneuma (πνεῦμα) ni la sang (αἷμα), sinó l'ànima (ψύχη) el que pot penetrar totes les coses.

Únicament *una* vegada en tot el *Corpus Plotinianum* (*Ennèades* II, 2, 2) es parla amb una certa prudència del πνεῦμα, quan es refereix al πνεῦμα que gira entorn de la nostra ànima (ψύχη):

Igualment en nosaltres el buf/esperit (πνεῦμα) actua així al voltant de la nostra ànima (τὸ περὶ τὴν ψυχὴν τοῦτο ποιεῖ).

11. CONCLUSIÓ

L'itinerari establert, a través del qual hem pogut resseguir d'una manera sumària alguns dels principals autors de la literatura hel·lènica que han parlat sobre l'*aire*, ens ha permès posar en relleu no sols el polimorfisme terminològic d'aquell concepte, sinó també la polisèmia dels termes que expressaven i expressen lingüísticament el que originàriament es deia i es diu amb el terme genèric *aire*.

El caràcter propi de l'*aire* és la seva capacitat de penetrar-ho tot, d'expandir-se al màxim, d'ocupar el màxim volum. La seva invisibilitat i la seva subtilesa permeteren, a causa del seu desplaçament que el feia perceptible als sentits, comprendre'l com *una* realitat que abraçava *tota* la realitat, tant en el seu ésser extern (el món exterior, l'atmosfera) com el seu ésser intern (el món interior, l'ànima o l'esperit) que conforma el món i els vivents que l'habituen. La manera grega de comprendre el món i l'home a partir de la realitat que expressem amb el terme *aire* —a través de les seves diverses *formes* terminològiques— no dissociava la vida externa (material) de la interna (anímica o espiritual), ja fos del món en general (l'univers vivent), ja fos del món humà (del vivent humà). Sense una harmonia entre l'exterior i l'interior, no s'hi considera possibilitat de vida, ni de vida desplegada en la seva plenitud. Els diversos revolts que el pensament humà efectuà en les seves consideracions sobre l'*aire* li permeteren de veure i mostrar aquesta necessària interrelació de l'*aire* atmosfèric i climàtic i l'*aire* que anima i constitueix la vida de l'home, entre l'*ἄήρ* i el *πνεῦμα*, per dir-ho de manera ràpida (sense menysprear altres termes grecs que hem esmentat).

Les consideracions gregues sobre l'*aire* ja veieren, fins i tot sense tenir al seu davant una problemàtica tan preocupant com la nostra, la necessitat de fecundació mútua entre el coneixement (científic) del món i de l'home i la decisió per a una

actuació humana (ètica) de respecte envers l'entorn i la vida. Aquell present hel·lènic perviu en el nostre present com a memòria d'un pensament que, en tensió amb la vida, s'obliga a replantejar, una i altra vegada, la seva relació indefugible amb un dels elements constitutius del món: l'*aire*, que és realitat vivent per al món i per a l'ésser humà, per a qui l'aire esdevé alè de vida, *esperit*. L'*aire* en el cosmos i l'*aire* en l'home són i participen de la *vida*. Abandonar avui el pensament sobre l'*aire* és abandonar la *vida*, la d'avui i la de demà. La memòria dels pensadors grecs signa en el present en favor de la vida d'avui i de demà.



INSTITUCIÓ CATALANA
D'HISTÒRIA NATURAL (1)
EL POLLEN I LES ESPORES A L'AIRE,
A CÀRREC DE
JORDINA BELMONTE,
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA
DE BARCELONA

Els grans de pol·len són cèl·lules que es formen, per meiosi, en els sacs pol·línics dels estams de les plantes amb flor. Estan dotats d'una coberta molt dura o esporodermis que els confereix una gran resistència i un aspecte particular del qual parlarem més endavant. Contenen el material genètic masculí, de manera que estan estretament relacionats amb la reproducció. Quan el gra de pol·len o pol·len està ben desenvolupat (madur), s'inicia el procés anomenat pol·linització, que consisteix en què el pol·len, un cop ha abandonat l'estam, i ajudat d'algun mecanisme de transport, s'aproxima a les estructures femenines d'una flor de la seva mateixa espècie. Si aconsegueix arribar-hi, el pol·len emet una estructura tubular, el tub pol·línic, que va penetrant els teixits fins a atènyer, amb els nuclis masculins ja ben desenvolupats, l'ovocèl·lula. Produïda la fecundació, es desenvolupa la llavor, òrgan que conté l'embrió d'un nou individu, és a dir, diàspora que fa possible la continuïtat de l'espècie, alhora que contribueix a mantenir la variabilitat del material genètic, ja que conté gens materns i paterns alhora. És per això que les espècies vegetals han desenvolupat diferents mecanismes de protecció de la llavor: és el cas dels fruits que la contenen en les angiospermes i dels anomenats pseudofruits que les acompanyen en les gimnospermes.

Les espores són cèl·lules que es formen, per mitosi o per meiosi, a les plantes criptògames. N'hi ha que contenen el material genètic masculí i femení, de manera que estan relacionades amb la reproducció sexual, i n'hi ha que tenen per funció la reproducció asexual, és a dir, la formació de nous individus directament. Si l'espóra és de caire sexual, un cop fusionada amb una de signe contrari, dóna lloc a un zigot amb dotació genètica mixta que contribueix a mantenir l'espècie i n'assegura la variabilitat genètica. Les espores asexuals, que

es formen en nombre molt elevat, donen lloc, en canvi, a individus genèticament idèntics (llevat que es produeixin mutacions) al que els forma i contribueixen, bàsicament, a l'expansió de l'espècie. Entre totes les espores de plantes criptògames, parlarem en aquest treball d'espores de fongs, pel fet que són, amb diferència, les més nombroses a l'aire.

La definició que hem fet d'espora, basada en la de Sáenz Laín (2004), limita la paraula espora a les plantes criptògames. L'hem escollit perquè ens sembla la més adequada per a un treball com aquest, però no volem deixar d'afegir que també podríem fer una definició més àmplia d'espora, la qual inclouria el pol·len com un tipus particular d'espora (la masculina, resultant d'una meiosi) pròpia de les plantes fanerògames.

PÒLENS, ESPORES I AIRE

Pòl·lens i espores de fongs són components habituals de l'aire. Moltes espècies de plantes amb flor i de fongs, espècies anemòfiles, utilitzen l'aire com a vehicle per a la difusió de les seves cèl·lules reproductores. En aquests casos, per assegurar-se que les diàspores arriben a acomplir la funció biològica de multiplicar o d'assegurar la diversitat genètica de l'espècie, en formen un nombre molt i molt elevat per tal que alguna d'elles reïxi.

PÒLENS, ESPORES I MEDI

De quina manera interactuen els pòl·lens i les espores de fongs amb el medi? Hem decidit agrupar les interaccions en positives o beneficioses i negatives o perjudicials, tot i que som conscients que aquesta diferenciació és feta, majoritàriament, des d'una visió antropocèntrica i que no sempre és clar quin dels dos qualificatius aplicar.

Ja s'ha apuntat que les partícules que ens ocupen contribueixen a mantenir la biodiversitat i a mantenir i/o fer augmentar el nombre d'individus. El medi queda, per tant, beneficiat d'aquest fet resultant de l'acció de pòl·lens i espores (llevat que l'organisme que proliferi pugui resultar perjudicial). També és favorable el fet que es formin llavors, fruits, bolets i fongs microscòpics, mel, etcètera, dels quals es poden alimentar els éssers vius, ja siguin animals o vegetals. Un procés imprescindible en la natura per tal que els nutrients continguts a la matèria orgànica morta siguin posats de nou en circulació, la biodegradació, també depèn de l'existència de fongs i, per tant, de les espores.

Una interacció negativa és la capacitat de desencadenar al·lèrgies respiratòries en l'home i els animals dels pòl·lens i les espores de fongs d'algunes espècies molt abundants a l'aire i també el fet que moltes malures (malalties d'origen vegetal) es dispersen a través de l'aire. Com a efecte negatiu, hem de parlar, també, de l'anomenat biodeteriorament, és a dir, del creixement de fongs (també altres vegetals i bacteris) sobre matèria orgànica morta (fusta, paper, teles...) o matèria mineral (edificacions, monuments, vidre, pintura...) que l'home valora, de manera que, en lloc d'interpretar el procés com de biodegradació, se li atribueixen connotacions negatives. Finalment, també tenim tendència a assenyalar com a negatiu, encara que ja hem dit que era imprescindible que passés d'aquesta manera per tal de mantenir la vida a la terra, el fet que part de la contaminació atmosfèrica, és a dir, de les impureses contingudes a l'aire, sigui d'origen biològic. Parlarem una mica d'aquest fet al final d'aquest treball.

La capacitat dels grans de pol·len i les espores de fongs de causar asma, rinitis i rinorrea (al·lèrgies) és motivada per les proteïnes que tenen a la superfície i a l'interior i que fàcilment es vessen quan el pol·len o l'espóra es troba en condicions ambientals adequades per a la germinació. Aquesta ger-

minació, que ha de produir-se sobre les estructures florals femenines en el cas del pol·len i en diversos ambients en el de les espores de fongs, es pot produir, també, sobre una mucosa humana o animal humida i exposada a l'aire (nas, ulls). Quan les proteïnes al·lèrgiques incideixen en mucoses de persones i animals que s'hi han sensibilitzat, apareixen les al·lèrgies, que es manifesten amb intensitat diferent en funció de la sensibilitat de l'afectat i de la quantitat d'agent al·lèrgic. El treball de Seoane i Suárez-Cervera (1986) mostra, mitjançant imatges de microscòpia electrònica de transmissió, el ràpid alliberament del contingut cel·lular del pol·len de *Parietaria* a través del porus, després de sotmetre'l a condicions d'humitat i temperatura similars a les de la mucosa nasal humana.

PALINOLOGIA I AEROBIOLOGIA

Els grans de pol·len i les espores de fongs presenten característiques morfològiques diferencials que en possibiliten la classificació. Hyde (1944) descriu la palinologia com l'estudi de les espores de les plantes i la seva dispersió i aplicacions. Si bé en un principi la palinologia estava dedicada a estudis d'història de la vegetació i d'anàlisi de pòl·lens retinguts en els sediments torbosos i minerals (paleopalinologia), aviat va sorgir la branca anomenada aeropalinologia, dedicada a l'estudi dels pòl·lens i les espores aerovagants o difoses a través de l'aire. Fred Campbell Meier va idear el terme aerobiologia (Haskell i Barss, 1939), molt emprat d'ençà de la dècada dels anys setanta del segle XX (Edmonds i Benninhoff, 1973) i que ha esdevingut el més acceptat i utilitzat actualment per als estudis de la diversitat i quantificació de les partícules esporopòl·líniques atmosfèriques i de les causes i condicions de la seva dinàmica.

Els primers estudis de caire aerobiològic publicats, els de Pasteur (1861), Miquel (1883) i d'altres contemporanis

com Tyndall (Comtois, 2001) no feien referència al nom aeropalinologia perquè es feien dins el camp de la medicina, i miraven d'aprofundir en la malaltia del *Catarrhus aestivus* descrita per Bostock (1819) i popularitzada per Blackley (1873). Per a més detalls sobre la història de l'aerobiologia es pot consultar Belmonte i Roure (2005). Actualment la paraula aerobiologia s'utilitza indistintament tant per part dels especialistes en biologia com els mèdics, que col·laboren habitualment per avançar en la comprensió de les dinàmiques atmosfèriques de les partícules aerovagants i de les manifestacions al·lèrgiques.

Són moltes les obres publicades sobre palinologia. Normalment es limiten a l'estudi morfològic dels grans de pol·len (Nilsson i Pragłowski, 1992; Moore i Webb, 1978...), molt poques abasten també les espores de fongs (Grant, 1990) i algunes es refereixen només a aquestes (Gregory, 1973; Nilsson, 1983). S'hi repassen, de manera ordenada i tenint en compte totes les possibilitats, aquells aspectes de l'esperodermis que cal observar per aconseguir la identificació de la partícula. Belmonte i Roure (2002) presenta un resum gràfic exhaustiu d'aquestes característiques diferencials. Forma, mides, tipus i nombre d'obertures, ornamentació de la paret... Després d'haver observat detingudament aquestes característiques, podrem identificar el tipus de pol·len o l'espora de fong. Cal assenyalar que la precisió de la identificació és desigual. En el cas de les plantes amb flor, arriba, de vegades, a nivell d'espècie (exemple: *Corylus avellana*), més sovint a nivell de gènere (*Plantago*, *Platanus*, *Quercus*...) i de família (*Poaceae* o gramínies, *Asteraceae* o compostes, *Cupressaceae*...) o de grups de famílies (*Chenopodiaceae-Amaranthaceae*). En el cas de les espores de fongs, la complexitat augmenta i amb ella la dificultat d'identificació a partir de la morfologia i trobem identifications a nivell de gènere (*Alternaria*, *Cladosporium*...), grups de gèneres (*Aspergillus/Penicillium*), famílies (*Coprinaceae*, *Xylariaceae*...), amplis grups taxonòmics (ascomi-

cots) i tipus d'espores (oïdis). A causa d'aquesta heterogeneïtat de categories sistemàtiques, utilitzem el terme més genèric de tàxon quan ens referim als elements identificats.

L'esperodermis o paret del gra de pol·len està formada per dues capes: la intina, en contacte amb el contingut cel·lular, i l'exina, externa. El component químic d'aquesta paret és l'esperopol·lenina, un dels materials més resistents de la natura. La intina desapareix, de la mateixa manera que el contingut cel·lular, quan el gra de pol·len germina o bé quan el gra de pol·len mor i es fossilitza. L'exina, en canvi, roman inalterada a gairebé tots els agents externs. Només els pòl·lens que sedimenten en substrats molt rics en carbonat càlcic pateixen degradació de l'exina; la resta d'ambients, per extrems que siguin, deixen intacta, com a màxim deformada, la coberta pol·línica. De fet, la palinologia, està basada en l'exina i és possible gràcies a la seva resistència.

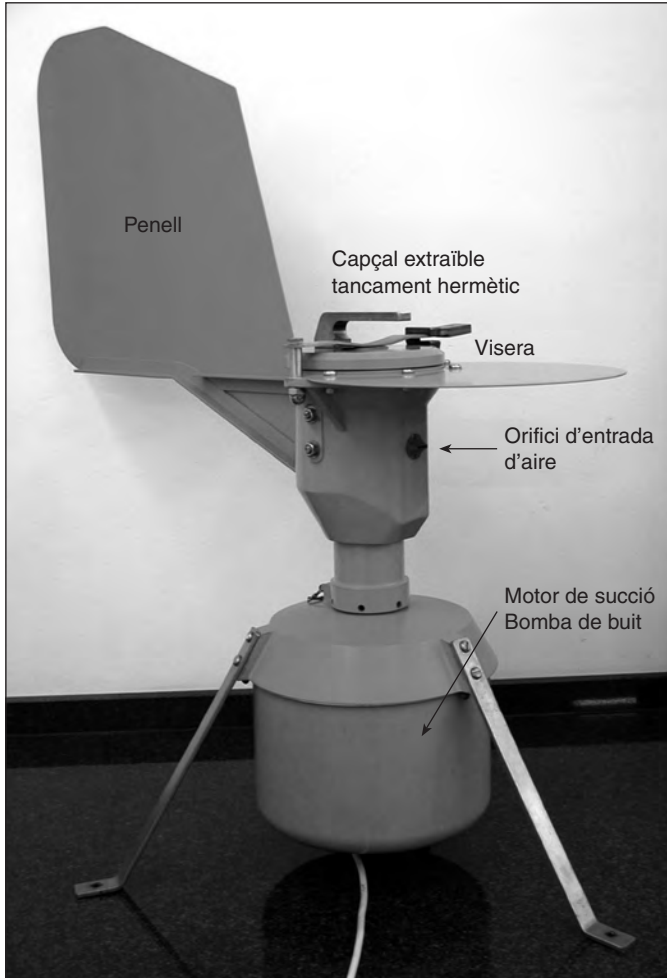
Els grans de pol·len estan adaptats a la pol·linització. Els que seran arrossegats pels corrents d'aire, és a dir, els de les plantes de pol·linització anemòfila són esfèrics, petits o mitjans de mida i l'exina és molt llisa. Alguns pòl·lens, com els de les pinàcies, són grans, però han desenvolupat una mena de cavitats buides que els fan més lleugers i fàcils de difondre. Les flors de plantes anemòfiles solen ser petites i molt poc vistoses i solen estar agrupades en inflorescències molt exposades, de manera que el vent, fàcilment, venci les forces que mantenen el pol·len en contacte a l'estam, l'arrossegui i el posi a disposició dels corrents.

Les espècies que tenen animals com a vector de pol·linització, entomòfiles, presenten pòl·lens mitjans i grans, amb l'exina molt ornamentada i/o rica en grassa, de manera que s'adhereixen al cos del pol·linitzador amb facilitat. Les plantes amb pol·linització entomòfila presenten flors molt vistoses com a reclam per als pol·linitzadors.

Per tal d'establir la relació de pòl·lens i espores presents a l'atmosfera i estudiar-ne la dinàmica al llarg del temps i de l'espai, s'utilitzen aparells anomenats captadors esporopol·línics. N'hi ha de diverses menes i basats en diversos principis de captació (Belmonte i Roure, 2002), però en la darrera dècada del segle XX es va fer un esforç important en unificar criteris i acordar metodologies de mostreig que permetessin crear bases de dades comunes. És així com els captadors de tipus Hirst (1952) han esdevingut els estandarditzats en les xarxes aerobiològiques europees.

A l'Estat espanyol es va acordar treballar amb el captador Hirst l'any 1992, quan es va crear la Red Española de Aerobiología (REA), i es va definir, també, una metodologia comuna d'anàlisi pol·línica de les mostres aerobiològiques (Domínguez *et al.*, 1992). Al mateix temps es va reactivar el Comité de Aerobiología de la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEAIC). Ambdues entitats de recerca aerobiològica d'àmbit estatal treballen amb la mateixa metodologia i es nodreixen amb les dades de les diferents xarxes autonòmiques. La Xarxa Aerobiològica de Catalunya (XAC), constituïda l'any 1987 sobre la base de l'experiència desenvolupada ininterrompudament d'ençà de l'any 1983, va decidir integrar-se en aquestes xarxes estatals i internacionals tot i que això suposés canviar les metodologies de mostreig (Belmonte, 1988), de manera que opera amb captadors Hirst d'ençà de 1994.

Hi ha dues marques comercials del captador Hirst (1952), l'anglesa Burkard i la italiana Lanzoni. Si bé cada una d'aquestes marques comercialitza diversos models, el que s'utilitza en els mostreigs aerobiològics és l'anomenat captador d'espores de set dies (*seven-day recorder spore trap*). Es tracta d'un aparell (figura 1) que va connectat a la xarxa elèc-



95

FIGURA 1. *Captador Hirst.*

trica (o a bateries) per tal que un motor disposat en el seu interior aspiri continuadament un volum d'aire conegut (10 l/min) que farà entrar a través d'un orifici de 14×2 mm. Dins el captador i enfrontat a l'orifici d'entrada d'aire, s'hi instal·la un tambor que duu enrotllada una cinta de plàstic untada amb substàncies adhesives. En aquesta superfície adhesiva queden retingudes les partícules que duu l'aire que és impel·lit a l'interior. Un mecanisme de relloteria allotjat sota el tambor fa que aquest avanci a una velocitat de 2 mm/h. Les dimensions del tambor permeten el mostreig durant set dies. Passats aquests se substitueix la cinta plàstica ja exposada per una de verge i es procedeix a continuar mostrejant.

Dur un estricte control del dia i l'hora en què es canvia el tambor permet elaborar una preparació per a cada dia de la setmana. La preparació s'analitza en el microscopi òptic, i s'identifica cada un dels pòl·lens que se situïn en quatre bandes longitudinals distribuïdes regularment a la superfície de la mostra i cada una de les espores de fongs que apareguin en una banda longitudinal. Si convé, les mostres es poden analitzar també amb precisió horària. S'obté un espectre (relació quantificada) de pòl·lens i espores que es va completant amb el dels dies següents fins a confegir el que és l'espectre esporopol·línic atmosfèric de la localitat. Aquests espectres són interessants quan representen un cicle anual complet i ho són més encara quan recullen les condicions observades durant diversos anys, ja que queden suavitzades les influències d'un any en particular.

RESULTATS. PÒL·LENS

Els espectres esporopol·línics de les localitats estudiades amb captadors Hirst per la XAC presenten, de mitjana, noranta tàxons pol·línics i quaranta tàxons espòrics diferenciats. D'a-

quests tàxons, alguns es presenten en quantitats molt elevades i d'altres apareixen escadusserament. Els abundants i els freqüents són els que estan relacionats amb les al·lèrgies respiratòries.

Les dades obtingudes en les anàlisis aerobiològiques es processen matemàticament per tal de convertir-les a nombre de pòl·lens i espores per metre cúbic d'aire (P/m^3 i E/m^3). La figura 2 mostra l'evolució de les concentracions mitjanes diàries (eix Y) de pol·len d'urticàcies (*Parietaria*) a Bellaterra durant l'any 2003 (eix X). Permet observar que es tracta d'un pol·len que s'enregistra durant tot l'any i que les concentracions d'un dia a l'altre oscil·len notablement, encara que hi ha una època de l'any, de març a juny, en què les concentracions són especialment elevades. Si comparem el valor de les concentracions assolides pel pol·len d'urticàcies amb el de cupressàcies de la mateixa localitat i any (figura 3), veiem que hi ha pics diaris de pol·len de cupressàcies quinze vegades superiors als d'urticàcies i que el període estival no hi ha pol·len de cupressàcies a l'atmosfera. Fixem-nos en la diferència d'es-

97

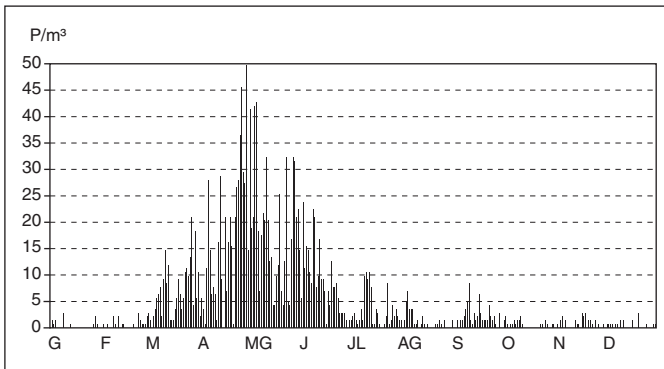


FIGURA 2. Dinàmica de les concentracions mitjanes diàries de pol·len d'urticàcies (*Urticaceae-Parietaria*) a l'atmosfera de Bellaterra, any 2003.

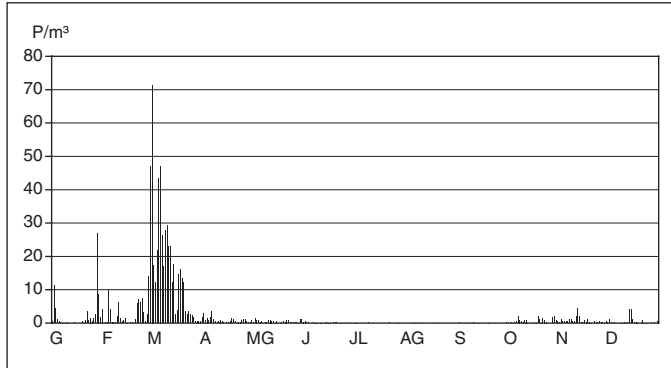


FIGURA 3. Dinàmica de les concentracions mitjanes diàries de pol·len de cupressàcies (*Cupressaceae*) a l'atmosfera de Bellaterra, any 2003.

cala de l'eix Y, que fa que pugui semblar que d'abril a juny i d'octubre a desembre no hi hagi pol·len de cupressàcies quan, en realitat, els valors són d'ordre similar als d'urticàcies. Les figures 2 i 3 ens serveixen per a evidenciar que hi ha plantes que pol·linitzen en diferents moments de l'any i que ho fan en quantitats molt variables.

A l'hora de divulgar resultats és més comú mostrar les dades aerobiològiques en forma de concentracions mitjanes setmanals (mitjana de les concentracions mitjanes diàries dels set dies corresponents a una setmana), tractament que suavitza la successió de pics i facilita la interpretació de la corba. Cal tenir present, en aquest cas, que la numeració de les setmanes ha de seguir la normativa ISO 8601 (Kuhn, 2001).

Quan una localitat ha estat estudiada durant diversos anys i se'n comparen les concentracions mitjanes diàries i/o setmanals, s'observa, dins una certa coincidència en l'època de pol·linització, una certa variabilitat, que cal tenir en compte especialment quan es tracta de pòl·lens o espores al·lèrgènics. La figura 4 mostra l'evolució de les concentracions mit-

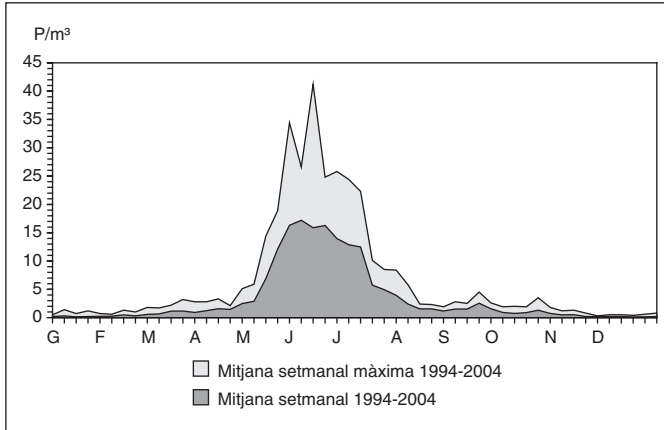


FIGURA 4. Dinàmica de les concentracions mitjanes setmanals (àrea de color gris fosc) i de les concentracions mitjanes setmanals màximes (àrea de color gris clar) de pol·len de gramínies (Poaceae) a Barcelona, període 1994-2004.

janes setmanals i les concentracions mitjanes setmanals màximes absolutes del període 1994-2004 de pol·len de gramínies a l'atmosfera de Barcelona. Tot i que la corba dels màxims absoluts correspongui a diversitat d'anys i mai no s'hagin presentat continuadament concentracions tan elevades, queda visualitzada la possible incidència de pòl·lens quan les condicions de floració i pol·linització són òptimes. També mostren aquesta gran variabilitat interanual de la pol·linització els índexs anuals (suma de les concentracions mitjanes diàries de tot l'any), com els representats a la figura 5 i que corresponen al pol·len d'olivera (*Olea*) a Tarragona, període 1996-2004.

Continuant amb l'interès de donar el màxim d'informació en el mínim espai possible i de tractar comparativament els diferents tàxons pol·línics al·lèrgens, es va idear (Belmonte, Canela i Guardia, 2000) una categorització de les

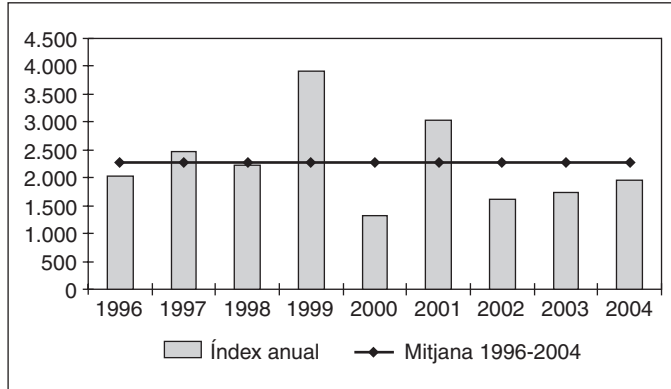


FIGURA 5. Índexs anuals de pol·len d'olivera (*Olea*) a Tarragona, període 1996-2004.

concentracions mitjanes setmanals. La informació es dona convertida a una escala de 0 a 4 combinant el nivell pol·línic amb la possibilitat que es produeixin al·lèrgies respiratòries.

A la XAC, en els informes que s'emeten setmanalment per a distribuir entre els especialistes mèdics i per a difusió a través de la web (<http://www.uab.es/l-analisis-palinologiques/aerobio.htm> apartats «En línia» i «Document PDF»), es fa la predicció dels nivells de pòl·lens i espores al·lèrgènics i la seva evolució durant la setmana que ha de començar utilitzant aquestes categories d'al·lèrgenicitat.

La representació categoritzada ha estat utilitzada també en els calendaris pol·línics de les estacions catalanes (<http://www.uab.es/l-analisis-palinologiques/aerobio.htm> apartat «Dades i estacions estudiades» i també a «Bibliografia»). Cada calendari pol·línic recull, en aquest cas, la dinàmica anual de trenta-tres tàxons pol·línics amb capacitat al·lèrgènica. L'elaboració d'aquests calendaris ha estat un projecte conjunt de Laboratoris Leti, SL i la XAC.

Se cita a continuació la seqüència de pòl·lens al·lèrgè-
 nics presents a l'atmosfera de les localitats catalanes estudiades,
 de gener a desembre. Alguns tàxons van acompanyats del símbol (*),
 que indica que són dels més al·lèrgènic, i/o del símbol (**), que
 indica que el tàxon es presenta durant tot l'any o gairebé tot l'any.
 A l'hivern els tàxons pol·línics són *Cupressaceae*(*)(**),
Corylus, *Acacia*, *Mercurialis*(**), *Fraxinus*,
Alnus, *Ulmus*, *Brassicaceae*; a la primavera, *Pinus*,
Populus, *Ericaceae*, *Acer*, *Platanus*(*), *Urticaceae*(*)(**),
Salix, *Pistacia*, *Moraceae*, *Betula*, *Quercus*, *Palmae*,
Poaceae(*)(**), *Cyperaceae*, *Plantago*, *Polygonaceae*,
Olea(*); a l'estiu, *Typha*, *Castanea*, *Eucalyptus*,
Ligustrum, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*(*)(**),
Asteraceae(**), i a la tardor, *Artemisia* i *Casuarina*.

Continua essent vàlida l'observació ja recollida a Belmonte (1988) per a Catalunya i a Belmonte i Roure (1991) per a la península Ibèrica que una elevada proporció de tàxons és comuna a totes les localitats estudiades i que els trets diferencials cal buscar-los en les proporcions dels tàxons. D'aquesta manera i fixant-nos en el territori ibèric, els pòl·lens més al·lèrgènic a la regió nord són *Poaceae*, *Betula*, *Urticaceae*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*, *Plantago*, *Castanea*; a la regió centre són *Poaceae*, *Olea*, *Platanus*, *Urticaceae*, *Cupressaceae*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*; a Andalusia i Extremadura són *Olea*, *Poaceae*, *Cupressaceae*, *Platanus*, *Urticaceae* i *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*; a la regió mediterrània són *Urticaceae*, *Poaceae*, *Platanus*, *Olea*, *Cupressaceae*, *Chenopodiaceae-Amaranthaceae* i *Plantago* i en les àrees amb sòls salats i guixos són *Chenopodiaceae-Amaranthaceae*, *Artemisia* i *Poaceae*.

Al final de l'any 2005 està previst abordar la confecció del calendari espòric de les localitats catalanes, projecte compartit novament per la XAC amb els Laboratoris CBF-LETI, SL.

D'un estudi recopilatori de la diversitat i quantitat d'espores de fongs a l'atmosfera de Catalunya fet l'any 2001, consultable a l'adreça <http://lap.uab.cat/aerobiologia>, se'n va concloure que els tàxons al·lèrgics més abundants a les sis localitats catalanes estudiades eren *Cladosporium*, *Alternaria*, *Coprinaceae*, *Ustilago* i *Aspergillus/Penicillium* (que morfològicament no es poden diferenciar). També assolien valors considerables *Leptosphaeria*, *Arthriniium*, *Drechslera-Helminthosporium* i *Agaricus*, entre d'altres.

L'any 2002 es va fer un estudi conjunt XAC – Societat Catalana d'Al·lèrgologia i Immunologia Clínica (SCAIC), que va comptar amb la col·laboració de catorze centres hospitalaris de les localitats catalanes, en què es mesuraven els nivells d'espores de fongs a l'atmosfera, consultable a <http://lap.uab.cat/aerobiologia>. El projecte buscava estudiar la prevalença de l'al·lèrgia a les espores de *Alternaria alternata*, *Aspergillus fumigatus*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium notatum* i *Ustilago maydis* en una població de 1.250 pacients amb asma o rinitis.

Les conclusions de l'estudi (Bartra, 2003) foren que hi havia més sensibilització a pòl·lens (30 % dels pacients) que a les espores de fongs testades (17 % dels pacients) i que les espores d'*Alternaria alternata* eren les de major prevalença (12 % dels pacients estudiats), seguides de les d'*Aspergillus fumigatus* (7 %), *Cladosporium herbarum* (4 %), *Penicillium notatum* (4 %) i *Ustilago maydis* (2 %). L'encreuament d'aquestes dades clíniques amb les aerobiològiques mostra clarament que calen més estudis per a poder aprofundir en aquest sentit, ja que la distribució d'al·lèrgics en el territori

no era coincident amb els nivells d'espores a l'aire. Així, per exemple, essent Lleida la localitat amb nivells més alts d'espores d'*Alternaria* a l'aire, és la localitat on es van detectar menys al·lèrgics, i, presentant Barcelona el nombre més elevat d'al·lèrgics a les espores de *Cladosporium*, és de les localitats on es comptabilitzen menys espores. Un dels aspectes que poden explicar aquestes no-coincidències és que es testaven espècies de fongs i que, per contra, les mesures aerobiològiques es referien (com no podia ser d'altra manera) a tàxons genèrics. Un altre aspecte és que els pacients poden resultar afectats per les espores dels ambients interiors (on també són abundants), no comptabilitzades en els estudis aerobiològics.

RESULTATS. LES MASSES D'AIRE COM A VEHICLE DE PARTÍCULES

103

La circulació atmosfèrica fa que les masses d'aire puguin tenir diverses procedències i, per tant, que arrossequin partícules d'allà on s'han aixecat o per on han passat fins on tornen a circular arran de terra. Dues experiències ens permeten il·lustrar aquest apartat, una d'elles ja publicada (Belmonte *et al.*, 2000) i l'altra, en fase inicial.

L'any 1996 es va detectar un notable increment de pol·len d'*Ambrosia* a totes les localitats catalanes estudiades excepte a Tarragona. Essent aquest pol·len molt al·lèrgic (el més problemàtic als Estats Units d'Amèrica) i trobant-se en franca expansió pel continent europeu, on ja és abundant des de fa anys (est de França i diversos països d'Europa de l'Est), resultava preocupant pensar que les concentracions de pol·len a Catalunya poguessin estar progressant tan notablement. L'observació conjunta de les dades aerobiològiques i les retrotrajectòries, o procedència de les masses d'aire dels dies previs

al pic de pol·linització observat, mostraven clarament com el pol·len enregistrat a la XAC el dia 8 de setembre de 1996 provenia, excepte en el cas de Tarragona, de la regió francesa on abunda aquesta planta. Es tractava, doncs, d'un transport de pol·len a llarga distància, cosa que han ratificat els baixos nivells de pol·len d'*Ambrosia* obtinguts posteriorment i a fins l'estiu passat.

L'experiència que s'està iniciant en col·laboració amb Xavier Querol i Miguel Escudero de l'Institut Jaume Almera i amb Emilio Cuevas de l'Observatorio Atmosférico de Izaña consisteix a estudiar conjuntament les mesures de partícules sòlides en suspensió a l'atmosfera (PST i PM10) i les concentracions esporopol·líniques amb els episodis de circulació atmosfèrica de diversa procedència. L'interès és doble: d'una banda, valorar la contribució dels pòl·lens i les espores de fongs als nivells de partícules observades i considerades com a contaminació atmosfèrica i, de l'altra, identificar i comptabilitzar els pòl·lens i les espores foranis que arriben a les estacions de la XAC. Disposar d'aquesta informació ha de permetre avançar en la comprensió de la zigzaguejant dinàmica atmosfèrica de pòl·lens i espores i en els estudis predictius.

BIBLIOGRAFIA

- BARTRA, J. (2003). «Mapa fúngico y estudio multicéntrico de sensibilización a hongos en Cataluña». *Alergología e Inmunología Clínica*, 18, p. 106-112.
- BELMONTE, J. (1988). *Identificació, estudi i evolució anual del contingut pol·línic a l'atmosfera de Catalunya i Balears*. Universitat Autònoma de Barcelona. [Tesi doctoral]
- BELMONTE, J.; CANELA, M.; GUARDIA, R.-A. (2000). «Comparison between categorical pollen data obtained by Hirst and Cour sampling methods». *Aerobiologia*, 16 (2), p. 177-185.

- BELMONTE, J.; ROURE, J. M. (1991). «Characteristics of the aeropollen dynamics at several localities in Spain». *Grana*, 30, p. 364-372.
- (2002). «Introducción». A: VALERO, A.; CADAHÍA, A. [ed.]. *Polinosis. Polen y alergia*. Vol. I. Barcelona: Laboratorios Menarini, p. 7-16.
- (2005). «La polinosis a través del tiempo». A: VALERO, A.; CADAHÍA, A. [ed.]. *Polinosis: Polen y alergia*. Vol. II. Barcelona: Laboratorios Menarini, p. 25-31.
- BELMONTE, J.; VENDRELL, M.; ROURE, J. M.; VIDAL, J.; BOTÉY, J.; CADAHÍA, A. (2000). «Levels of *Ambrosia* pollen in the atmospheric spectra of Catalan aerobiological stations». *Aerobiologia*, 16, p. 93-99.
- BLACKLEY, C. H. (1873). *Experimental researches on the causes and nature of Catarrhus Aestivus (Hay fever or Hay asthma)*, p. 1-202. [Reimpresió de Dawson's, Londres, 1959]
- BOSTOCK, J. (1819). «Case of a periodical affection of the eyes and chest». *Med. Chir. Trans.*, 10, p. 161.
- COMITÉ DE AEROBIOLOGÍA DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ALERGOLOGÍA E INMUNOLOGÍA CLÍNICA. *Introducción en la captación e identificación de los pólenes*. SEAIC. Almirall Prodesfarma, p. 6-9.
- COMTOIS, P. (2001). «John Tyndall and the floating matter of the air». *Aerobiologia*, 17, p. 193-202.
- DOMÍNGUEZ, E.; GALÁN, C.; VILLAMANDOS, F.; INFANTE, F. (1992). *Handling and evaluation of the data from the aerobiological sampling*. Córdoba: Universidad de Córdoba. (Monografías REA/EAN; 1), p. 1-18.
- EDMONDS, R. L.; BENNINGHOFF, W. S. (1973). *Aerobiology and its modern applications: US/IPB Aerobiology Report n° 3*. Ann Arbor: University of Michigan. Botany Department, p. 1-18.
- GRANT, E. (1990). *Sampling and identifying allergenic pollens and molds*. Texas: Blewstone Press.

- GREGORY, P. H. (1973). *The microbiology of the atmosphere*. 2a ed. Aylesbury: Leonard Hill.
- HASKELL, R. J.; BARSS, H. P. (1939). *Fred Campbell Meier, 1893-1938. Phytopathology*, 29, p. 293-302.
- HIRST, J. M. (1952). «An automatic volumetric spore trap». *Ann. Appl. Biol.*, 39, p. 257-265.
- HYDE, H. A. (1944). «Pollen analysis and the museums». *Museums Journal*, 44, p. 145-149.
- KUHN, M. (2001). «A summary of the International Standard Date and Time Notation» [en línia]. <<http://cl.cam.ac.uk/~mgk25/iso-time.html>>
- MIQUEL, P. (1883). *Les organismes vivants dans l'atmosphère*. París: Gauthier-Villars.
- MOORE, P. D.; WEBB, J. A. (1978). *An illustrated guide to pollen analysis*. Londres: Hodder and Stoughton. 133 p.
- NILSSON, S. (1983). *Atlas of airborne fungal spores in Europe*. Berlín: Springer-Verlag.
- NILSSON, S.; PRAGLOWSKI, J. (1992). *Erdtman's Handbook of Palynology*. 2a ed. Copenhaguen: Munksgaard.
- PASTEUR, L. (1861). «Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées». *Annales des Sciences Naturelles (partie Zoologie)*, 4a sèrie, XVI, p. 5-68.
- SÁENZ LAÍN, C. (2004). «Glosario de términos palinológicos». *Lazaroa*, 25, p. 93-112.
- SEOANE, J. A.; SUÁREZ-CERVERA, M. (1986). «On the ontogeny of the oncus in the pollen grain of *Parietaria officinalis* ssp *judaica* (Urticaceae)». *Canadian Journal of Botany*, 64, p. 3155-3167.

SOCIETAT CATALANA

DE FÍSICA (1)

ÉS UNA CIÈNCIA EXACTA,

LA METEOROLOGIA?,

A CÀRREC DE

BERNAT CODINA,

DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

INTRODUCCIÓ

Segons el diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans, la meteorologia és la branca de la física que s'ocupa de l'estudi de l'atmosfera. Que la meteorologia és una ciència està fora de tot dubte, però que es tracta d'una branca de la física, pot resultar desconcertant. Probablement, el profà en la matèria —o potser no tan profà perquè segueix amb gran interès l'espai dedicat al temps dels mitjans de comunicació— classificaria la meteorologia dins de l'àmbit de les ciències naturals.

De fet, fins al final del segle XIX, la metodologia emprada en l'estudi de l'atmosfera era la pròpia de les ciències de la naturalesa. Àdhuc en els nostres temps, la introducció al temps i al clima en els cicles primari i secundari de l'ensenyament es fa des d'aquesta perspectiva. No obstant això, ja fa molts anys —des del començament del segle XX— que se sap caracteritzar l'atmosfera a partir de les lleis físiques que hi operen.

En aquesta contribució es pretén posar de manifest que, malgrat que les previsions meteorològiques no siguin prou acurades, la meteorologia és, efectivament, una branca de la física i, com a tal, una ciència exacta.

FÍSICA I METEOROLOGIA

Com que l'atmosfera és un fluid, pot ser estudiada utilitzant la metodologia pròpia de la mecànica de fluids. En essència, la segona llei de Newton, les lleis de conservació de la massa i de l'energia i l'equació d'estat dels gasos, expressades convenientment, permeten obtenir un sistema d'equacions diferencials que descriu, amb pèls i senyals,¹ el ritme de varia-

1. En el seu plantejament, que no es descriu en aquest resum, l'enfocament del problema és completament mecanicista i atomista. D'aquí, doncs, l'expressió «amb pèls i senyals».

ció, en cada punt de l'espai, de les variables d'estat atmosfèriques (pressió, temperatura, vent, humitat).

La resolució d'aquest sistema d'equacions diferencials constitueix, des del punt de vista matemàtic, un problema de valors inicials: coneguda la distribució espacial de les variables d'estat en un instant de temps determinat, la seva distribució en qualsevol altre instant de temps resta definida pel mateix sistema d'equacions. Es disposa, així, d'un mètode físicomatemàtic per portar a terme la predicció el temps: sabent exactament quin temps fa ara (és a dir, la distribució tridimensional de les variables d'estat atmosfèriques) és possible saber quin temps farà en qualsevol instant futur resolent el sistema d'equacions diferencials.

És ben paradigmàtic el problema de balística que saben resoldre la major part d'alumnes de batxillerat: calcular la trajectòria d'un projectil coneixent-ne la velocitat inicial i l'angle de llançament. En aquest cas, la trajectòria s'obté en aplicar la segona llei de Newton al projectil, considerant que l'única força significativa que actua sobre la bala és el mateix pes, i resoldre l'equació diferencial obtinguda. S'obté de solució una trajectòria que resulta ser parabòlica i, d'aquesta manera, és possible saber, per a cada instant de temps, quina és la posició del projectil.

Aquest no és més que un senzill exemple per posar de manifest que la física clàssica permet predir el futur, en aquest cas el camí que descriuria el projectil un cop abandonés el canó. Conceptualment, el procediment que es fa servir a l'atmosfera és el mateix, però la resolució completa del sistema d'equacions diferencials està farcida de dificultats.

La primera formulació de les equacions que regeixen el comportament de l'atmosfera va anar a càrrec del noruec V. Bjerknes l'any 1904. Ell mateix ja es va adonar que, com que el sistema d'equacions obtingudes (anomenades equacions primitives de la dinàmica atmosfèrica) no tenia solució analítica, no era possible atacar el problema de la predicció del temps de la mateixa manera que en el cas del projectil, és a dir, integrant les equacions diferencials que descriuen el fenomen que, en l'exemple de balística, tenen solució analítica.

A falta de solucions analítiques, calia optar per la resolució numèrica de les equacions primitives, cosa que no era factible portar a terme en aquella època per la inexistència de sistemes de càlcul d'alta velocitat. Tot i això, el britànic F. L. Richardson (1922) va fer un experiment en aquest sentit durant la Primera Guerra Mundial, que va consistir a efectuar una integració de les equacions primitives per fer una predicció del temps per a Centreuropa, utilitzant com a valors inicials de les variables d'estat atmosfèriques, les obtingudes en una campanya intensiva d'observació.

Preparant amb molta cura un robust algorisme de resolució de les equacions primitives, i amb l'ajut de mètodes de càlcul mecànic implementats per persones, Richardson va completar el primer pas d'integració, i obtingué, ja aleshores, uns resultats tan poc encoratjadors que el van desanimar a prosseguir. Alguns textos especialitzats parlen del «fracàs de l'experiment de Richardson», tot i que no es pot considerar com a tal, perquè el mateix autor va ser capaç de detectar la causa de l'error d'integració (inacurada representativitat de l'estat inicial) i, a més, l'algorisme que va dissenyar era realment impecable.

La possibilitat de resoldre numèricament les equacions primitives es va abandonar completament (encara que l'experiment de Richardson hagués donat bons resultats, tampoc no

era factible portar-lo a terme operativament), i la meteorologia de la primera meitat del segle XX es va concentrar en l'establiment de teories sobre el moviment atmosfèric, fonamentades, òbviament, en les mateixes equacions. De fet, aquesta va ser l'època daurada de la meteorologia pel que fa al seu desenvolupament teòric, que va culminar, sobretot, amb la teoria quasigeostròfica² (Charney, 1947).

Va ser aleshores també (Charney *et al.*, 1950) que es va portar a terme la primera predicció numèrica del temps reeixida, no pas directament a partir de les equacions primitives, sinó d'una variant molt simplificada (el model barotròpic). I per primera vegada es van fer servir sistemes automàtics de càlcul: el famós ordinador ENIAC, que és considerat el primer ordinador electrònic de la història, dissenyat durant la Segona Guerra Mundial per efectuar càlculs balístics, i que, acabada la guerra, va ser destinat a usos civils.

Al final dels anys seixanta es va retornar als orígens, integrant directament i numèrica les equacions primitives. Aleshores els sistemes de càlcul ja eren força més potents, la xarxa d'observació meteorològica era prou densa, i se sabia

2. Pot resultar desconcertant aquesta afirmació, tenint en compte que hom té la sensació que les previsions meteorològiques han millorat considerablement en els darrers anys, i que es disposa d'eines d'observació meteorològica privilegiades (radars, satèl·lits, estacions automàtiques, etc.), que no existien en el passat. La realitat és que tot aquest progrés de l'últim quart de segle ha anat paral·lel al desenvolupament tecnològic, sobretot de les telecomunicacions i la computació, cada vegada més barata i de més prestacions. Tanmateix, hom es nodreix majoritàriament, encara, dels desenvolupaments teòrics que es van portar a terme molts anys enre. Per exemple, s'ha posat de moda en els darrers anys, intentar estudiar l'atmosfera mitjançant simulacions realitzades utilitzant models meteorològics (vegeu la nota 4). Això només són caixes negres: faciliten un cert grau d'operativitat, que pot ser molt rellevant en algunes aplicacions, però difícilment permeten aprofundir en el coneixement; la simple acumulació de fets o observacions rarament comporta explicacions satisfactòries dels fenòmens.

com abordar la principal dificultat que havia espantat la integració de Richardson quaranta anys abans.

EL PROBLEMA DE LA DISCRETITZACIÓ DE L'ESPAI I EL TEMPS

La cerca d'una solució numèrica de les equacions diferencials que caracteritzen el moviment atmosfèric implica la discretització de l'espai i el temps. Pel que fa a la primera, l'atmosfera es trosseja idealment en un conjunt de cel·les, la dimensió horitzontal típica de les quals oscil·la entre 10 i 50 km de costat en funció de l'extensió de la regió que es pretén estudiar, i la vertical és variable, de 10 a 500 m, creixent amb l'alçària, de manera que hi hagi més «detall» en els nivells més propers a terra.

A cada cel·la se li atribueix inicialment un valor determinat de cada una de les variables d'estat atmosfèriques. A més, les derivades parcials del sistema d'equacions diferencials se substitueixen per diferències finites, i es transforma tot plegat en un sistema d'equacions algebraïques, de resolució força immediata.

Aquesta estratègia té, tanmateix, dos punts febles importants:

- Els fenòmens que és possible caracteritzar són, en el millor dels casos, aquells que tenen una semilongitud d'ona típica de l'ordre del pas de discretització. Per exemple, si es trosseja l'atmosfera en cel·les de 50 km de costat horitzontal, és possible estudiar bé les estructures sinòptiques, que corresponen a l'escala típica dels tradicionals mapes del temps que representen el camp d'isòbares, els anticiclons, depressions i fronts, però no és possible resoldre els fenòmens d'escala més petites (marinades, interaccions del flux amb l'orografia, tempestes, etc.).

En llenguatge planer diríem que el mètode numèric d'integració pateix miopia.

- A més, els processos que tenen lloc a escales més petites s'han de tenir en compte d'alguna manera perquè, a la curta o a la llarga, molts d'ells influeixen en la dinàmica de l'escala resolta per la mateixa discretització. Un cel esquitxat a mig matí per cúmulus *humilis*, per exemple, palesa la petita escala horitzontal de la convecció humida en un primer moment. Ara bé, hi ha ocasions en què aquests núvols acaben produint cumulonimbus de grans dimensions. Si en un primer moment la formació de cúmuls era irrellevant per a un «trossejat atmosfèric» o graella de 20 km de costat, per exemple, és obvi que l'envergadura del cumulonimbus ulterior afecta, entre altres coses, la radiació solar que arriba a terra, el camp de vents, etc., en la mateixa escala del «trossejat».

113

Una manera de superar aquesta dificultat consistiria a disminuir el pas de malla de la graella, però això no es pot portar a terme *ad infinitum* perquè, entre altres raons, es desconeix l'estat de l'atmosfera amb tant de detall. A la pràctica el que es fa és utilitzar les anomenades *parametritzacions*, que permeten introduir l'efecte estadístic que produeixen els processos a petita escala (turbulència, convecció...) sobre la situació meteorològica descrita per la graella. A més d'això, mitjançant parametritzacions³ també es caracteritzen les interaccions de l'atmosfera amb la radiació solar, la litosfera, la

3. En introduir les parametritzacions canviem el punt de vista mecanicista que presentaven les equacions primitives en estat pur, per un enfocament holístic. És aquesta, de fet, la situació habitual en gran part de les aplicacions de la física.

hidrosfera i, en aplicacions molt sofisticades, amb la biosfera i l'esfera socioeconòmica.

Tot i que no és l'única ni última causa, la resolució numèrica de les equacions primitives, que, com s'acaba de veure, implica la introducció d'aproximacions, incrementa notablement la incertesa en la predicció del temps.

Finalment, també és necessària la discretització temporal. Afortunadament en aquest cas, el «trossejament» del temps, si es porta a terme correctament, no constitueix un factor més d'incertesa. No obstant això, sí que és un factor que limita la resolució espacial amb què es pot estudiar el comportament de l'atmosfera integrant les equacions primitives. L'any 1928, Courant, Friedrichs i Lewy (CFL) van demostrar que els passos d'integració espacial i temporal no es poden escollir arbitràriament. Hi ha una proporcionalitat inversa entre l'un i l'altre.

Així, en doblar la resolució horitzontal, és a dir, en dividir el pas de malla per la meitat, el nombre de punts de la graella es multiplica per 4 i, com a conseqüència de la condició CFL, el nombre de passos d'integració augmenta en un factor 2. Així doncs, el temps de computació per efectuar una determinada simulació atmosfèrica es multiplica per 8. En altres paraules, el requisit d'un pas de malla ben petit per evitar el problema de la miopia esmentat abans entra en conflicte amb la necessitat, en la predicció meteorològica, per exemple, d'integrar les equacions més de pressa que el temps (el temps meteorològic, és clar).

COM SABEM QUIN TEMPS FA?

Aquesta pregunta no té una resposta tan senzilla com podria semblar a primer cop d'ull. Com ja s'ha dit, per a la integració de les equacions primitives cal el coneixement de les variables

d'estat atmosfèriques en un determinat instant de temps. Aquestes variables s'obtenen bàsicament, encara avui dia, de la xarxa d'estacions meteorològiques tradicionals, tant de superfície com d'altura. Aquestes darreres es recullen en alguns observatoris (estacions de radiosondatge) que llancen periòdicament globus sonda dotats de sensors que transmeten dades del perfil vertical de temperatura, humitat, vent i pressió (<http://infomet.fcr.es/raob>).

En utilitzar les dades d'aquesta xarxa per descriure l'estat inicial, sorgeixen un parell de dificultats importants:

- Problemes de cobertura i de representativitat. En superfície, la xarxa d'estacions sinòptiques dóna bona cobertura a les regions habitades dels països desenvolupats, però és més magre en regions marítimes o poc habitades. Menys falaguera és la situació de la xarxa de radiosondatges, que ha de caracteritzar l'estat de l'atmosfera segons la vertical. A més, les dades s'han d'interpol·lar als punts de la graella que s'utilitza per a resoldre les equacions. Si, per exemple, a l'àrea de Barcelona disposem d'estacions a la Vila Olímpica, a l'aeroport, al Fabra i a Badalona, quina és la més representativa del punt de graella més proper?
- Consistència dinàmica de les observacions. Les variables d'estat han de complir en tot moment els condicionaments físics imposats per les mateixes equacions, que no són més que l'expressió matemàtica de lleis universals de la física clàssica. En particular, aquests condicionaments s'han de complir també en l'estat inicial. Amb dades observades per les estacions meteorològiques, rarament ubicades als nusos de la graella, és molt poc probable que es verifiquin aquests condicionaments. La incon-

sistència de les dades introdueix desequilibris en l'estat inicial, que contaminen les solucions. Aquest fet es posa clarament de manifest en considerar el problema de determinar el moviment de la superfície lliure de l'aigua d'un estany. És evident que si a l'estat inicial la superfície de l'estany és completament horitzontal, així hi romandrà durant la integració de les equacions que descriuen el comportament de la superfície lliure de l'aigua. Però suposi's ara que es decideix amidar, per algun procediment, el nivell de la superfície lliure: malgrat que sigui completament horitzontal, no és possible constatar exactament aquest estat a partir de mesures experimentals afectades, inevitablement, per errors. En resoldre les equacions amb aquestes dades inicials, s'obtindria com a solució un conjunt d'ones gravitatòries a la superfície lliure de l'estany. És a dir, una solució incorrecta.

Aquesta fou la raó que va frustrar l'experiment de Richardson: les dades inicials de què disposava eren dinàmicament inconsistents, i van introduir unes velocitats verticals fictícies en l'estat inicial que van arruïnar la solució ja en el primer pas d'integració. Actualment hi ha sofisticades tècniques d'inicialització que serveixen per a prevenir aquest greu problema. A grans trets, i encara que pugui semblar sorprenent, els valors inicials que normalment s'utilitzen per a iniciar el procés d'integració s'obtenen a partir d'una resolució prèvia de les equacions primitives, corregida convenientment amb les dades observades.

Al començament de la dècada dels seixanta, el meteoròleg americà E. Lorenz s'adonà de l'extremada sensibilitat a les condicions inicials dels sistemes d'equacions diferencials no lineals que descrivien fenòmens convectius ben simples. En el seu article de 1963, publicat en el *Journal of Atmospheric Sciences* —probablement l'article meteorològic més citat tant des de dins com des de fora del món de la meteorologia—, Lorenz presentava els resultats d'un fenomen aparentment tan simple com el moviment convectiu d'un fluid escalfat per sota.

Caracteritzava la convecció mitjançant tres variables i, en representar-les en funció del temps, no hi observava cap mena de comportament periòdic. L'absència de comportaments d'aquest tipus posa de manifest la naturalesa caòtica del moviment, malgrat estar perfectament caracteritzat per les lleis de la física clàssica, rotundament determinista.

A més, en representar paramètricament (fent servir el temps com a paràmetre) una de les variables descriptives del procés convectiu en funció de les altres (representació en l'espai de fases), obtenia una figura (la famosa papallona de Lorenz) que donava compte de la gran sensibilitat a les condicions inicials. En l'espai de les fases, les trajectòries corresponents a dos punts molt propers, equivalents a dos estats molt semblants, podien divergir ràpidament al cap de molt poca estona, amb la qual cosa representaven estats radicalment diferents.

L'atmosfera, molt més complexa que un simple fluid escalfat per sota, no està exempta, òbviament, d'aquest comportament, ben diferent de l'exemple del projectil amb què s'inicia aquest article. En aquest exemple, modificant lleugerament la velocitat de llançament, s'obté una trajectòria que experimenta una variació molt petita. A l'atmosfera, en canvi, una petita modificació de la representació de l'estat inicial pot donar lloc a una evolució futura radicalment diferent.

Anys més tard, al començament dels setanta, Lorenz va tornar a publicar un estudi teòric en la mateixa línia però aplicat a l'atmosfera, en el qual mostrava l'existència d'un límit de predictibilitat, inherent a la mateixa atmosfera, d'unes tres setmanes. Això no impedeix, tanmateix, la possibilitat de fer prediccions climàtiques basades, també, en la resolució de les equacions primitives. En aquest cas no interessa tant l'evolució de les trajectòries de l'espai de fases (la meteorologia o el temps de cada dia), sinó la regió on estan confinades aquestes trajectòries (el clima). La predicció del clima mitjançant la integració numèrica de les equacions primitives és més un problema de condicions de contorn que de condicions inicials, al contrari de la predicció meteorològica.

La naturalesa no determinista del moviment atmosfèric suggereix la utilització de les anomenades *prediccions per conjunts*, que consisteixen a resoldre diverses vegades les equacions primitives modificant lleugerament les condicions inicials en cada una d'elles. D'aquesta manera s'obté un conjunt de solucions a partir de les quals és possible assignar una determinada probabilitat a les diverses configuracions meteorològiques.

CONCLUSIONS

Actualment, i des de fa una mica més d'un quart de segle, la base de les prediccions meteorològiques —els mapes del temps que sovint mostren alguns mitjans de comunicació quan presenten el butlletí meteorològic— radica en la integració del sistema d'equacions primitives.⁴ Equacions que, com

4. Un *model meteorològic*, expressió que en els últims temps ha passat a formar part del vocabulari meteorològic habitual, no és més que una forma concreta d'expressar les equacions primitives, adaptada a una

s'ha vist, descriuen perfectament el comportament de l'atmosfera, però que, a l'hora de la veritat, tampoc no permeten afinar prou bé les previsions. Com hem vist, dos en són els motius:

- La solució del sistema d'equacions no és senzilla. Involucra una quantitat enorme de càlculs (un programa informàtic llarguíssim) que s'han de portar a terme sobre una representació simplificada de l'atmosfera, que consisteix a trossejar-la horitzontalment i verticalment. A la pràctica, l'atmosfera no es pot tractar com un contínuum, sinó en forma de blocs o caixes, de dimensions enormes (10 o 20 km de costat horitzontal). Molts fenòmens que poden tenir lloc dins d'aquestes caixes passen desapercebuts o s'han de representar mitjançant aproximacions més o menys empíriques (parametritzacions).
- A més, per resoldre les equacions cal saber molt bé quin és l'estat inicial de l'atmosfera, és a dir, tenir un bon coneixement del temps que fa en un instant de temps determinat. I cal saber-ho a l'escala en què treballa el model meteorològic que, com s'ha indicat, és força «miop». A més, la solució de les equacions (és a dir, la predicció del temps) és molt sensible a l'estat inicial: estats inicials molt semblants poden donar lloc situacions meteorològiques molt diferents al cap d'unes quantes hores.

119

Ara bé, el fet que en aplicar aquesta metodologia a la predicció del temps els resultats no siguin acurats no significa

determinada graella i a les condicions de contorn d'una determinada regió, i l'algorisme numèric i informàtic per portar a terme la seva integració.

que la meteorologia no sigui una ciència exacta. Si s'accepta la definició de ciència exacta com aquella que mitjançant càlculs numèrics o la utilització de fórmules o lleis genèriques obté els seus resultats davant d'un problema o fenomen natural, sens dubte la meteorologia ho és.

BIBLIOGRAFIA

BJERKNES, V. (1904). «Weather forecasting as a problem in mechanics and physics». *Meteorol. Z.*, 21, p. 1-17.

CHARNEY, J. G. (1947). «The dynamics of long waves in a baroclinic westerly current». *J. Atmos. Sci.*, 19, p. 30-38.

CHARNEY, J. G.; FJÖTOFT, R.; NEUMANN, J. VON (1950). «Numerical integration of the barotropic vorticity equation». *Tellus*, 2, p. 237-254.

120

COURANT, R.; FRIEDRICHS, K.; LEWY, H. (1928). «Ueber die partiellen Differenzgleichungen der mathematischen Physik». *Math. Ann.*, 100, p. 32-74.

LORENZ, E. (1963). «Deterministic non-periodic flow». *J. Atmos. Sci.*, 20, p. 130-141.

RICHARDSON, L. F. (1922). *Weather prediction by numerical processes*. Cambridge: Cambridge University Press. 236 p.

SOCIETAT CATALANA

DE GEOGRAFIA

APROXIMACIONS TRANSVERSALS

AL CANVI CLIMÀTIC,

A CÀRREC DE

JAVIER MARTÍN VIDE,

DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

INTRODUCCIÓ

Aquest treball consta de dues parts. A la primera, a manera de ventall temàtic, reflex de la realitat facetada i transversal del tema objecte d'estudi, es presenta un conjunt de deu afirmacions entorn del canvi climàtic, o decàleg del canvi climàtic (Martín Vide, 1999). Amb aquest decàleg solament es pretén exemplificar la varietat de temes vinculats al canvi climàtic, però en cap moment atorgar exhaustivitat a les deu assertions. A la segona es recullen alguns dels resultats sobre les tendències recents de les variables climàtiques a Catalunya i la península Ibèrica.

1. UN DECÀLEG DEL CANVI CLIMÀTIC

122

1.1. *La variabilitat és una de les característiques essencials del sistema climàtic*

L'atmosfera presenta un comportament amb un notable grau de variabilitat a qualsevol escala temporal que es consideri, per la qual cosa es parla de variabilitat natural. Totes les variables climàtiques mostren una variabilitat temporal acusada, independentment de l'existència o no de tendències en el seu comportament cronològic. La precipitació, per exemple, fins i tot en totals anuals, té en qualsevol lloc valors fortament discrepants entre uns anys i altres. Així, l'observatori de Gibraltar, el de registres oficials més antics de la península Ibèrica, ha registrat màxims anuals de 1.955,2 mm, el 1855, i 1.658,7 mm, el 1858, i mínims de 355,8 mm, el 1981, i 369,8 mm, el 1869 (Wheeler i Martín Vide, 1992). Altres elements climàtics tenen també en el seu comportament temporal una notable variabilitat, encara que les seves pautes espacials siguin força més regulars i homogènies que les de la pluja, com és el cas de la pressió

atmosfèrica en superfície. Per a Barcelona ha estat reconstruïda i homogeneïtzada una sèrie de més de dos-cents anys, des de 1780, moment en què el doctor Francisco Salvà va començar a mesurar diverses variables meteorològiques al seu domicili del carrer de Petritxol, fins avui, a resolució diària. Les mitjanes mensuals d'aquesta sèrie presenten contrastos destacats, mesos amb una mitjana de més de 1.030 hPa i un amb menys de 1.000 hPa.

1.2. *Al llarg de la història geològica del planeta hi ha hagut canvis climàtics nombrosos i de notable magnitud*

Les diverses branques de la paleoclimatologia han demostrat que els canvis climàtics, d'origen exterior al planeta, o astronòmics, com els derivats de les variacions en la constant solar o en els paràmetres orbitals de la Terra, i d'origen endogen, o geològics, com els produïts per variacions en l'activitat volcànica o per la dinàmica continental derivada de la tectònica de plaques, han estat freqüents en la història geològica. Per citar els casos més coneguts, a l'era secundària la temperatura mitjana superficial del planeta degué ser sensiblement més elevada que actualment. D'altra banda, les mateixes glaciacions, força ben conegudes per la seva proximitat temporal al present, van suposar sensibles refredaments a gran part de la Terra.

En resum, la dinàmica planetària interna i l'exterior han comportat canvis climàtics importants i freqüents, a escala geològica. En canvi climàtic actual no és, doncs, quelcom nou. La novetat és la seva causa, per primera vegada, antròpica.

1.3. *La brevetat de les sèries meteorològiques instrumentals per a l'anàlisi de les variacions i tendències climàtiques obliga a l'ús de proxy-data*

Les anàlisis de tendències i fluctuacions climàtiques exigeixen sèries climatològiques que, garantida la seva fiabilitat i comprovada la seva homogeneïtat, superin amb escreix el reconegut trentenni que l'Organització Meteorològica Mundial recomana per establir els valors normals dels diferents paràmetres climàtics. Els canvis climàtics solament es poden dibuixar i comprendre en un marc temporal com a mínim plurisecular.

Aquesta necessitat de llarga longitud de les sèries de dades redueix l'anàlisi temporal en aquells llocs els registres dels quals tinguin una certa antiguitat, amb preferència que arrenquin no més tard de l'últim terç del segle XIX, període en el qual es produeix la institucionalització de la meteorologia als països més avançats. Quan s'imposa disposar de sèries pluriseculars hi ha dues opcions: recuperar els registres instrumentals més antics, que comencen en alguns llocs, amb continuïtat i garanties de qualitat, al segle XVIII, o realitzar una reconstrucció de sèries a partir d'altres metodologies, com ara les de la dendroclimatologia, la glaciologia, la climatologia històrica, entre d'altres.

En el cas de la climatologia històrica, per exemple, les sèries reconstruïdes, malgrat el seu origen documental, es poden indexar i assimilar-se, finalment, amb les necessàries calibracions, a sèries instrumentals ordinàries (Martín Vide, 1997). La riquesa documental dels arxius catalans i espanyols permet obtenir moltes informacions meteorològiques o afins (les anomenades *proxy-data*), que poden servir per a la reconstrucció de sèries climàtiques llargues. Al nostre país han resultat particularment útils les informacions sobre els danys produïts per inundacions fluvials, que queden perfectament registrades en les actes municipals, així com les notícies sobre

rogatives *pro pluviam*, cerimònies religioses molt ben regulades per les autoritats civils i eclesiàstiques, que reflecteixen l'escassetesa de pluja (Barriendos, 1994). Per al cas de Catalunya, s'ha pogut caracteritzar la «petita edat de gel», en la qual s'han identificat tres pulsacions: la inicial, a la fi del segle XVI, amb augment de les precipitacions copioses i desaparició de les sequeres; la final, a mitjan segle XIX, de característiques iguals, i una a la fi del segle XVIII, amb augment de precipitacions torrencials i de sequeres, dinàmica pluviomètrica no estranya en el món mediterrani (Martín Vide i Barriendos, 1995).

Aquests estudis paleoclimàtics tenen importància en l'anàlisi del canvi climàtic actual, per tal com amplien considerablement l'escala temporal de referència.

1.4. *La composició química de l'atmosfera s'ha modificat des del començament de la revolució industrial per causa antròpica*

125

Des del començament de la revolució industrial, quan els combustibles fòssils, en un principi el carbó, i després el petroli i el gas natural, es van començar a cremar en grans quantitats, per cobrir les necessitats d'energia dels processos industrials i del transport, la quantitat de CO₂ a l'atmosfera s'ha incrementat apreciablement. Pel fet de tractar-se d'un gas d'efecte d'hivernacle, el seu increment ha de reforçar l'esmentat efecte, per la qual cosa caldrà esperar un escalfament de l'atmosfera planetària. El diòxid de carboni és, per tant, un dels principals agents del canvi climàtic per causa antròpica. De la mateixa manera, altres gasos d'efecte d'hivernacle, com el metà, l'òxid nitrós i, fins i tot, l'ozó troposfèric i els CFC han augmentat també les seves concentracions a l'atmosfera terrestre, amb la qual cosa han de reforçar l'esmentat efecte.

Concretant el cas del diòxid de carboni, d'una manera sistemàtica i amb l'instrumental de precisió adequat, des de 1958 se'n mesura la concentració a la troposfera a l'observatori de Mauna Loa, a Hawaii. Posteriorment, en altres observatoris anomenats de contaminació de fons, dels quals hi ha poc més d'una desena al món, entre ells el d'Izaña, a Tenerife, també es registra la concentració de l'esmentat gas i de la dels altres d'efecte d'hivernacle. El 1958 es van mesurar 315 ppmv de CO₂ i actualment, 376 (mesures indirectes donen 280-290 ppmv a la segona meitat del segle XIX). En conclusió, es pot afirmar que la composició química de l'atmosfera ha canviat en les darreres dècades per causa humana.

1.5. *Al llarg del darrer segle la temperatura mitjana planetària ha incrementat en 0,5 °C, aproximadament*

126

Constatats els augments de les concentracions dels gasos amb efecte d'hivernacle, cal preguntar-se sobre la resposta del clima. Aquests augments comporten ja un increment de la temperatura a escala planetària? Sobre això es pot afirmar, entre altres coses, que al llarg del darrer segle la temperatura mitjana global ha incrementat en 0,5 °C, aproximadament. Amb més precisió, l'increment s'estima en 0,6 °C ± 0,2 °C des de 1860 fins a la fi del segle XX (Tercer IPCC, 2001). L'escalfament durant el segle XX s'ha concentrat en el període 1910-1945 i a partir de 1976. Segons el mateix informe, probablement el segle XX, la dècada dels anys noranta del segle XX i el 1998 són els més càlids del darrer mil·lenni (figura 1).

El cas és que la concentració d'anys càlids a l'últim quart de segle és tan anòmala, des d'un punt de vista probabilístic, que no es pot explicar simplement per la variabilitat natural del clima. Respecte a això, els nou anys més càlids del

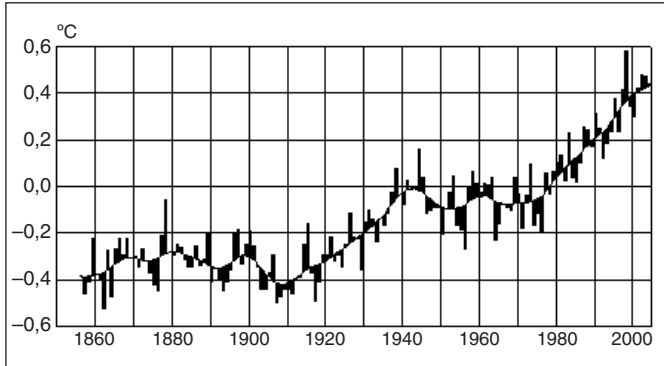


FIGURA 1. *Temperatura superficial global de l'aire: valors anuals comparats amb els valors de la temperatura mitjana del període 1961-1990 i corba suavitzada (1856-2004).*

FONT: *Tiempo* [en línia]. <<http://www.tiempocyberclimate.org/newswatch/report050116.htm>>.

període 1861-2004 es concentren en el decenni 1995-2004 (els cinc primers són 1998, 2001, 2002, 2003 i 2004).

127

1.6. *Les anomalies i els episodis meteorològics extrems no tenen a veure amb el canvi climàtic, encara que, probablement, un augment o la seva intensificació sigui indicatiu de canvi climàtic*

Encara que el comportament de l'atmosfera en les seves diferents escales espacials i temporals es mostra íntimament relacionat, cal rebutjar la creença estesa que els episodis meteorològics extrems actuals són una manifestació del canvi climàtic d'origen antròpic. N'hi ha prou de repassar els registres instrumentals o consultar la informació històrica per a comprovar-ne l'existència, amb una freqüència no gaire diferent de l'actual, en temps passats quan la hipòtesi de l'escalfa-

ment global antropogènic no era ni sospitada. En aquesta creença, els mitjans de comunicació i l'exhaustivitat i rapidesa amb què es coneixen i difonen les notícies tenen un paper decisiu. Avui contemplem per televisió tornados i desastres meteorològics de llocs recòndits del planeta, sobre els quals, fa alguns anys, no rebíem cap notícia. Al ciutadà, que participa també com a actor en el formidable joc mediàtic —on no hi ha una càmera d'un videoafecionat disposada a registrar una gran pedregada o qualsevol altre fenomen meteorològic cridaner o a destemps?—, li fa l'efecte, davant l'allau informativa de continguts meteorològics, que l'atmosfera està patint un autèntic desgavell en el seu comportament.

Ara bé, és indubtable que un canvi climàtic, amb els reajustaments bruscos que ha de comportar per a assolir novament la situació d'equilibri, ha de produir un agreujament, quant a l'augment de la freqüència, la intensitat i la persistència, dels fenòmens meteorològics extrems. La dificultat d'establir si avui es donen més episodis meteorològics extrems i més violents té a veure amb el component canviant humà. Molts augments del nombre d'inundacions, per exemple, són el resultat d'una major i inadequada pressió humana sobre els marges fluvials, més que no pas d'un increment dels episodis de pluges torrencials. Les repetides sequeres actuals tenen molt a veure amb l'augment del consum d'aigua.

Amb tot, cal esperar, segons tots el models conceptuals de canvi climàtic, un increment dels extrems meteorològics en les pròximes dècades, amb les conseqüències greus que poden comportar, assumpte del màxim interès social, polític i econòmic, incloses les activitats econòmiques específiques, com les assegurances.

1.7. *La percepció climàtica difereix sovint de la realitat climàtica, per la qual cosa els presumptes canvis climàtics «percebuts» gairebé mai no tenen l'aval dels registres instrumentals*

També la percepció climatològica i meteorològica té punts de contacte amb el tema del canvi climàtic antròpic. El ciutadà mitjà, amb el bagatge d'experiències personals que posseeix de l'atmosfera, tan ampli com la durada de la seva vida, va construint un complex món interior de records, referències i percepcions. I això fa que tingui unes opinions personals sobre fets i comportaments atmosfèrics, fortament influïdes pels seus records i percepcions, i defensades amb vehemència pel seu origen personal i pel que ha viscut. En el cas del canvi climàtic, la seva percepció, sigui per la brevetat de la memòria, per la influència dels mitjans de comunicació o, sobretot, pels extraordinaris canvis socioeconòmics que, en general, han experimentat les nostres societats al llarg del segle XX, l'informa sobre un canvi en les condicions climàtiques. I en molts casos això és veritat. Si opina que ara no neva tant com abans, pot ser que sigui cert, si ha format part del nombrós contingent de persones que van engrossir l'èxode rural cap a les àrees urbanes fa algunes dècades. En el seu medi d'origen, sovint en sectors de muntanya, la neu és més freqüent que a les ciutats. Si, amb residència fixa, creu que ara no fa tant de fred com abans, potser està reflectint una millora, també en el medi rural, en les seves condicions de vida (habitatge, vestits, alimentació, etc.).

Malgrat el que s'ha esmentat, aquestes creences i percepcions no acostumen a confirmar-se amb els registres instrumentals. La memòria humana és sempre selectiva: oblida o, en un sentit contrari, magnifica certs fets passats, i engrandeix i detalla el més recent, amb un calendari propi de cada subjecte. Tot i aquestes limitacions, les percepcions meteorològiques i climatològiques tenen el seu interès en els estudis

climàtics. Permeten, en primer lloc, preveure pautes de comportament, ja que els humans actuem segons com percebem la realitat, més que segons com és. I, a més, han d'orientar els qui transmeten i difonen les informacions sobre l'atmosfera perquè els seus missatges i les seves expressions siguin els adequats per a una correcta interpretació i assimilació per part del gran públic (Martín Vide, 2001).

Com a exemple de percepció meteorològica, clarament discrepant amb la realitat, davant la pregunta a l'habitant de les ciutats sobre quin dia de la setmana és més plujós, o, amb més precisió, quin dia de la setmana presenta major freqüència de precipitació, un percentatge alt de les respostes coincideixen en dissabte o diumenge (Martín Vide, 1990). Els mateixos enquestats acostumen a revelar el punt de suport d'aquesta afirmació: es nota o es lamenta més un dia del cap de setmana amb mal temps que de qualsevol altre dia amb aquest caràcter meteorològic. Això deriva del fet que el gaudi del temps d'oci, disponible majoritàriament en dissabte i diumenge, es fa a les nostres latituds, durant bona part de l'any, a l'aire lliure.

1.8. *El canvi climàtic antròpic és un dels pocs afers que afecta i ha d'interessar tota la humanitat*

L'ésser humà ha modificat d'ençà molt de temps les característiques naturals de l'entorn on habita, per fer-les més favorables a les seves condicions de vida. D'aquesta manera, ha construït habitatges, on ha intentat crear ambients confortables. Això suposa ja una modificació del medi a una escala de detall. Les ciutats comporten una alteració substancial de les característiques físiques i, en conseqüència, dels balanços energètic i hídric de l'espai que ocupen. Això es tradueix en unes modificacions climàtiques en relació amb l'espai periurbà o rural circumdant. Es tracta, tanmateix, de modifica-

cions a una escala microclimàtica —el millor exemple de les quals és el conegut fenomen de l'illa de calor urbana. Sense treure importància a aquests fenòmens microclimàtics, cada cop més rellevants atès el creixent percentatge de la població mundial que viu en àrees urbanes, la seva incidència en el clima mitjà mundial no sembla significativa.

El canvi climàtic antròpic té, al contrari, una escala d'incidència global, planetària. Tots els habitants d'aquest planeta som agents causals del canvi climàtic (en un grau més gran o més petit consumim combustibles fòssils), i tots podem ser víctimes de les seves conseqüències negatives. Una estimació de la quantitat de combustibles fòssils que cremem en un any els sis mil milions d'habitants de la Terra la fa equivalent al treball de formació dels corresponents dipòsits geològics durant un milió d'anys, cosa que deixa ben clar que el consum d'aquests és insostenible. Es tracta, doncs, d'un problema d'incidència global, que, per tant, ha d'interessar a tots els habitants del planeta, encara que cal reconèixer que l'escala d'inquietuds d'un alt percentatge de la població mundial està, malauradament, encapçalada per cobrir les necessitats primàries de subsistència. Els països del primer món, i cadascun dels seus habitants, han de col·laborar responsablement, sota una òptica de solidaritat global, en la resolució o mitigació del problema.

1.9. *El canvi climàtic reuneix les condicions de tema «estrella» per als mitjans de comunicació*

En una civilització com la nostra, en què al darrer segle del segon mil·lenni els mitjans de comunicació de masses no solament han aparegut com a tals, sinó que s'han convertit en un element de gran influència en l'opinió pública i fins i tot en el comportament dels individus, l'afer del canvi climàtic hi està també implicat. Així, el canvi climàtic reuneix almenys sis

condicions per la seva consideració com a tema «estrella» en els mitjans de comunicació: 1) és nou, o «innovador»; 2) no és efímer; 3) és mediambiental; 4) té «morbositat»; 5) es pot formular senzillament, i, ahora, 6) és complex. Les dues primeres i les dues últimes condicions han estat ja destacades per altres autors (Escudero, Lois i Martí, 1998-1999).

El canvi climàtic antròpic és, efectivament, un tema nou, malgrat que ja té un quart de segle d'antiguitat. A la primera meitat dels anys setanta no es parlava de l'escalfament global, sinó, fins i tot, de tot el contrari: el planeta s'encaminava vers una nova glaciació; la relativa fredor d'aquells anys servia per a recolzar aquesta afirmació. D'altra banda, no constitueix una notícia conjuntural o efímera, sinó gairebé permanent, present d'una manera continuada en els mitjans de comunicació des de fa ja uns quants anys. Els temes efímers s'obliden després de la seva desaparició; el canvi climàtic ens és recordat amb massa freqüència.

El canvi climàtic es pot enquadrar dins de l'extensa i diversa temàtica mediambiental, que, afortunadament, desperta cada cop més un interès molt ampli entre gairebé tots els components de la societat —fins i tot la mateixa publicitat fa constar la bondat mediambiental o ecològica dels seus productes. Els mitjans de comunicació reflecteixen aquest interès amb un nombre creixent de notícies de caràcter mediambiental. Cada dia podem llegir als nostres diaris notícies d'aquest tipus. No es pot negar, d'altra banda, que el canvi climàtic actual té unes certes dosis de «morbositat». Cal veure, si no, el panorama catastròfic que es dibuixa per al final de segle, amb l'augment del nivell marí, la desaparició de moltes espècies vegetals i animals, la propagació d'epidèmies, entre d'altres. I la condició humana és de tal manera que aquestes perspectives no solament preocupen, com ha de ser, sinó que, ahora, atrauen més que les d'un futur climàtic tranquil o una anàlisi més optimista dels possibles canvis i conseqüències.

El problema del canvi climàtic es pot formular senzillament; n'hi ha prou amb dues paraules o una mica més: «escalfament global», «efecte d'hivernacle», o expressions semblants, adients per a un titular breu de premsa. Això afavoreix recordar-les i difondre-les. Tanmateix, i encara que resulti paradoxal, la seva complexitat el fa, igualment, atractiu. Un tema rodó, acabat, solucionat deixa d'interessar. No és aquest el cas del canvi climàtic, amb múltiples implicacions i incerteses, amb nous descobriments i resultats.

1.10. *Les incerteses sobre la naturalesa i les conseqüències del canvi climàtic requereixen encara la consideració d'aquest com a àrea prioritària de recerca*

En gairebé tots els plans de recerca i convocatòries de projectes científics, siguin internacionals, europeus, estatals o regionals, la variabilitat i el canvi climàtic tenen la consideració de línia prioritària, a la qual es destinen recursos financers. Tanmateix, encara són necessaris molts esforços científics més, emparats en els recursos econòmics corresponents, per aclarir les incerteses —no ja sobre la seva realitat—, sinó sobre la naturalesa i les conseqüències del canvi climàtic. Es tracta d'una inversió obligada, per la gravetat del problema, i rendible, sens dubte, en termes econòmics i de coneixement científic.

133

2. TENDÈNCIES RECENTS DE LA PRECIPITACIÓ I LA TEMPERATURA A CATALUNYA I LA PENÍNSULA IBÈRICA

En aquest apartat es fa un resum dels principals resultats presentats per l'autor en el capítol A3, «Factors geogràfics, regionalització climàtica i tendències de les sèries climàtiques a Ca-

talunya», de l'*Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*, CADS, IEC, Barcelona, aparegut el 2005.

2.1. *La temperatura*

Els resultats més complets sobre les tendències de la temperatura a Catalunya amb sèries llargues i homogènies són els obtinguts amb la base de dades NESATv2 (Temperatures Ajustades del Nord-est d'Espanya, versió 2), construïda pel Grup de Recerca del Canvi Climàtic de la Universitat Rovira i Virgili a partir de 23 observatoris, que abasta amb resolució mensual el període 1869-1998 (Aguilar *et al.*, 1999; Brunet-India i López Bonillo, 2001). Les dades s'expressen com a anomalies respecte al període internacional més recent (1961-1990). Els gràfics corresponents no deixen cap mena de dubte pel que fa a la tendència recent d'aquesta variable, que, d'altra banda, coincideix amb les pautes globals. Així, amb una resolució anual, les anomalies positives mostren una clara acumulació a partir de la dècada dels anys vuitanta del segle XX fins al final de la sèrie i es bat el rècord en tres anys, la qual cosa implica una nítida tendència creixent. L'augment al llarg del període d'anàlisi s'estima en 0,007 °C/any (Brunet *et al.*, 2001).

El comportament general és molt similar al planetari, amb valors baixos durant el segle XIX, un augment de la temperatura durant la primera meitat del segle XX, anomalies negatives en els anys seixanta i setanta —especialment aquesta última en el cas de Catalunya— i l'esmentat increment final. L'anàlisi de les temperatures mitjanes de les màximes i mitjanes de les mínimes revela pautes similars.

La temperatura de les aigües marítimes constitueix una font d'informació addicional sobre l'escalfament global de gran importància, a causa de la seva inèrcia, ben coneguda. En el cas de Catalunya es compta amb un observatori (l'Estartit),

on l'extraordinària dedicació i minuciositat del seu observador meteorològic (Josep Pascual) permet disposar de sèries completes de la temperatura de les aigües del mar i de l'aire (i de la resta de variables climàtiques) corresponents a més d'un quart de segle (des de 1974 fins a 2002). Els valors disponibles, registrats a les proximitats de les illes Medes (localització que queda protegida dels efectes locals de la costa), corresponen a profunditats de 0,5, 20, 50 i 80 m. La seva anàlisi estadística i la corresponent representació gràfica (figura 2) no deixen cap mena de dubte del significatiu escalfament recent, distingible fins i tot a la isòbata de -80 m, especialment des del principi dels anys vuitanta (Martín Vide, 2003).

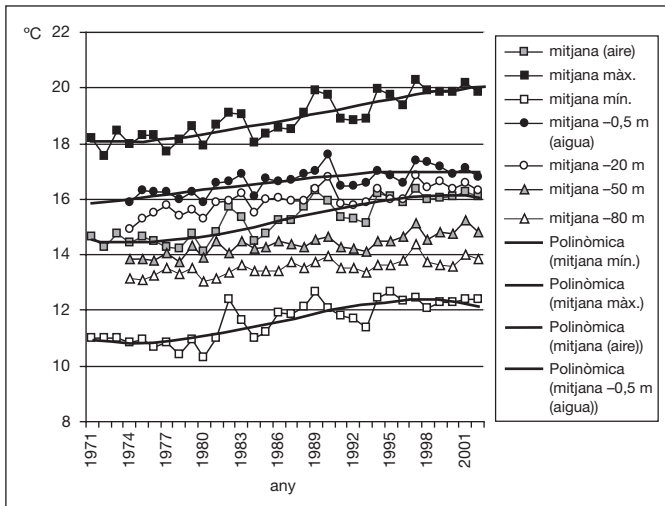


FIGURA 2. Evolució temporal de les temperatures (°C) de l'aire (mitjana i mitjanes de les màximes i de les mínimes) i de les aigües marines a l'Estartit, a 0,5, 20, 50 i 80 metres de profunditat, durant el període bàsic 1974-2002.

FONT: Elaboració pròpia a partir dels registres de Josep Pascual, l'observador meteorològic de l'Estartit.

Finalment, cal indicar que un bon nombre de sèries brutes de temperatura de poblacions catalanes mostren clarament tendències a l'alça en les últimes dècades, la qual cosa no sols es deu a l'escalfament global, sinó també al creixement de la mateixa urbs, que reforça el fenomen d'«illa de calor», anomalia tèrmica positiva en els centres urbans en contrast amb la perifèria.

2.2. *La precipitació*

Fent servir sèries pluviomètriques anuals de prop d'un segle o més de durada, a Catalunya no s'evidencien canvis significatius en la quantitat de precipitació. La suposada reducció pluviomètrica no troba un aval clar en les sèries de precipitació seculars. Així, les pluviomètriques de l'Observatori Fabra mostren lleugers augments de la quantitat anual de precipitació i altres paràmetres pluviomètrics. Concretament, la sèrie anual que cobreix el període 1914-2001, normal, aleatòria i homogènia, té una mitjana de 616,8 mm i una desviació tipus de 147,8 mm (CV = 24,0 %) i valors extrems de 1.122,5 mm (any 1971) i 401,8 mm (any 1937), i presenta una lleu tendència a augmentar (3,1 mm/dècada), no significativa al nivell de confiança del 95 %. Amb dades del mateix observatori, s'observa que s'ha produït una disminució, en aquest cas estadísticament significativa, en el nombre anual de dies de precipitació, tot i que no en el nombre de dies amb quantitats més altes de precipitació. Aquesta disminució és de l'ordre de 2 dies/dècada (Lana *et al.*, 2003). Això significa una tendència positiva de la intensitat de la precipitació anual expressada en mm/dia.

Una altra sèrie secular, corresponent a la ciutat de Sabadell durant el segle XX, també normal, aleatòria i homogènia, de mitjana 616,5 mm, desviació tipus 152,5 mm (CV = 24,7 %) i

valors extrems de 1.203,9 mm (any 1996) i 339,8 mm (any 1912), també presenta una lleugera tendència a augmentar (6,2 mm/dècada), tot i que no és significativa amb un nivell de confiança del 95 % (figura 3).

L'anàlisi de l'últim període internacional (1961-1990) pel que fa al conjunt de Catalunya mostra, tanmateix, una novetat interessant que s'ha de considerar amb la prevenció de l'ús d'una sèrie relativament curta per a la detecció de senyals climàtics de prou entitat. Així, fent servir un conjunt de 139 observatoris bastant ben distribuïts pel territori, amb sèries mensuals completes durant el període esmentat o amb llacunes molt escasses, completades per correlació lineal a partir dels observatoris complets, s'ha obtingut la sèrie de mitjanes dels seus valors anuals estandarditzats, que mostra una visible tendència a la baixa, encara que el test *t* no admet que sigui significatiu al nivell de confiança del 95 %, però sí al del

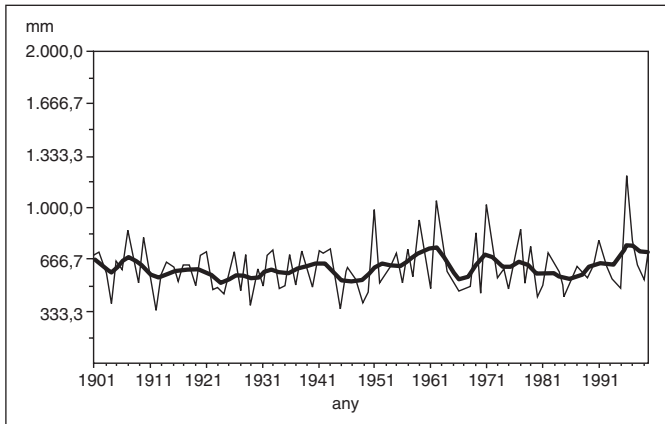


FIGURA 3. Evolució temporal de la precipitació anual (mm) a Sabadell durant el segle XX i suavitzada mitjançant un filtre gaussià de pas baix. FONT: Elaboració pròpia.

90 %. Convenientment suavitzada, ofereix una imatge d'apreciable reducció de la quantitat anual de precipitació en el conjunt de Catalunya al llarg dels trenta anys esmentats.

La variabilitat pluviomètrica és un assumpte de gran importància a Catalunya. El possible increment d'aquesta augmentaria la inseguretat de les aportacions esperades segons els valors mitjans. Sobre les sèries de Barcelona i Tortosa, que cobreixen quatre períodes internacionals —a Tortosa li falta únicament la dècada inicial del primer període—, s'han trobat els valors del coeficient de variació anual. Les conclusions que se'n poden extreure són dues: 1) La variabilitat pluviomètrica anual al llarg del segle XX a Catalunya probablement hagi augmentat, i 2) la variabilitat de l'últim període internacional no resulta, però, desconeguda, sinó que és comparable a la del final del segle XIX. La sèrie pluviomètrica anual de 88 anys de l'Observatori Fabra (1914-2001) analitzada anteriorment mostra un coeficient de variació del 21,2 % per a la seva primera meitat (1914-1957) i del 25,8 % per a la segona (1958-2001), la qual cosa confirma la tendència a l'alça de la variabilitat pluviomètrica al llarg de les últimes dècades.

L'estructura diària de la precipitació, entesa com la distribució de freqüències de les quantitats diàries, és un dels paràmetres que pot resultar més sensible al canvi climàtic i, alhora, que pot tenir conseqüències ambientals i socioeconòmiques més grans. La mateixa intensitat diària de la precipitació està associada a aquesta distribució de freqüències. Una petita variació en els dies més plujosos té conseqüències dràstiques en la pluviometria anual i produeix una variació significativa del risc de precipitacions torrencials. Com a aproximació inicial, s'han analitzat les distribucions de freqüències de les quantitats diàries de precipitació de l'observatori de Tortosa —dades d'una qualitat excel·lent— en dos períodes de 25 anys: 1951-1975 i 1976-2000 (aquest últim període es corres-

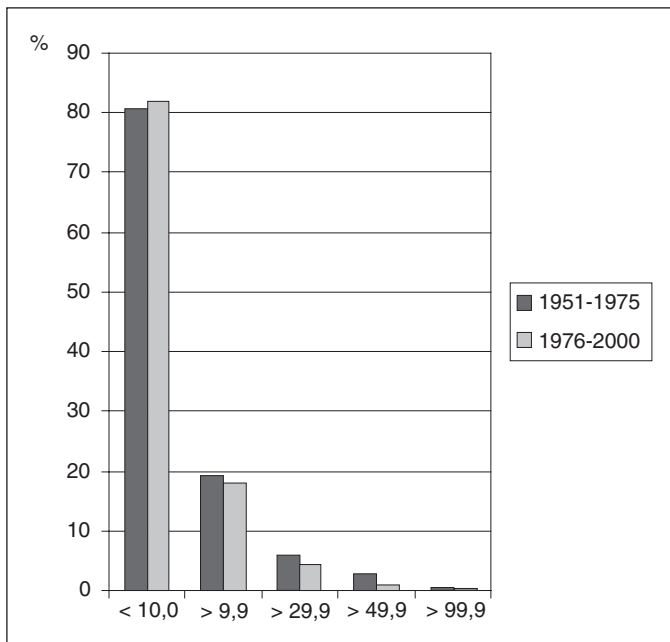


FIGURA 4. Percentatge de dies de precipitació igual o major de 10, 30, 50 i 100 mm, i menor de 10 mm, a Tortosa-Roquetes durant els períodes 1951-1975 i 1976-2000.

FONT: Elaboració pròpia.

pon amb l'interval de l'escalfament global d'origen antròpic). Les diferències són certament significatives i, fins a cert punt, sorprenents. En primer lloc, cal assenyalar una marcada reducció dels dies amb precipitació més important, especialment amb quantitats iguals o superiors a 50 i 100 mm, en passar del primer període al segon (figura 4). La reducció de 55 dies amb mig centenar o més de mil·límetres a 22 dies, durant l'últim quart de segle, és molt important. L'últim nombre suposa tan sols un 40 % del primer, mentre que els dies amb quantitats

petites, inferiors a 10 mm i el total de dies de pluja van ser molt similars en els dos períodes considerats. En conseqüència, a Tortosa ha minvat el pes dels dies més plujosos en els totals pluviomètrics o, el que és el mateix, les precipitacions torrencials es produeixen amb una probabilitat més reduïda. Cal analitzar més casos —però només amb la garantia que els registres siguin plenament fiables— per a poder confirmar o descartar l'evolució que s'apunta a Tortosa.

Una mera comptabilització per al cas de Barcelona del nombre de dies amb precipitació igual o superior a 30, 50 i 100 mm durant les dècades dels anys cinquanta, seixanta, setanta i vuitanta del segle XX no situa l'últim recompte en primer lloc, sinó que, contràriament, és la dècada dels cinquanta la que compta amb un nombre més alt de dies de precipitació per sobre dels llindars esmentats. Per tant, encara no està demostrat, fins ara, el presumpte augment dels ruixats amb més quantitat de precipitació en els últims lustres a Catalunya.

En conclusió, cal indicar que les tendències de les sèries pluviomètriques a Catalunya encara són poc definides, ben al contrari de les de la temperatura.

AGRAÏMENTS

Aquest treball s'ha fet en el marc del grup de recerca consolidat Grup de Climatologia, 2001SGR 00040 (<http://www.ub.es/gc/menu.htm>).

A Joan Albert López Bustins, pel seu ajut tècnic.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR, E.; LÓPEZ, J. M.; BRUNET, M.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. (1999). «Control de calidad y proceso de homo-

- geneización de series térmicas catalanas». A: RASO; MARTÍN VIDE [ed.]. *La climatología española en los albores del siglo XXI*. Barcelona: Oikos-Tau: Asociación Española de Climatología, p. 15-23. (Serie A; 1)
- BARRIENDOS, M. (1994). *El clima histórico de Catalunya: Aproximación a sus características generales (ss. XV-XIX)*. Universitat de Barcelona. [Tesi doctoral inèdita]
- BRUNET, M.; AGUILAR, E.; SALADIÉ, O.; SIGRÓ, J.; LÓPEZ, D. (2001). «Análisis de las relaciones entre la evolución a largo plazo de la temperatura del aire en el nordeste español y las estimadas para el hemisferio norte, la cuenca del Mediterráneo occidental y el centro de Inglaterra». A: PÉREZ-CUEVA, LÓPEZ BAEZA; TAMAYO. *El tiempo del clima*. València: Garmas: Asociación Española de Climatología, p. 27-39. (Serie A; 2)
- BRUNET-INDIA, M.; LÓPEZ BONILLO, D. (2001). *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Berlín; Heidelberg; Nova York: Springer.
- ESCUDERO, L. A.; LOIS, R. C.; MARTÍ, A. (1998-1999). «La cuestión del cambio climático, realidad y noticia. Una aproximación desde el territorio gallego». *Revista de Geografía* [Universitat de Barcelona. Departament de Geografia], XXXII-XXXIII, p. 67-78.
- LANA, X.; SERRA, C.; BURGUEÑO, A. (2003). «Trends affecting pluviometric indices at the Fabra Observatory (Barcelona, NE Spain) from 1917 to 1999». *International Journal of Climatology* [Royal Meteorological Society], 23, p. 315-332.
- LLEBOT, J. E. [ed.] (2005). *Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: CADS: IEC.
- MARTÍN VIDE, J. (1990). «La percepción del clima en las ciudades». *Revista de Geografía* [Universitat de Barcelona], XXIV, p. 27-33.

- MARTÍN VIDE, J. (1997). *Avances en climatología histórica en Espanya = Advances in Historical Climatology in Spain*. Vilassar de Mar: Oikos-Tau.
- (1999). «Decàleg del canvi climàtic», A: VILÀ-VALENTÍ, J. [coord.]. *Medicina, medi ambient i clima. Investigacions punta per al 2000*. Barcelona: Fundació Catalana per a la Recerca, p. 217-242.
- (2001). «Algunas reflexiones y ejemplos del valor de la percepción ambiental en la planificación territorial y de actividades». *Revista de Desenvolvemento Económico* [Bahia. Salvador: UNIFACS], III, 4, p. 60-64.
- (2003). «Sobre las señales del cambio climático antrópico». A: *IX Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*. Barcelona: ACAM, p. 159-168.
- MARTÍN VIDE, J.; BARRIENDOS, M. (1995). «The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)». *Climatic Change*, 30, p. 201-221.
- WHEELER, D.; MARTÍN VIDE, J. (1992). «Rainfall characteristics of mainland Europe's most southerly stations». *International Journal of Climatology*, 12, p. 69-76.

**ASSOCIACIÓ CATALANA
DE CIÈNCIES
DE L'ALIMENTACIÓ
COMPLEXITAT DE LA RESPOSTA
SENSORIAL OLFACTIVA
EN ELS HUMANS,
A CÀRREC DE
RAMON VIADER I GUIXÀ,
DELS LABORATORIS
VIADER ANÁLISIS, SL**

Va ser Aristòtil el qui primer es va interessar pel coneixement dels nostres sentits. Va descriure els cinc sentits i va establir una doctrina basada en la percepció com a fet físic sense aprofundir en les variacions de la percepció sensorial ni conèixer el perquè dels fets.

El coneixement anatòmic i fisiològic del nostre sistema nerviós no està encara complet. Resten moltes àrees per explorar i molt encara per conèixer. De fet, l'activitat més important del nostre cervell està per descobrir. Com sentim? Per què sentim? Per què estimem? On resideix la facultat de pensar? Què sabem de les nostres capacitats extrasensorials?

Els filòsofs i els metges de l'antiga Grècia van ser els primers a formular-se aquestes preguntes. Al cap de 2.500 anys, no hem estat capaços de definir, explicar què entenem per «ànima», si és que realment existeix.

Alcmeó de Crotona, al voltant de l'any 520 aC, va ser, segons que sembla, el primer que, per a descobrir aquest secret, començà a endinsar-se en el cos humà realitzant disseccions que aportaren notables coneixements. Els més rellevants van ser el nervi òptic i el conducte que comunica l'oïda amb la cavitat bucal. Eustaqui, de qui rep el nom aquest conducte, no en va ser sinó un redescobridor. La seva observació més important va ser, no obstant això, afirmar que el cervell era el centre motor de les sensacions i la residència del pensament, atès que havia descobert passos o conductes que anaven des dels òrgans sensorials fins al cervell. Alcmeó, el gran desconegut, va ser sens dubte la ment més clara de l'antiguitat i l'investigador mèdic més notable, encara que les seves apreciacions van trigar molts segles a ser admeses per la comunitat científica. Cal començar dient que a la seva època els atomistes afirmaven que el pensament estava en el cor.

Hipòcrates, uns cent anys després, va estar d'acord amb Alcmeó i va afegir-hi que el cervell deia als membres del cos com havien d'actuar i que l'aire donava intel·ligència al cervell, però, no en un sentit espiritual, sinó com a aliment. Grandíssima també l'aportació d'Hipòcrates, perquè és la primera vegada que se cita l'aire (oxigen) com a element indispensable per al funcionament del cervell.

Plató i Aristòtil van ser grans pensadors, però mals investigadors. Plató aportà inquietuds sobre la naturalesa de l'ànima i la seva total separació del cos, la metempsicosi o la transmutació de les ànimes, en contraposició al que propugnarà més endavant Descartes. Aristòtil mantenia, com s'ha dit, la creença que el pensament es trobava en el cor i que el cervell no era més que un element per refredar la sang quan el cor s'escalfava massa. En certa manera tenia raó. Va dir, també, una cosa que no deixa de ser curiosa: un canvi en l'estat anímic produeix canvis en la forma del cos i viceversa.

Heròfil de Calcedònia va ser un anatomista excel·lent. Un dels seus òrgans d'estudi preferits va ser el cervell. Començà a determinar zones concretes, el còrtex, els plexos coroïdals, els sinus venosos i els ventricles. Per a nosaltres el més important és que va fer una distinció entre dues classes de nervis: els sensorials i els motors. Un alumne seu, Erasistrat de Quios, va ser qui determinà dues parts ben diferenciades: el cervell i el cervellet i hi afegí que, per comparació amb el cervell dels animals, les circumval·lacions determinaven d'alguna manera el grau d'intel·ligència.

No menys importants foren les aportacions del gran Leonardo da Vinci. Aquest extraordinari cervell, nascut el 1452 i mort el 1519, es va interessar vivament per descobrir el funcionament dels nostres sentits, en especial, la vista. Estudià l'anatomia de l'ull mitjançant un particular sistema de dissecció basat en una coagulació prèvia amb clara d'ou. Estudià els mecanismes de la visió imitant un ull amb

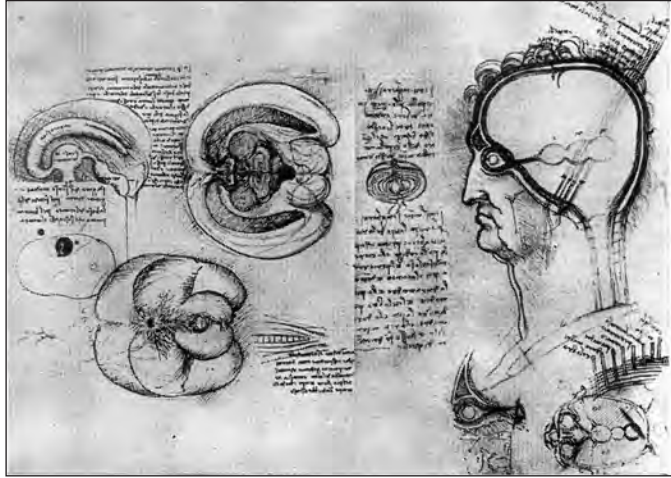


FIGURA 1. *Leonardo da VINCI*, Quaderns d'anatomia, tom v, p. 6 i 7.

146

una bola de vidre i va descriure les variacions del diàmetre de l'iris en funció de la llum ambient. Descrigué la duramàter i la piamàter.

Que sapiguem, les coses van restar així fins a l'arribada del segle XVII, en què Descartes (1596-1650) va fer importants passos endavant en el coneixement de les activitats cerebrals. Digué que les experiències perceptives només es produeixen quan els senyals nerviosos arriben al cervell a la vegada que el cervell té un paper exclusiu en les experiències conscients. Aquest concepte va quedar condensat en la cèlebre frase: «Penso, llavors existeixo».

Pensar, deïa, és tot tipus d'activitat conscient i en l'ànima ser i pensar s'identifiquen. D'aquesta manera atribueix a l'ànima les virtuts que ens preguntàvem a l'inici del paràgraf: sensibilitat, sentit comú, memòria, imaginació, enteniment i voluntat. Va anar encara més enllà quan digué que no era en

el cor ni tampoc en el cervell on residia l'ànima, sinó en una de les seves parts més interiors, la glàndula pineal o epífisi.

És en el segle XVIII que, a partir del saber heretat, s'inicia una autèntica revolució en el coneixement. L'anglès Thomas Willis descobrí el sistema d'artèries que es troben a la base del crani i va intuir que a la matèria grisa radicaven les funcions intel·lectuals, mentre que la matèria blanca tenia funcions merament estructurals.

Haller, considerat el pare de la neurologia moderna, va confirmar el que Alcmeó ja havia dit 2.200 anys abans: que tots els nervis anaven a parar al cervell o a la medul·la espinal. Va començar amb l'estudi de les facultats psicomotores en estimular o lesionar diverses parts del cervell d'animals i veient els tipus de paràlisi que es produïen.

Galvani, metge i anatomista, conegut potser només pels seus experiments amb l'electricitat, va ser també un notable precursor de les tècniques actuals, en observar la contracció muscular per causa del corrent elèctric. Volta va posar fi al tema, en concloure que no eren els «esperits animals» els que movien el cos, sinó uns impulsos elèctrics.

Un altre metge, el francès Pierre Paul Broca, fundador de l'antropologia científica, va ser el primer que relaciona de manera clara una aptitud específica amb un punt concret del cervell. En l'àrea de Broca resideix el centre verbal motor.

Un espanyol, l'aragonès Santiago Ramón y Cajal, va ser el primer neuròleg del món i el primer investigador espanyol guardonat amb el premi Nobel de medicina. Els seus treballs més notables els va portar a terme a Barcelona en el quinquenni 1887-1892. Va descriure amb detall com les neurones i els nervis estan formats per cèl·lules nervioses. Descobrí que no hi havia comunicació física entre elles, que eren independents: que existia contigüïtat, però no continuïtat.

El portuguès Abreu, més conegut pel seu segon cognom, Moniz, va estudiar el reg sanguini cerebral mitjançant la

injecció de substàncies opaques als raigs X. El premi Nobel de medicina que li fou concedit el 1949 va ser pels seus treballs en neurocirurgia: va fer la primera lobotomia prefrontal.

John C. Eccles va aprofundir notablement en el coneixement de la transmissió de l'impuls nerviós en descobrir el que coneixem com a *potencial de membrana*.

ANATOMIA DELS ÒRGANS DELS SENTITS

Els òrgans dels sentits estan constituïts en última instància per una organització tissular de cèl·lules especialitzades anomenades *receptors*. El senyal generat en els receptors es transmet cap a diverses zones del cervell i allà s'interpreten. Hi ha diverses classes de receptors.

Des de Sherrington (1906), la doctrina aristotèlica dels cinc sentits ha sofert transformacions considerables. De ser els sentits per antonomàsia, la vista, l'oïda, l'olfacte, el gust i el tacte han passat a constituir un grup d'entre els nombrosos receptors amb què està dotat l'organisme. Els cinc sentits clàssics formen els anomenats *exteroceptors* (sensors conscients) o sentits oberts a l'anàlisi de la realitat exterior a l'organisme, encara que alguns donin, també, informació sobre el propi cos.

El grup dels *propioceptors* (sensors inconscients) comprèn un conjunt dispar de receptors situats principalment en els músculs i les articulacions que informen el subjecte del seu to muscular, moviments corporals i equilibri o relació postural amb el terra. Finalment, les terminacions sensorials radicades a les vísceres formen la classe dels *interoceptors* o *visceroceptors*, encarregats de les cenestèsies o sensibilitat visceral difusa, pressió arterial i venosa, temperatura de la sang, pressió parcial de l'oxigen, pH del líquid cefaloraquídià i també, segons alguns, de la sensibilitat afectiva. Hi ha ac-

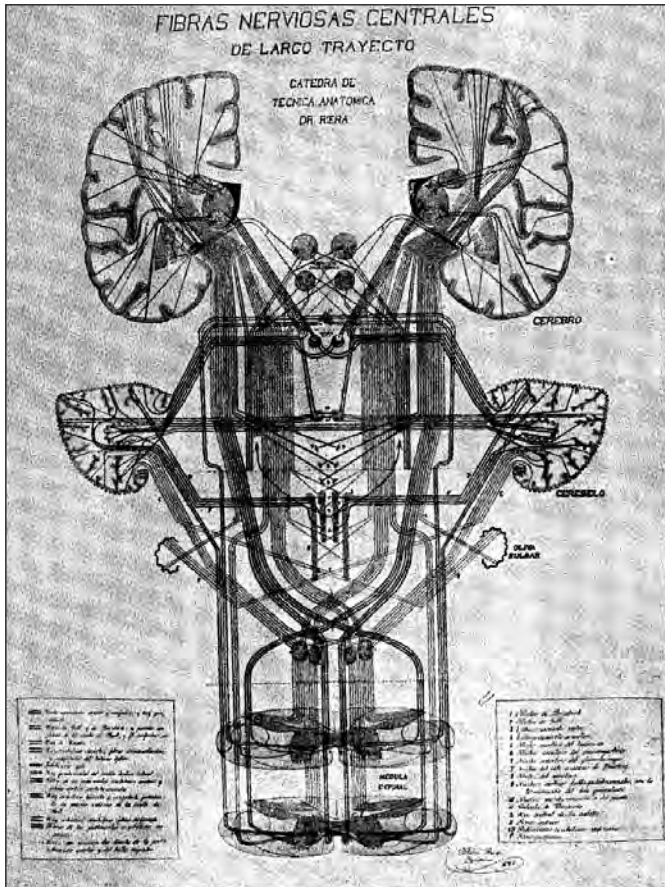


FIGURA 2. *Dibuix explicatiu de les diferents connexions dels sentits amb el cervell.*

FONT: A. RIERA VILLARET (1888?), *Tratado de técnica anatómica*, Barcelona.

tualment molta literatura mèdica que relaciona determinats trastorns emocionals amb el sistema digestiu, fins i tot amb el càncer. De fet, el refranyer popular està ple d'evocacions so-

bre aquest aspecte. Vulgarment i des de quasi la nit dels temps, associem els dolors abdominals a determinats problemes de la vida quotidiana.

Una mica desdibuixats en aquesta classificació de Sherrington resten els *dermoreceptors*, és a dir, els sentits de la pell, que produeixen les sensacions de pressió o de contacte, i els *termoreceptors*, que promouen en l'organisme sensacions de fred o calor (hi ha un nombre quatre vegades més gran de receptors per al fred que per a la calor). Tots dos constitueixen la màxima expressió del sentit del tacte. La cavitat bucal és una mucosa revestida d'aquests receptors que contribueixen a la interpretació de les sensacions rebudes, probablement de manera indirecta sobre el gust, de la mateixa manera que el color influeix sobre l'olfacte.

Per descomptat, una altra de les maneres de classificar els receptors consisteix a agrupar-los segons la classe d'estímul que registren o transdueixen. Ens trobem així, en primer terme, els *mecanoreceptors*, encarregats d'enregistrar les estimulacions mecàniques que incideixen sobre la pell o es produeixen a l'interior de l'organisme, i de transformar-les en sensacions de pressió, equilibri, moviment del cos, fred, calor, so, dolor i plaer.

Els *quimiorceptors* tenen com a missió la detecció de substàncies volàtils o solubles, escampades per l'aire ben barrejades amb els aliments. És significativa i ben coneguda la diferència de la capacitat olfactiva dels diversos animals en funció de les seves necessitats. Així, per exemple, els mamífers macrosmàtics¹ com el gos tenen una capacitat olfactiva infini-

1. Reben el nom de *macrosmàtics* els bons ensumadors, els qui posseeixen gran agudesa olfactiva. S'inclouen en aquest grup els mamífers en general i alguns insectes. Són *microsmàtics* els qui distingeixen poques olors o tenen l'olfacte feble. Pertanyen a aquest grup els ocells, amb alguna excepció, i l'home. Són *anosmàtics* els qui tenen l'olfacte parcialment o totalment atrofiat.

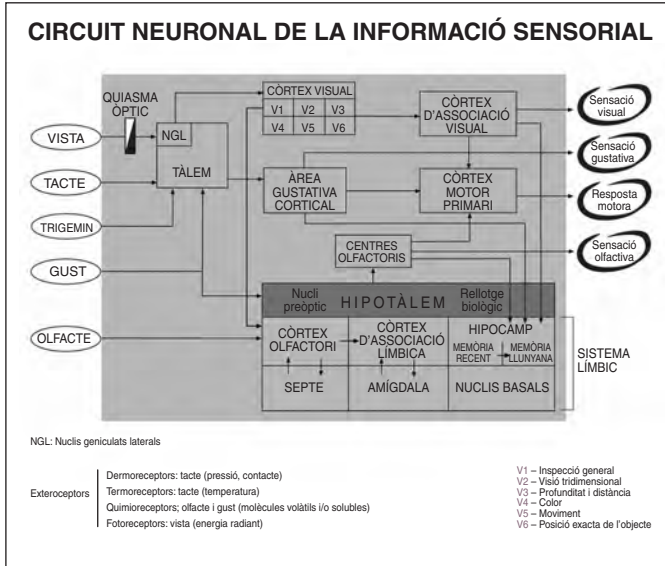


FIGURA 3. *Circuit neuronal de la informació sensorial.*

tament superior a la de l'home. Alguns lepidòpters, per exemple, són capaços de detectar les feromones de les femelles a una distància de més de deu quilòmetres. Si l'home disposés d'una sensibilitat semblant, seria capaç d'olorar la dona a uns cinc-cents quilòmetres de distància.

La diferència entre els quimiorreceptors olfactoris i els gustatoris és que els primers són neurones que contacten directament amb la molècula, es a dir, són receptors sensorials primaris, mentre que els segons són neurones que entren en contacte amb cèl·lules transductores, en aquest cas, de les papil·les gustatives, que capten la molècula i es defineixen com a receptors sensorials secundaris.

Els *fotoreceptors* estan constituïts per cèl·lules sensibles a l'energia radiant, encara que no a tota ella. La fotore-

cepció humana es mou dintre d'uns límits espectrals força reduïts.

Al segle XIX arriba Bolzano, un capellà austríac que va esdevenir un gran pensador i filòsof. Va postular la doctrina dels tres móns que després, al segle XX, Popper va assumir com a pròpia i va explicar àmpliament. Segons aquesta doctrina dels tres móns, el primer és el món físic; el segon, el de les nostres experiències, i el tercer, el dels productes de l'intel·lecte i especialment el llenguatge.

FISIOLOGIA DE L'OLFACTE. GÈNESI DE LA SENSACIÓ OLFACTIVA

En un primer estadi, la molècula olfactiva, hidròfila o lipòfila, en arribar al cili, es fixa a la proteïna lligadora (OBP) per tres punts, d'acord amb la regla triaxial. Si s'uneix per només un o dos punts, no es produeix sensació olfactiva.

Una vegada els cilis olfactoris han detectat la substància olorosa, es produeixen dos fenòmens de manera seqüencial. El primer correspon a la transducció (canvi de suport d'una informació sense canviar-ne el significat) que s'inicia amb el contacte de la substància olorosa amb el *locus* receptor del cili neurosensorial, que modifica els potencials de membrana. La unió olor-*locus* receptor s'efectua per forces de Van der Waals i l'afinitat d'aquesta olor per aquest *locus* ve determinada pel volum molecular, l'afinitat protònica, la polarització local i l'aptitud de cedir protons. Durant el breu espai de temps d'un mil·lisegon, l'olor produeix un potencial d'acció que triga entre 200 i 400 mil·lisegons a generar-ne la despolarització, i s'altera la permeabilitat iònica per al Na^+ extracel·lular que hi entra i per al K^+ intracel·lular que en surt, i es provoca el potencial intracel·lular. Una reacció enzimàtica mitjançant l'adenil ciclase (AC), anomenada també *proteïna G*,

actua sobre l'adenosí trifosfat (ATP) i genera AMP cíclic que funciona com a segon portador d'informació, actua sobre els conductes iònics de la membrana i activa el nervi. Generat l'impuls, el mateix AMP cíclic trenca l'enllaç entre la proteïna lligadora i la molècula olfactiva, es despolaritza de nou la beina de mielina del nervi i cessa l'impuls nerviós. Aquest mecanisme, no obstant això, no és ben conegut encara, ja que no explica alguns fenòmens normals en l'olfacció, com, per exemple, determinats efectes sinèrgics entre aromes. Se sap que hi ha un altre mecanisme generador d'impulsos nerviosos, també mitjançant l'adenil ciclase (AC), però, en aquest cas, actua sobre el guanosí trifosfat (GTP). Si ensumem un gran nombre de molècules d'una mateixa substància, l'impuls generat és més intens.

El fenomen que ve després de la transducció és la codificació, que pot ser quantitativa o qualitativa. La codificació quantitativa depèn de la intensitat de l'olor, és a dir, de la freqüència de provocació d'estímuls, que, al seu torn, està vinculada a la concentració de la substància; mentre que la codificació qualitativa depèn del tipus de resposta que genera l'estímul olorós sobre la membrana del cili olfatori. No hi ha dos receptors idèntics, però sí que dos receptors poden respondre de manera idèntica davant d'un estímul. No hi ha una resposta unitària; hi ha una resposta múltiple unitària. La resposta depèn del nombre de fibres estimulades del total de vint-i-cinc milions de receptors diferents i independents. Per a cada tipus d'olor es forma un mapa de mucosa estimulada i, així, per a cada missatge qualitatiu apareix una imatge topogràfica de la mucosa plena de respostes d'estimulació, inhibició i de no respostes que es transmeten al bulb olfatori.

En aquest sentit, l'olfacte s'assembla al tacte. Amb els ulls embenats, i amb només una mà, som capaços de distingir perfectament una esfera, un cilindre, una piràmide, un cub o una superfície plana. Les cèl·lules del tacte que entapissen l'e-

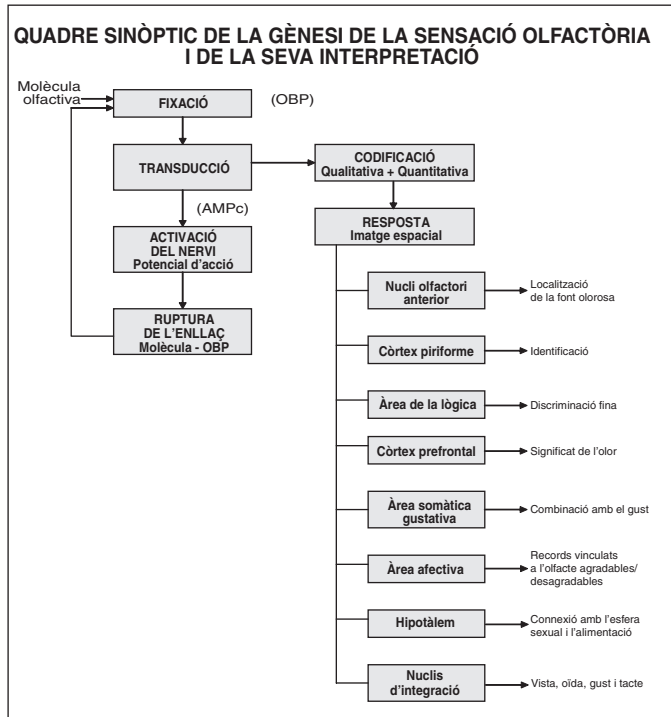


FIGURA 4. *Quadre sinòptic de la gènesi de la sensació olfactiva i de la seva interpretació.*

pidermis de la mà treballen de manera conjunta i és el cervell el que interpreta i dona forma (mai més ben dit) als impulsos nerviosos. L'olfacte és un sistema quimiotòpic. Hi ha, per dir alguna cosa, un codi espacial. El reconeixement de les aromes es produeix per mitjà d'una sèrie de reaccions químiques que condueixen a la gènesi dels impulsos nerviosos i aquests són interpretats en el cervell (imatge olfactiva).

De fet és el cervell el qui fa la feina de transformar les primeres reaccions cel·lulars en representació mental de les olors i

d'afegir-hi, al seu torn, la dimensió afectiva. Aquesta zona és la responsable de la nostra conducta alimentària i participa activament en la nostra resposta sexual. Estan àmpliament demostrades les estretes relacions entre sexe i olfacte. Hi ha una àrea definida per a la percepció olfactiva de les hormones, de manera que es pot parlar d'una autèntica percepció hormonal. A través del nervi *terminalis* (amb connexions que semblen vincular-lo amb l'eix hipotàlem-hipofissari) i del nervi de Jacobson, els senyals rebuts arriben al sistema límbic.

El sentit de l'olfacte, en general, és més agut en les dones, sobretot en el pic ovulatori. A més, hi ha diferències interpersonals degudes a la diversitat genètica, ja que cada receptor està codificat per un gen determinat i, com és ben sabut, un gen pot tenir diverses estructures (al·lelomorfs). Sabem que els nostres receptors olfactius són 339 i que estan codificats per més de mil gens. Cada receptor pot detectar diverses molècules químicament diferents. Aquesta diversitat és la responsable d'una capacitat específica individual per captar aromes. Estudis recents apunten cap a una relació entre el sistema olfactiu i el sistema immunitari. Hi ha persones que tenen un llindar de sensibilitat molt alt per a una molècula i, en canvi, molt baix per a una altra. Certes anòsmies específiques són de caràcter hereditari. Això vol dir que quan aprofundim en el món de l'anàlisi sensorial, cal que tinguem present que no pas tots els tastadors som iguals respecte a la nostra sensibilitat davant d'una molècula determinada. Cal remarcar que els aspectes cognitius estan íntimament relacionats amb els aspectes afectius.

En conseqüència, cada tastador hauria de conèixer i reconèixer les seves limitacions (història clínica, hàbits i la influència del món laboral). Olfacte i gust, tots dos, són hipersensibles en persones amb insuficiència adrenal. El sistema límbic té una importància decisiva en les nostres vides i, per tant, en els resultats de l'anàlisi sensorial. Aquesta zona és la responsable de les interaccions de l'olfacte amb la vista, el

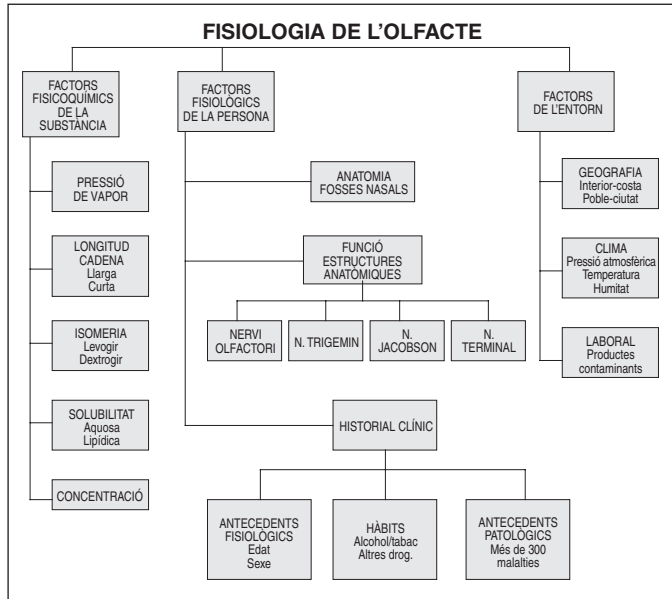


FIGURA 5. *Fisiologia de l'olfacte.*

FONT: J. M. de Haro Licer (2002).

gust, el tacte i la memòria. Les nostres experiències passades modulen criteris interpretatius.

L'efecte de set o fixació que tenim un gran nombre de persones, per no dir totes, sobre la percepció és, potser, un dels punts cabdals en l'anàlisi sensorial. Respecte a això, són clàssics els estudis de Leeper (1935) que després va continuar Boring i que aquest va explicar per mitjà de la coneguda figura ambigua de la sogra o la nora.

Les figures reversibles no sols són susceptibles de condicionament, sinó que l'efecte de fixació que les expectatives o les primeres impressions exerceixen sobre la seva percepció és extraordinari.

Vist d'una altra manera, ens referim a la probabilitat subjectiva en relació amb el fet conegut que, dins d'uns límits determinats i sobretot sota certes condicions d'ambigüitat estímular i de tensió emocional, tendim a veure el que volem, o sabem que veurem, el que estem preparats per veure.

El vi es pot sentir, es pot apreciar, es pot valorar, se'n pot gaudir, però gairebé sempre des del nostre particular i personalíssim mode de sentir. L'analista professional s'ha d'entrenar constantment, de la mateixa manera que ho fan els



FIGURA 6

esportistes per poder «estar en forma». En l'anàlisi sensorial professional, estar en forma equival a ser capaç d'aconseguir una abstracció del nostre propi Jo i d'emetre un judici neutre, correcte i expressat amb un lèxic que sigui entenedor universalment. Les descripcions grandiloqüents que tot sovint arriben a ser absurdes, les indefinicions amb què hom pretén explicar els continguts aromàtics i altres fantasies no són altra cosa que això: pura fantasia.

INFLUÈNCIA DE L'ESTAT EMOCIONAL

Els estímuls sensorials es modulen, es coordinen i s'interpreten al cervell, concretament en diverses zones específiques del còrtex, tot i que prèviament passen pel tàlem (llevat de l'olfacte) i el sistema límbic. En aquest fet anatomofisiològic radiquen una bona part dels problemes inherents a l'anàlisi sensorial.

El sistema límbic rep sensacions de tota mena i procedència i les modifica sempre d'acord amb la situació del nostre entorn. El tàlem i el sistema límbic són autònoms. El tàlem rep, controla i distribueix la informació sensorial i motora. Per la seva banda, el sistema límbic s'encarrega del comportament relacionat amb els impulsos bàsics d'alimentació, defensa, sexe i emoció.

Des que tenim coneixement de la història escrita, som conscients de la influència de la meteorologia en l'estat d'ànim de les persones. El tarannà jovial i alegre en general dels mediterranis en comparació amb el tarannà més seriós i introvertit dels nòrdics està molt influït pel clima. La major quantitat d'hores d'insolació, les temperatures moderades i els vents suaus, en terrenys canviants, en què es poden arribar a veure una gran quantitat d'espècies animals i vegetals contrasten amb el clima nòrdic i el seu paisatge més aviat monò-

ton i avorrit. El fred, la neu, el vent i la llum escassa retenen els habitants d'aquests indrets durant llargs períodes tancats en els seus hàbitats i/o en els seus llocs de treball. La comunicació és més escassa, més localitzada i menys espontània. Les estadístiques ens mostren un elevat índex de suïcidis en aquests països, més elevat que a la conca mediterrània, tot i que per desgràcia darrerament també augmenta a les nostres latituds. Més enllà de la geografia, molts altres factors afecten el nostre estat d'ànim.

L'estat anímic del degustador influeix molt sobre la interpretació de la sensació rebuda i, per tant, sobre el parer que n'emeti. Això no és pas nou. Una carícia, un aliment, la visió d'un paisatge, també poden ser gratificants de diferent manera segons el nostre estat d'ànim. Sabem que els estats d'eufòria tendeixen a fer que considerem les coses de manera positiva, mentre que els estats de melangia i de depressió ens influeixen negativament. És el tòpic de l'ampolla mig plena o mig buida. Per tant, els trastorns de l'estat d'ànim són episodis en què l'estructura cerebral no pot oferir respostes correctes a un estímul determinat. En els trastorns d'ansietat, per exemple, s'ha demostrat una lateralització de l'activitat metabòlica cerebral, de manera que l'hipocamp d'una banda funciona de manera desincronitzada, amb la qual cosa n'augmenta la taxa metabòlica. L'hipocamp és com el sistema operatiu de la memòria, per tant, és fàcil entendre que en aquest estat anormal tampoc no és correcta la interpretació dels estímuls per «error» en la memòria.

Quan una persona se sent malament i està angoixada no destria de manera nítida el que és important del que és accessori i fixa l'atenció en coses sense importància. Els estats depressius poden ser passatgers o permanents i de lleus a greus, però sempre, tota depressió, amb independència de l'etiologia, la magnitud i la durada que tingui, implica un desordre químic a escala cerebral, una alteració del metabolisme

dels neurotransmissors. Bàsicament, acetilcolina, dopamina i serotonina.

El problema té una magnitud superior a la que hom pot imaginar i avui dia la depressió és una de les patologies mentals més esteses. A l'Estat espanyol, sobre una població de quaranta milions d'habitants, un 20 %, és a dir, vuit milions, consumeixen psicofàrmacs de manera habitual. En conseqüència, podríem dir que un 20 % de consumidors no aprecien correctament un vi i un percentatge similar, tot i que probablement un xic més baix, es dona en els tastadors professionals.

Els tastadors professionals som els primers a reconèixer que la nostra sensibilitat és diferent d'un dia a un altre. Les causes en poden ser diverses, però, sens dubte, el nostre estat emocional, tant si en som conscients com si no, hi té una gran influència. Tant en l'eufòria com en la depressió, el nostre judici està alterat.

Un altre aspecte que cal tenir en compte són les diferents preferències que mostren els individus segons la seva nacionalitat. Aquesta evidència ens explica el motiu dels diferents gustos dels consumidors. Sembla que als alemanys els agrada el pi i els francesos s'estimen més les aromes florals. Quan travessem l'Atlàntic, els gustos olfactius canvien d'una manera molt marcada. Els nord-americans s'inclinen per les aromes fortes, en canvi els països centreamericans les preferixen encara més fortes. Si ens desplaçem al Japó, els seus habitants s'estimen més les aromes suaus, probablement perquè els japonesos tenen a la pell una baixa densitat de glàndules apocrines i, per tant, fan poca olor, la seva olor corporal és molt feble en comparació, per exemple, amb la gent de raça negra. Això vol dir que la mateixa nacionalitat de l'individu pot afegir, i de fet afegeix, una mica més de subjectivitat a l'anàlisi sensorial. Hi ha una àmplia bibliografia sobre preferències dels consumidors en matèria d'aromes, gustos i ali-

ments en general. És difícil que un analista sigui capaç de no tenir en compte les seves preferències quan ha de valorar un vi. Acostuma a passar en els concursos internacionals que els vins que obtenen unes millors qualificacions són els del país organitzador. Algunes persones malintencionades han sospitat que hi ha «trampa», però l'explicació d'aquests resultats és ben senzilla: la majoria dels tastadors que formen els diferents jurats són del país organitzador.

INFLUÈNCIA HORMONAL

L'home no presenta un cicle hormonal com la dona. Home i dona, tanmateix, tenen un cicle comú de vint-i-quatre hores que rep el nom de ritme circadià. El ritme circadià està imposat per la corba de concentració de cortisol plasmàtic al llarg del dia. El cortisol és una hormona que actua, sobretot, en l'organisme i que manté l'anomenat *estat de vigília*. Manté l'organisme en estat d'alerta i a rendiment màxim durant la fase diürna. Els nivells plasmàtics de cortisol augmenten gradualment des de les vuit del matí, es mantenen durant el dia i decauen en arribar el vespre, de manera que a partir de les sis de la tarda el descens és ràpid, cosa que ens prepara per al son reparador. I així cada dia. El conegut fenomen del *jet lag* no és altra cosa que la conseqüència d'haver trastocat el ritme circadià. Quan anem a tastar a un altre continent, necessitem com a mínim dos dies per recuperar el nostre funcionalisme sensorial correcte. El sistema límbic, captador essencial del medi extern i regulador de les secrecions hormonals, no en té prou amb la informació de tipus visual i, per tant, instantània, sinó que requereix reajustar el nostre rellogge biològic sobre la base d'altres informacions no tan immediates. El període d'adaptació ve donat pel temps que les glàndules de secreció interna, en especial les suprarenals,

necessiten per a adaptar-se a la nova situació, per a sincronitzar-se.

Quan els nivells de cortisol són baixos, els nostres òrgans sensorials també estan «adormits» i no funcionen a plena capacitat, ja que els nostres llindars de percepció puguen de manera notable. Podem concloure que entre les deu del matí i les dues del migdia són les millors hores per tastar. Però això ja ho sabíem.

Hi ha una estreta relació funcional entre l'òrgan olfactivu, l'hipotàlem, la hipòfisi i les glàndules endocrines. Aquest conjunt rep el nom d'«aliança nasogenital». Té una importància prou considerable, ja que, com a conseqüència d'aquest sistema, s'han demostrat variacions individuals en la percepció i el processament de les olors. Probablement a causa de canvis en l'equilibri hormonal. La major o menor activitat sexual del tastador pot afectar la percepció no sols a escala cortical, per la influència de l'hipotàlem, sinó per les interconnexions del sistema aliança nasogenital.

INFLUÈNCIA DE L'EDAT I DE L'ESTAT FÍSIC

L'humà és el primat més longeu, però aquesta longevitat no està obligatòriament vinculada a la plenitud física i mental, sinó que està associada a un procés degeneratiu plurimodal que anomenem *envelliment*. Quan l'envelliment ha progressat fins a un nivell determinat s'esdevé la mort. Aquest procés és propi de l'home i, en una menor mesura, d'alguns animals superiors. Els animals en general no envelleixen, tenen una vida curta que acostuma a tenir fi quan se n'acaba l'etapa reproductiva.

Honoré de Balzac (1799-1850) va dir que «l'home mor una primera vegada en l'edat en què perd l'entusiasme». L'entusiasme de l'ésser humà està íntimament vinculat al

plaer i el plaer és consubstancial a l'ésser humà. Entusiasme, en el sentit que ens ocupa, vol dir esperança, esperança de gratificació, i, si no hi ha gratificació als nostres esforços diaris, a l'últim caiem en la depressió. L'home, a diferència de la majoria d'animals, viu més d'una quarta part de la seva vida en l'etapa postgenèsica. En aquesta etapa el sexe deixa de tenir vocació reproductiva i passa a ser merament recreativa, generadora de plaer. El plaer sexual, pel seu caràcter d'excitació plurimodal, constitueix el plaer més intens. La seva restricció fa disminuir el nostre índex d'endorfines i la nostra taxa metabòlica en general. És, en termes generals, una característica de l'envelliment.

L'envelliment és una propietat de la vida humana. Les nostres cèl·lules estan afectades per l'oxigen al llarg de la seva vida, de mateixa manera que l'oxigen també afecta el vi. L'oxida. Per acció de l'oxigen, del sol i de diversos factors ambientals, el nostre organisme s'oxida, de manera que les nostres cèl·lules són incapaces de reproduir-se fidelment, ja que el seu ADN, amb les rèpliques successives, s'ha anat fent malbé i les noves cèl·lules presenten defectes irreparables. L'ADN ha resultat danyat per l'acció dels radicals lliures, els superòxids principalment, que per sort alguns polifenols del vi neutralitzen (resveratrol, quercetina, mircetina).

Aquesta situació promou canvis hormonals, especialment en la dona, que es tradueixen en l'aparició de la menopausa. Alguns experts han encunyat el concepte d'andropausa per a l'home, ja que també ell, tot i que en un grau menor, pateix trastorns hormonals, metabòlics i psíquics que modifiquen les seves actuacions cerebrals. Amb el pas dels anys es redueix la nostra capacitat pulmonar i la nostra taxa metabòlica. L'afluència d'oxigen a les cèl·lules és menor. La producció d'hormones, també. El cervell i els òrgans sensorials funcionen bàsicament amb oxigen i hormones. Per sort, el cervell és l'òrgan que envellaix més a poc a poc, però no

deixa de perdre facultats. Els trastorns de la memòria són els més freqüents i no hem d'oblidar que l'anàlisi sensorial necessita molt de la memòria. També els enllaços sinàptics s'afebleixen i el cos callós perd rendiment, cosa que es tradueix en una major dificultat per expressar les sensacions, especialment en el cas de l'home. Un cas particular i curiós és la malaltia d'Alzheimer, que es caracteritza per una pèrdua substancial de l'olfacte des d'una fase inicial. D'una manera resumida i concreta, podem concloure que l'olfacte no assoleix la seva plenitud fins als quinze anys en la dona i els divuit en l'home i la seva capacitat es manté estabilitzada fins només als quaranta en l'home i els cinquanta en la dona. A partir d'aquestes edats, se'n produeix una pèrdua lenta però progressiva. Aquest descens d'agudeses olfactiva està provocat per diversos factors: sequedat de la capa mucosa, reducció de la producció de noves cèl·lules sensibles, reducció de la mida de l'òrgan olfatiu, fort descens del nombre de cèl·lules olfactives, calcificació de l'os etmoide i degeneració del còrtex olfatiu.

L'estat físic del tastador pot impedir, en alguns casos, la realització d'una anàlisi sensorial correcta. Des d'un simple refredat fins a un trastorn hormonal, natural o induït. La sinusitis, les lesions a la boca (úlceres, cremades, genives sagnants), les lesions a la mandíbula, les operacions dentals, els empastaments, entre d'altres. La rinitis (inflamació de la membrana mucosa), que acostuma a ser d'origen al·lèrgic, arriba a alterar el sentit de l'olfacte. Dèficits de zinc i de coure produeixen hipòsmia, per sort reversible si es restableixen els nivells plasmàtics d'aquests dos microelements. En el cas de la malaltia d'Addison, una concentració alta de glucocorticoides provoca una hiperòsmia, de manera que els afectats presenten una hipersensibilitat olfactiva que es tradueix en un important descens dels llindars de vegades de fins a mil cops. Pot ser que hi hagi una influència directa sobre els receptors,

però el que sí que sabem és que els glucocorticoides milloren notablement la transmissió sinàptica i, si no n'hi ha, la pèrdua d'eficàcia en la transmissió es tradueix en una pèrdua de sensibilitat. De fet, és així com funcionen molts antiàlgids. Per aquesta raó, el corticoide *Prednisona* s'ha fet servir amb èxit en tractaments de certes anòsmies.

Els dèficits de vitamines del grup B redueixen la capacitat olfactiva. La radioteràpia en el tractament del càncer fa baixar de manera notable el sentit de l'olfacte. Les malalties relacionades amb una escassa producció d'hormones sexuals acostumen a fer disminuir la capacitat olfactiva. També, de vegades, la diabetis.

Segons un estudi fet per Fahy i col·laboradors el 1989, també els estats d'anorèxia nerviosa i de bulímia nerviosa poden provocar una notable pèrdua del sentit de l'olfacte i del sentit del gust.

SENSIBILITAT I SEXE

A més de les diferències anatòmiques entre el cervell de l'home i el de la dona, hi ha, com sabem, unes diferències hormonals significatives.

Com a conseqüència, les dones, en general, tenen una capacitat olfactiva superior a la dels homes. Com a mitjana, el valor llindar d'un gran nombre de substàncies és considerablement inferior en les dones, i aquestes poden percebre una gamma de sensacions olfactives molt més àmplia. En un exercici d'identificació d'olors, les dones l'encerten en un 70 %, mentre que els homes es queden en un 55 %. Aquestes diferències s'acusen més durant els dies de l'ovulació, que és quan els nivells plasmàtics d'estrògens són més alts. No sols l'olfacte, també la vista mostra en aquests dies una major agudesa. En canvi, baixa durant la menstruació. Aquestes va-

riacions van ser estudiades per diversos autors i publicades per Doty i col·laboradors el 1981 i posteriorment per Hummel i col·laboradors el 1991.

Amb assaigs duts a terme amb l'ENOSCOPE en l'observació de la terbolea, vam poder constatar un augment d'agudesa visual superior al 30 % en la mateixa dona en el pic ovulatori. Hi ha raons antropològiques per explicar aquestes diferències. La femella ha de protegir les cries dels seus depredadors i, per això, és convenient que estigui dotada d'un olfacte fi per percebre amb prou antelació la proximitat del perill. Una altra raó del mateix tipus radica en el fet que quan la dona ovula és quan pot quedar embarassada. En aquesta situació ha de triar el mascle que la pugui protegir millor a ella i les seves cries. L'olor de l'alè i la percepció de certes feromones (del grec *pherein*: portar i *hormon*: provocar o estimular) defineixen la masculinitat en el subconscient femení. Tot i que en el gènere humà no s'han trobat encara feromones pròpiament dites, diversos estudis han fet palesa la influència sobre la percepció olfactiva d'homes i dones davant d'un grup d'esteroides odorífers anomenats *16-androstens*, d'entre els quals el més significatiu, l'androsterol, que té una olor de mesc que acostuma a agradar. Però el mascle, per la seva banda, no està exempt d'una certa tria subconscient de la femella, ja que, com van demostrar Michael, Bonsall i Warner l'any 1974, les secrecions vaginals humanes contenen una quantitat suficient i variada d'àcids grassos volàtils que cada mascle percep i valora amb major o menor intensitat. A les aixelles masculines s'alliberen androstens («feromones» masculines) i a les aixelles femenines s'alliberen copulines («feromones» femenines). El borbollament de les aixelles i del pubis contribueix a la dissipació en l'aire d'aquestes substàncies. Probablement la depilació de les aixelles femenines va néixer amb el puritanisme del segle XIX i avui dia hem oblidat el concepte puritat a favor d'un altre, l'estètic. L'androstenol

també s'ha trobat, com altres diferents hormones, a la saliva, de manera que no seria gens estrany que també en certa manera el gust quedi afectat pels diferents nivells hormonals tant en homes com en dones.

Una altra substància del grup, l'androsterona, és anosmàtica per a un 50 % de la població; tanmateix, el fet que la meitat de la gent no la percebi conscientment no significa que no tingui influència en la percepció olfactiva d'altres olors, ja que aquella olor pot influir de diferents maneres en l'estat mental o físic, en funció, evidentment, de la seva concentració. No oblidem tampoc l'efecte de reforç o sinèrgic que s'estableix entre determinades aromes. Com a curiositat, les tòfones, que són tan apreciades, contenen una elevada quantitat d'androstens. Tanmateix, tot i que les dones en general tinguin un millor olfacte, també hi ha grans diferències entre elles. En assaigs fets amb un panel de dotze degustadores franceses, es va manifestar una notable diferència entre totes elles, en determinar els llindars de percepció per al mentol i per a l'eugenol. Per al mentol, el valor de llindar variava en un factor de 100 entre la més sensible i la menys sensible. Per a l'eugenol, la diferència arribava fins i tot a 1.000.

Els fenòmens olfactosexuals ja havien estat àmpliament estudiats el 1952 per Le Magnen. Gairebé tots nosaltres podem determinar, només per l'olor, si una peça de vestir l'ha portada un home o una dona. D'aquesta propietat deriven certs fetitxismes i hàbits eròtics. Fins al final del segle XVIII, en què van aparèixer els primers desinfectants eficaços (el lleixiu, el 1788) i la higiene personal va començar tímidament a formar part dels nostres costums, homes i dones feien molta olor i el que resultava atractiu per als uns sembla que podia ser repel·lent per als altres. Aquí sí que es podia parlar de la química de l'amor!

S'ha constatat, fins i tot, que certes substàncies aromàtiques no són percebudes pels homes perquè la seva percepció

està vinculada a determinades hormones, com ara l'hormona fol·liculoestimulant (FSH) i l'hormona luteïnitzant (LH). És el cas de l'exatolida. Aquesta substància forma part de la composició de certs perfums cars i només la poden sentir les dones. Tot i que les dones tenen sens dubte una major agudesa olfactiva, no sovintegen les dones afeccionades als bons vins i fent de jurat en els concursos. Per sort n'hi ha, i a més són molt competents, però són ben poques. Un bon tastador ha de ser força neofílic, és a dir, amant de les novetats i disposat a conèixer vins. La rutina no és compatible amb la seva professió. L'afany aventurer, en el sentit d'ampliar horitzons, també està vinculat a les hormones. Els homes disposen de nivells alts i constants de testosterona en relació amb les dones, que en tenen un nivell aproximadament deu vegades menor. Campbell va verificar que quan s'administra l'hormona sexual masculina, la testosterona, a mascles i femelles, la recerca d'estimulació intracraniana s'incrementa força. En canvi, quan s'injecta estradiol, l'hormona sexual femenina, tant els mascles com les femelles mostren un ràpid declivi en el seu afany de recerca del plaer. El comportament femení, més conservador, menys aventurer i menys assedegat de plaer es deu a l'estradiol.

És un fet que, en participar en tasts amb altres persones, tant si són del mateix sexe com no, es produeixen variacions en la nostra percepció sensorial que no han de ser menystingudes. No oblidem les interferències entre olors ni la percepció subconscient d'altres i tampoc el fet que l'olfacte i l'emoció, tots dos, resideixen a l'hemisferi cerebral dret. Per sort, homes i dones som diferents i tots dos sexes hem de saber que també són diferents els nostres sistemes olfactius. Les dones oloren substàncies que els homes no podem olorar i, per tant, el seu món olfatiu té un espectre diferent del de l'home. A favor d'elles, més ric.

Tot sovint vénen al meu laboratori elaboradors que sol·liciten la meua perícia sobre un vi determinat que sembla que presenta problemes. De vegades els problemes són molt evidents, però, la majoria de les vegades, l'elaborador ha detectat un defecte olfatiu difícil de diagnosticar, per tal com la substància responsable potser se situa a nivells propers al llindar de detecció o està influïda per fenòmens d'antagonisme, sinergisme o d'altra mena que no es demostren si no és per mitjà d'una anàlisi química per cromatografia de gasos. Al laboratori, l'anàlisi sensorial la duu a terme un panel d'analistes experts que, de vegades, no coincideixen del tot entre ells o bé cap d'ells no és capaç d'identificar inequívocament el problema. Per tant, de vegades se sol·liciten anàlisis a un altre grup d'experts per contrastar resultats. Casos semblants acostumen a passar, i encara més sovint, en els concursos de vins en què el panel de degustadors és molt heterogeni.

Si en condicions òptimes per a una anàlisi ens trobem davant d'aquestes dificultats, és obvi que aquests petits defectes passen desapercibuts per al consumidor, atès que, en general, el vi es beu com a acompanyament d'un menjar, amb altres persones i en circumstàncies que no afavoreixen la concentració.

D'altra banda, el consumidor no s'acostuma a esforçar a degustar el vi, sinó que hi cerca, com s'ha dit, una font de plaer. Hi cerca el vessant hedònic, li agrada o no li agrada, i no entra en detalls. Tanmateix, aquesta postura diu molt a favor dels productors, que s'esforcen contínuament a furnir als seus clients els millors vins. En contraposició a aquesta actitud tan lloable, alguns productors, especialment espanyols, escriuen a les contraetiquetes descripcions grandiloqüents d'aromes inexistents, que, per tant, ningú no és ca-

paç de distingir i mètodes d'elaboració que pretenen ser originals i que molt pocs consumidors entenen. Amic afeccionat al vi, lector apassionat pel vi, benvolgut consumidor, aquest és el meu missatge sincer i amable: no us esforceu a identificar el que mai no heu olorat. Gaudiu del vi simplement i, sobretot, acompanyeu-lo del plat que us vingui més de gust. Per què tanta gent s'entesta a dir-nos amb quins plats cal maridar el vi?

INFLUÈNCIA DEL SO I DEL BINOMI LLUM/COLOR

Aquests tres paràmetres interactuen a diferents nivells, de manera que, en determinades condicions i a determinats nivells d'intensitat, poden alterar de manera significativa el nostre parer sobre un vi.

170

Vivim immersos en un paisatge de sons que ens són familiars, el soroll de l'aigua a la dutxa, l'ascensor, el carrer, el metro, l'oficina, el bar, les nostres cançons preferides, el soroll de l'avió o del tren, etc. Tots ells, en major o menor grau, ens criden l'atenció, ens adverteixen de l'entorn en què ens movem, com intentant suplir la visió. L'oïda sempre està atenta. Si ens remuntem als nostres avantpassats cavernícoles, és evident que per a ells el perill existia de dia i de nit. De nit no és possible veure-hi, però els depredadors existeixen. Gràcies al nostre instint de supervivència, hem desenvolupat una oïda fina i força sensible que ens permet notar la presència més o menys propera d'algun possible perill. És inútil voler explicar que el so distreu la nostra atenció. N'hi ha prou de freqüentar les biblioteques, els museus, les sales de concerts i els hospitals. No sols això, està demostrat que l'exposició al soroll crònic fa augmentar l'agressivitat. És molt probable que els consumidors de les àrees urbanes, en què en general el soroll de fons és relativament alt i constant, tinguin preferències olfac-

tives i gustatives diferents de les dels consumidors de les àrees rurals tranquil·les.

La llum ambiental influeix notablement en la percepció sensorial, especialment en l'olfacte. Les aromes s'aprecien millor amb bons nivells d'il·luminació. A la foscor les aromes s'aprecien pitjor. L'excepció a aquesta regla seria el cas dels invidents. Ells han desenvolupat més l'olfacte per una necessitat de suplir amb aquest sentit l'altre de què no disposen.

PATOLOGIES DE LA PERCEPCIÓ

Tots els òrgans dels sentits poden presentar situacions de fallada. Tots en tenim experiències. Des d'un refredat comú fins a una cremada. Quan la fallada és temporal o passatgera, té poca importància, llevat per als degustadors professionals, que es guanyen la vida analitzant sensorialment. Les cèl·lules sensibles del nas i de la llengua, com també les del tacte, es renoven periòdicament o també després d'algun incident, per la qual cosa això no ens ha d'amoïnar gaire. Quan la situació és definitiva, ens trobem davant de patologies sovint difícils de guarir. L'oftalmologia moderna permet resoldre un gran nombre de patologies, tot i que no pas totes, i encara menys les vinculades a l'herència genètica, com ara el daltonisme. L'anòsmia congènita que presenten alguns albins és un altre dels casos. La seva manca de proteïnes vinculadores de les olors no es pot restablir de cap manera. Això no obstant, cal tenir en compte que l'estat de salut de l'ésser humà es caracteritza pel fet de viure en una condició d'equilibri. Un equilibri que s'ha de mantenir en el pla psicològic, espiritual, mental. De fet, la malaltia és un estat de disconformitat, de desacord amb el nostre propi Jo, que es tradueix en una manifestació somàtica.

Dethlefsen i Dahlke, a la seva magnífica obra *La malaltia com a camí*, ens ensenyen com les diferents patologies deriven de conflictes interns amb nosaltres mateixos o amb el nostre entorn. Així, parlar de patologies de la percepció, en el sentit clàssic, no és altra cosa que una matussera simplificació del problema. Abans hem comentat àmpliament l'estreta relació que hi ha entre la percepció sensorial i les nostres estructures cerebrals. Potser ha arribat el moment de dir que les projeccions no corren en un sol sentit, l'ascendent, sinó de manera biunívoca i, contràriament al que pugui semblar, també des del cervell fins als sensors. Dit d'una altra manera, percebem el que volem percebre i el que volem percebre depèn, en cada moment, del nostre estat d'ànim, del nostre equilibri interior i de la nostra harmonia amb el cosmos.

Els metges especialistes coneixen un elevat nombre de patologies sensorials. Només en l'aparell olfactiu se n'han descrit unes tres-centes. Com a resum de les més notables, transcrivim tot seguit, com un diccionari extret de la norma UNE 87-001-94, els principals trastorns associats a la percepció sensorial relativa al vi. Com que han passat més de deu anys des de la redacció d'aquesta norma, m'he permès de modificar-la tot actualitzant-ne alguns conceptes i corregint-ne d'altres, a la llum de l'estat actual de la ciència.

TAULA 1

<i>Català</i>	<i>Anglès</i>	<i>Francès</i>	<i>Tipus</i>	<i>Definició</i>
Adaptació sensorial	Sensory adaptation	Adaptation sensorielle		Modificació temporal de la sensibilitat d'un òrgan sensorial deguda a l'actuació d'un estímul continuat o repetit.
Fatiga sensorial	Sensory fatigue	Fatigue sensorielle		Forma d'adaptació sensorial, que es correspon amb una disminució de la sensibilitat.
Agèsia	Ageusia	Ageusie	(subst.)	Manca total de sensibilitat gustativa. Pot ser quantitativa o qualitativa i permanent o temporal.
Anòsmia	Anosmia	Anosmie	(subst.)	Manca total de sensibilitat olfactiva. Pot ser quantitativa o qualitativa i permanent o temporal.
Hiperòsmia	Hyperosmia	Hyperosmie	(subst.)	Anomalia del sentit de l'olfacte que es tradueix en un descens dels líndars de percepció i en un augment de la intensitat percebuda. Pot ser quantitativa o qualitativa.
Hipòsmia	Hyposmia	Hyposmie	(subst.)	Disminució relativa de la sensibilitat olfactiva sense arribar a l'anòsmia. Pot ser quantitativa o qualitativa i permanent o temporal.
Dicromatisme	Dyschromatopsia	Dyschromatopisie	(subst.)	Anomalia de la visió dels colors, caracteritzada per una desviació sensible respecte de la percepció d'un observador normalitzat.
Sensació pseudotèrmica	Pseudothermal effects	Sensations pseudothermiques		Sensació de calor o fred, produïda per certes substàncies, sense relació amb la temperatura. Per exemple, aquesta sensació la produeixen la capsaicina (calor) i el mentol (fred).
Sensacions trigeminals	Trigeminal sensations	Sensations trigéminales		Poden ser parestèsies (anomalia de la sensibilitat tàctil), com ara: irritació, picor, pruïja del trigemini, que en general es manifesta com a sensacions irritants o agressives percebudes a la cavitat bucal i nasal. També poden actuar per defecte: anestèsia.

TAULA 2

<i>Català</i>	<i>Anglès</i>	<i>Francès</i>	<i>Tipus</i>	<i>Definició</i>
Alièstesia	Alièstesia	Alièstèsie		Percepcions sensorials diferents en funció de situacions diverses.
Diosmia	Dysosmia	Dysosmie		Trastorn de l'olfacte en general.
Fantòsmia	Phantosmia	Phantosmie		Quan les olors de l'entorn queden totalment o parcialment emmascarades per una olor predominant.
Al·lucinació olfactiva	Olfactive hallucination	Hallucination olfactive		Percepció d'una olor davant d'un estímul que no és olorós.
Cacòsmia	Chacosmia	Cacosmie		Percepció de males olors reals que poden ser sols detectables per la persona que les produeix o també pels qui l'envolten segons la causa que la produeixi.
Agnòsia	Agnosia	Agnosie		Olfactiva o gustativa, és la incapacitat de reconèixer i nomenar olors o sabors i distingir-los encara que l'olfacte i el gust siguin normals. L'individu que pateix aquest trastorn és capaç de comunicar la sensació, però no sap expressar-la amb paraules ni interpretar-la.

SOCIETAT CATALANA

DE FÍSICA (2)

PODEM VEURE UN CANVI DEL CLIMA?,

A CÀRREC DE

JOSEP ENRIC LLEBOT,

DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA

DE BARCELONA

I MEMBRE DE L'INSTITUT

D'ESTUDIS CATALANS

INTRODUCCIÓ

Durant la primavera de l'any 2004, la publicació parcial d'algunes conclusions provisionals d'un comitè d'experts d'un informe del Pentàgon americà sobre el fenomen del canvi climàtic i la projecció de la pel·lícula *The day after tomorrow* va ajudar a difondre entre l'opinió pública la idea que en el passat no tots els canvis del clima han estat canvis lents en una escala de temps que ha transcendit l'escala d'una generació. Efectivament, la millora de les tècniques experimentals ha permès saber que en la història climàtica recent de la Terra hi ha hagut canvis substancials de la temperatura mitjana que s'han donat en una o dues dècades. Malgrat que els mecanismes que van produir aquests canvis climàtics ràpids no es coneixen amb certesa, l'existència de canvis del clima ràpids planteja preguntes que fa uns anys no tenia gaire sentit formular. Hi ha una concentració atmosfèrica sostenible pels gasos amb efecte d'hivernacle? Quines fites ens hem de posar per aconseguir que l'afectació ambiental sigui la mínima possible tot intentant el menor impacte social i econòmic? Quines conseqüències socials, econòmiques i polítiques podria produir un canvi climàtic sobtat? Es produiran grans migracions? Hi haurà zones del planeta que esdevindran inhabitables?

LA HISTÒRIA CLIMÀTICA DE LA TERRA

La història climàtica de la Terra és molt complexa i la major part s'ha produït sense la presència humana, la qual representa un petit instant de tot el registre geològic del planeta. La mesura instrumental de la temperatura, la pressió, la humitat, la precipitació i altres variables climàtiques data de menys de dos-cents anys. A més dels registres dels instruments, la recer-

ca sobre el clima del passat utilitza mètodes històrics convencionals, com els documents dipositats en ajuntaments, en parròquies o en arxius que registren les collites, les riudes i altres fenòmens naturals, però que abasten també molt pocs anys. Per a la resta, la imaginació dels científics permet de poder conèixer algunes característiques del clima del passat a partir de l'anàlisi de cales de sediments terrestres, del fons de l'oceà i dels gels dels pols, dels arbres dels boscos, del pol·len que es troba en els sediments, etc. (Houghton, 2001), cosa que configura una interessant i curiosa exploració del passat. D'aquests registres se sap que durant els darrers quatre-cents mil anys la temperatura a la Terra ha oscil·lat entre uns períodes freds i uns períodes càlids i això ha donat lloc a la successió de períodes glacials i interglacials. No sols la temperatura oscil·la, sinó que segueixen la mateixa pauta la concentració d'alguns gasos a l'atmosfera com, per exemple, el diòxid de carboni.

L'aportació d'energia que fa el Sol és fonamental per al clima de la Terra. A mitjan segle XIX, el matemàtic francès Joseph A. Adhémard, motivat per l'estudi de les glaciacions i llurs causes, va formular la hipòtesi que aquestes podrien estar relacionades amb les variacions de la intensitat de les estacions provocades per factors astronòmics. L'astrònom Melutin Milankòvitx va refinar i formalitzar la hipòtesi entre els anys 1920 i 1930 (Milankòvitx, 1920). El mecanisme astronòmic que va proposar constava de tres components: la variació de la inclinació de l'eix de rotació de la Terra, el canvi de la forma de l'òrbita terrestre i la precessió de l'eix de rotació de la Terra.

Actualment l'eix de rotació de la Terra està desviat respecte de la perpendicular al pla de l'òrbita al voltant del Sol $23,5^\circ$. Durant un any, la orientació de l'eix roman pràcticament constant. Al llarg del temps, però, aquesta inclinació fluctua a poc a poc des de $21,5^\circ$ fins a $24,5^\circ$ amb un període

de quaranta-un mil anys. La inclinació de l'eix de rotació amb el pla de l'òrbita és la causa que hi hagi estacions. Com més gran és aquesta inclinació, més grans són els canvis estacionals, és a dir, els estius són més càlids i els hiverns, més rigorosos. El segon factor que també afecta les característiques de les estacions és la forma de l'òrbita terrestre. Amb un període de cent mil anys, l'òrbita terrestre al voltant del Sol canvia la seva el·lipticitat. Si l'excentricitat de l'òrbita creix, augmenta la diferència de distàncies entre els punts més pròxim i més allunyat entre la Terra i el Sol, amb la qual cosa s'intensifiquen les estacions en el cas de creixement de l'excentricitat i es moderen en l'altre. Actualment la Terra assoleix el punt més allunyat del Sol a l'hivern de l'hemisferi sud; per tant, els hiverns australs són una mica més freds i els estius, una mica més càlids que els corresponents a l'hemisferi nord. El tercer factor astronòmic introduït per Milankòvitx és la interacció dels efectes de la inclinació i l'excentricitat: la precessió orbital que correspon a la rotació al voltant de l'eix perpendicular al pla de l'òrbita amb un període de vint-i-tres mil anys. La precessió és el moviment que determina si l'estiu en un hemisferi correspon a un punt proper o allunyat de l'òrbita al voltant del Sol.

Els càlculs de Milankòvitx sobre l'acció combinada d'aquests tres factors el portaren a preveure que induïen variacions en la radiació solar que arriba a la Terra, suficients per a justificar l'avançament o retrocés de les grans masses de gels i, per tant, que configuren el que es coneix com a períodes glacials i períodes interglacials. En el moment de formular aquesta hipòtesi, mancava tenir constància d'un registre independent de les glaciacions que pogués confirmar-la, registre que avui existeix gràcies a mètodes de datació i caracterització dels períodes climàtics independents. Per tant, avui es creu que les variacions astronòmiques constitueixen un dels factors essencials per a entendre l'evolució dels climes del passat.

Hi ha un altre factor que afecta l'evolució del clima, si bé en una escala temporal diferent, molt més petita, que les variacions associades als canvis orbitals proposades per Milankòvitx. Aquest factor és la variació de la radiació emesa pel Sol com a conseqüència de l'activitat de l'estrella. Les primeres indicacions sobre una activitat solar canviant i cíclica daten de 1843, en què un farmacèutic alemany, observador astronòmic afeccionat, va anunciar que el nombre de taques fosques visibles al disc solar semblava seguir un cicle de deu anys. Richard Wolf, director de l'observatori de Zuric, va seguir l'evolució diària del nombre de taques solars i compilà la història recent del nombre de taques solars basada en els arxius històrics d'uns dos segles. Les variacions regulars del cicle de taques solars experimenten un comportament singular justament al començament, entre el 1645 i el 1715. Durant aquest període és notable l'absència de taques, la qual cosa s'associa a un mínim d'activitat solar i, en conseqüència, a una davallada en l'energia procedent del Sol. Aquest període històric, des del punt de vista climàtic, s'anomena el mínim de Maunder, en honor de l'astrònom britànic E. Walter Maunder, que en va fer notar l'existència. Aquest mínim va tenir lloc durant un període de temps caracteritzat per temperatures notablement baixes, l'anomenada «petita edat de gel», que va abastar algunes dècades compreses entre el segle XVI i l'inici del segle XVIII. Tot i que la relació causa-efecte entre ambdós fenòmens no és del tot clara, no deixa de ser una bonica hipòtesi que confirma la correlació entre variacions de la radiació solar i alguns episodis climàtics. A més, s'ha pogut constatar que aquest episodi d'activitat solar especialment baixa no ha estat únic: un altre episodi, el mínim de Spörer, va tenir lloc entre el 1450 i el 1550. Així mateix, es va produir un llarg període d'activitat solar entre el 1100 i el 1250 que va coincidir amb un clima càlid que probablement va possibilitar les emigracions dels vikings entre Groenlàndia i l'Amèrica del Nord.

Si aquestes variacions de l'activitat solar són regulars i contínues, probablement durant el segle XX s'hauria d'haver produït un altre període de calma en l'activitat solar i, per tant, un període de refredament del clima. Això, però, no s'ha donat.

CANVIA LA COMPOSICIÓ ATMOSFÈRICA?

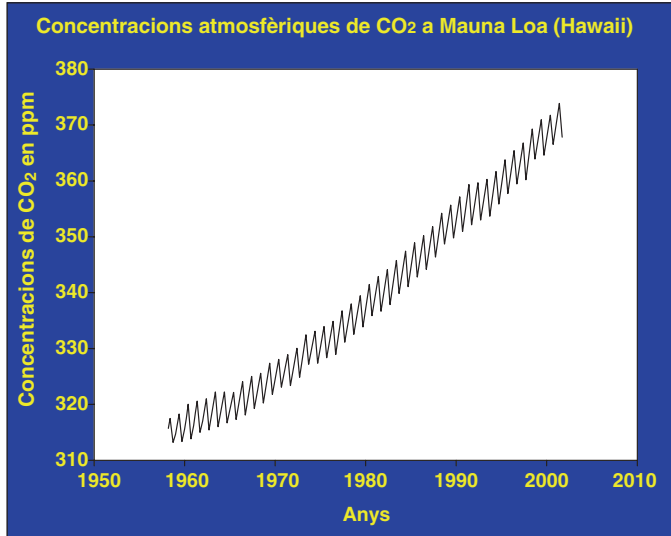
La composició de l'atmosfera no canvia a l'engròs però, en canvi, sí que canvia si ens fixem en alguns dels components que la formen i que tenen una concentració molt petita. El canvi climàtic d'origen antròpic es fonamenta, justament, pel lliurament continu a l'atmosfera de gasos amb efecte d'hivernacle com a conseqüència, sobretot, de l'ús de combustibles fòssils dels quals la societat desenvolupada moderna no pot prescindir. La característica genèrica i comuna dels gasos amb efecte d'hivernacle és la seva capacitat d'absorbir la radiació d'ona llarga emesa per la Terra. La quantitat de gasos a l'atmosfera que absorbeixen la radiació terrestre és gran, però, a la pràctica, els que s'estudien amb detall, atesa la seva importància quantitativa a l'hora d'absorbir radiació, són només sis.¹ A més del vapor d'aigua, el més important, aquests sis gasos amb efecte d'hivernacle que més directament influeixen en el balanç energètic de l'atmosfera són el diòxid de carboni, el metà, l'ozó, l'òxid nítrós, l'hexafluorur de sofre i els clorofluorcarburs (CFC). Altres ens presents a l'atmosfera que també s'han de tenir en compte, pel que fa al balanç energètic terrestre, són els aerosols, que són diminutes partícules materials en suspensió a l'atmosfera de grandària diversa, l'origen de les quals és natural o resultat de les combus-

1. Al protocol de Kyoto s'inclouen només sis gasos amb efecte hivernacle, els que es considera que, sent d'origen antròpic, actualment contribueixen amb major mesura a l'escalfament de l'atmosfera.

tions, i sobre els quals encara no està establert del tot clarament el paper 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. Una dinàmica econòmica gran es caracteritza per emissions altes i, en canvi, les crisis econòmiques es caracteritzen per emissions més petites.

El diòxid de carboni a l'atmosfera es mesura des de l'any 1958, en què es va instal·lar, a l'observatori de Mauna Loa, a Hawaii, un instrument que des d'aleshores ha enregistrat la concentració contínuament creixent d'aquest gas a l'atmosfera, tal com es mostra a la figura 1. Aquesta tendència és comuna a la major part de gasos causants de l'efecte d'hivernacle, els quals actualment tenen concentracions a l'atmosfera més grans que en períodes preindustrials.² Per tant, el fet que la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle augmenta a causa de les activitats humanes està fora de dubte. Hi ha, però, encara incerteses sobre on va a parar tot el CO₂ emès a l'atmosfera, ja que el que es mesura que roman a l'atmosfera aproximadament és la meitat de tot el que hi ha entrat. Probablement en aquest balanç el paper que tenen els oceans encara està poc entès i bona part del CO₂ atmosfèric pot assumir-se que està al mar. 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 conforma un efecte esmorteïdor de l'efecte d'hivernacle, ja que actuen com un escut respecte a la radiació del sol. També s'observa que el grau 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, que canvien del carbó a altres combustibles fòssils amb

2. 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.



182

FIGURA 1. Concentració de CO₂ a l'atmosfera a l'observatori de Mauna Loa (Hawaii). S'hi observa el creixement continu de la concentració de CO₂ modulada pels canvis estacionals lligats a l'activitat primària a la biosfera.

FONT: Adaptació pròpia, a partir de dades de la CMDL-NOAA.

menys emissions de carboni i de les transformacions de determinades pràctiques agrícoles, ramaderes i industrials.

LA VARIABILITAT CLIMÀTICA

El clima d'un indret determinat no és constant i les variables que el caracteritzen es distribueixen estadísticament al voltant d'uns valors mitjans. Això conforma el que es coneix amb el nom de variabilitat climàtica. Una de les qüestions fonamentals per comprendre millor el fenomen del canvi climàtic d'o-

rigen antròpic és saber quina és la variabilitat natural del clima i quina és la variabilitat induïda per l'activitat humana. Aquesta qüestió tan simple és, de fet, molt difícil de contestar tant des del punt de vista teòric com des del punt de vista de les observacions. De manera ràpida i sense matisos, podem dir que la variabilitat natural correspon a les variacions del clima respecte dels seus valors mitjans associats, fonamentalment, als canvis en les condicions externes, és a dir, en els paràmetres orbitals i en l'activitat solar, i en les fluctuacions internes naturals del sistema climàtic. Si volem detectar i predir les conseqüències de les perturbacions que les activitats humanes estan produint sobre els diferents components del clima, entre les quals la més remarcable és el canvi de la composició atmosfèrica pel que fa a alguns gasos causants de l'efecte d'hivernacle, és de la màxima importància conèixer amb tota l'exactitud que sigui possible quina és aquesta variabilitat.

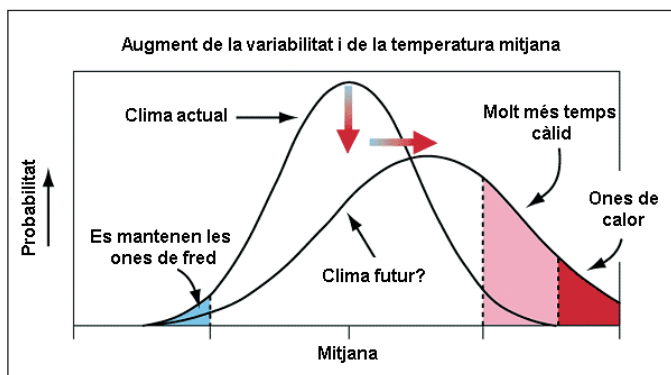


FIGURA 2. L'augment de la variabilitat climàtica es mostra en un augment de la temperatura mitjana (fletxa que assenyalava cap a la dreta), però també en un augment de la dispersió dels valors de la temperatura al voltant de la mitjana (fletxa que assenyalava cap a baix).

FONT: Adaptació pròpia, a partir de l'IPCC-2001.

El sistema climàtic és complex perquè està format de diversos components, l'atmosfera, la litosfera, la hidrosfera, la criosfera i la biosfera, que interaccionen, cadascun amb temps de resposta característics i diferents que comporten complexos balanços que tenen una dinàmica pròpia. Exemples d'aquests balanços són el cicle del carboni, el cicle de l'aigua o el cicle del nitrogen. Com ja s'ha dit, el sistema climàtic està influït per dinàmiques externes, com la del Sol, l'activitat del qual evoluciona amb escales de temps que van des de les desenes d'anys fins als milers d'anys, o amb l'evolució de les característiques de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol. En qualsevol cas, des de fa uns quatre anys, els models poden separar, de manera bastant completa, la contribució antròpica de la contribució natural, en l'augment de la temperatura superficial de l'atmosfera durant els darrers cent anys.

Els canvis del clima afecten, naturalment, la variabilitat climàtica. Aquests canvis no incideixen de la mateixa manera arreu. El nostre país, caracteritzat, com tota la regió mediterrània, per un clima molt variable, sembla que pot evolucionar, en el futur, cap a un clima més càlid però, també, més variable, com es mostra a la figura 2.

ELS CANVIS CLIMÀTICS SOBTATS

Com s'ha dit a la introducció, fins fa pocs anys el punt de vista dominant sobre els possibles canvis del clima que s'han donat en el passat es plantejava considerant que el clima variava lentament, en escales de temps de l'ordre de centenars o milers d'anys. S'interpretaven els canvis associant-los amb les variacions lentes de l'energia del sol rebuda a la Terra ja esmentades. Aquests canvis són els que corresponen al que es veu a la figura 2. No obstant això, durant els anys noranta s'han fet nombrosos estudis paleoclimàtics que aporten evidèn-

cies geològiques sobre esdeveniments que mostren com en el passat ha canviat el clima de manera sobtada, és a dir, sobre com s'ha produït en el decurs d'una o dues dècades, la variació de la temperatura superficial de l'aire, de l'ordre aproximat d'una o dues desenes de graus o d'un factor dos en la precipitació, en una o dues dècades.

El sistema climàtic en el passat ha experimentat grans canvis, alguns de lents com l'alternança de glaciacions i de períodes interglacials, i d'altres de ràpids, com els esmentats en el paràgraf anterior. Els que es coneixen d'una manera una mica més precisa corresponen als que s'han donat durant els darrers cent mil anys durant un període glacial i la transició fins a les condicions interglacials actuals. De cara al futur, i pel que fa a l'anàlisi del que ens pot passar com a conseqüència de l'efecte de les activitats humanes sobre el clima, és interessant poder entendre el potencial de futurs canvis climàtics ràpids que es podrien donar. Per això, cal entendre els fenòmens que els han provocat en el passat, ja que hi ha un gran buit en la comprensió dels processos que els controlen. Fins ara, alguns mecanismes que s'han proposat per a explicar els canvis climàtics ràpids no són capaços de descriure de manera completa el comportament del clima que s'albira del registre paleoclimatològic.

Però, què s'entén per canvi climàtic ràpid? Malgrat la definició fenomenològica que d'alguna manera hem donat abans, podem definir un canvi climàtic sobtat quan el canvi en el clima és forçat per una causa que supera un cert llindar i que desencadena una transició fins a una nova situació d'equilibri del sistema climàtic que es produeix amb una rapidesa superior a la dinàmica d'evolució de la causa. Com a possible causa d'un canvi climàtic sobtat, s'ha proposat que la variació de la temperatura de l'atmosfera indueix, per exemple, la fusió de determinades capes de glaç que, quan arriben al mar, disminueixen la salinitat de l'aigua, la qual cosa pot

induir l'afebliment i, fins i tot, l'aturada de la circulació termohalina actual i el corresponent canvi del clima. També els processos impredecibles i caòtics que es donen en el sistema climàtic poden fer que no hi hagi una única causa inductora d'un canvi important en les propietats ambientals.

Per les fortes no-linealitats i per les contínues relacions entre els diferents subsistemes que conformen el sistema climàtic, s'estudia amb gran insistència l'acoblament dels dos subsistemes més importants pel que fa a la seva dinàmica, l'oceà i l'atmosfera. A partir de múltiples simulacions que abasten des de models simples fins a complicats models de circulació general, ara es pot dir que el sistema oceà-atmosfera sotmès als mateixos forçaments externs pot assolir diferents règims d'equilibri estables. La transició entre aquests estats estables es dona de manera molt ràpida quan determinats paràmetres climàtics assoleixen uns valors llindar. Aquest comportament, que necessàriament és no lineal, s'acostuma a descriure mitjançant la imatge d'un cicle d'histèresi, comportament anàleg al que es dona en altres disciplines de la física i que visualitza de manera molt clara l'existència de dos estats d'equilibri estables diferents. Tot i que la realitat és molt més complexa que la representació que n'assolim, i de fet pel corrent termohalí a l'Atlàntic nord s'han proposat tres estats diferents d'equilibri (Rahmstorf, 2002), la representació mitjançant un cicle d'histèresi que explica com poden donar-se canvis climàtics sobtats és molt clara i és la que a continuació explicarem per a especular sobre si és possible que veiem un canvi climàtic.

Els corrents a l'atmosfera i a l'oceà estan modulats per la distribució heterogènia d'energia del Sol i per la rotació de la Terra. A l'equador arriba una quantitat major d'energia que als pols i l'aire i l'aigua, amb el seu moviment, tendeixen a reequilibrar aquesta heterogeneïtat portant energia cap als pols. A l'atmosfera es formen les cel·les convectives que caracteritzen, per exemple, els vents alisis, i que, en tot cas, influeixen

els corrents superficials a l'oceà. Aquests corrents són regulars i són determinants per nombroses característiques del sistema climàtic. Una de les regularitats més importants és l'anomenat corrent del Golf, que es dona a la conca de l'Atlàntic nord i que transporta aigües càlides de l'equador vers els pols. Aquest transport és una de les causes del clima més temperat en algunes zones del nord d'Europa. També es dona un corrent semblant al Pacífic, que afecta el Japó. No obstant això, la importància del corrent atlàntic és que forma part d'un enorme corrent d'aigua marina que abasta tot el globus i que s'anomena corrent termohalí. A la figura 3 es pot veure una representació esquemàtica d'aquest corrent oceànic.

La diferència de densitats de l'aigua és el mecanisme que controla la convecció que es dona a la major part de l'Atlàntic nord i que és el principal motor del corrent termo-

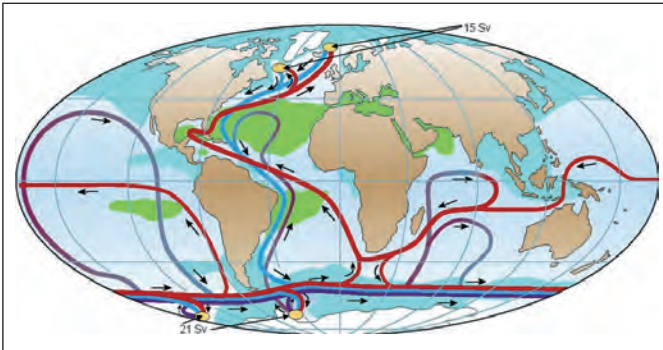


FIGURA 3. Representació esquemàtica del corrent termohalí. Les línies vermelles representen els corrents superficials, mentre que les línies blaves corresponen als corrents que es donen als fons marins. Hi ha només quatre zones a tot el planeta on es produeix l'enfonsament de l'aigua: dues a l'Atlàntic nord i dues al voltant de l'Antàrtida. En total el cabal d'aigua que s'enfonsa és d'uns 36 sverdrups ($36 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$).

FONT: Stefan RAHMSTORF (2002), *Nature*, 419, p. 208.

halí. Als mars del nord, actualment, l'aigua superficial procedent de les latituds baixes és prou densa per enfonsar-se, perquè té una salinitat gran i assoleix temperatures suficientment baixes. Pel fons de la conca oceànica l'aigua circula vers el sud, on acaba i torna a pujar, a poc a poc, a la superfície en zones tropicals. Aquest cicle és força lent i, mitjançant el moviment de les aigües superficials, transporta calor a les latituds altes i ventila les aigües profundes, amb la qual cosa fixa CO_2 de l'atmosfera a les aigües profundes de l'oceà. Però aquesta circulació pot quedar afectada pel flux d'aigua dolça que arriba a l'Atlàntic nord com a conseqüència de la fusió dels gels continentals i que afecta la densitat de les aigües superficials procedents de latituds baixes. Així, si l'escalfament global feia augmentar la quantitat d'aigua dolça a l'oceà Àr-

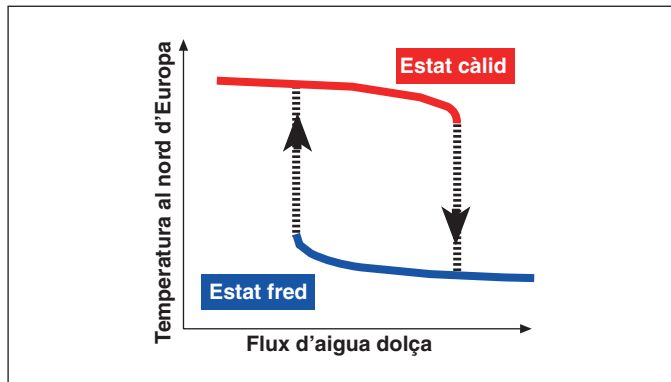


FIGURA 4. Representació esquemàtica dels dos estats possibles d'equilibri de la circulació de l'aigua a l'Atlàntic nord. A la figura es veu com el flux d'aigua dolça a les latituds àrtiques exerceix el paper de paràmetre de control que determina els dos estats dels corrents a l'Atlàntic nord els quals, a la vegada, caracteritzen una variable climàtica com la temperatura superficial d'alguns indrets continentals situats al nord de l'Europa occidental.

FONT: Adaptació pròpia.

tic, la densitat de l'aigua superficial no seria tan gran i l'enfonsament de l'aigua es podria interrompre.

Els components del sistema climàtic tenen diferents temps característics de resposta a les pertorbacions. L'atmosfera, que caracteritza els meteors que es donen a la superfície terrestre i que, en un termini de temps curt, determinen la meteorologia, té temps de resposta ràpids i constitueix el subsistema climàtic de resposta més ràpida (Peixoto i Oort, 1984). La hidrosfera o la criosfera tenen, en canvi, respostes molt més lentes. Els mecanismes fonamentals que caracteritzen els processos de canvi climàtic sobtat no són pas diferents dels que caracteritzen els canvis climàtics lents. Però han de tenir una característica addicional que superi la inèrcia i el comportament característic i «lent» d'un element fonamental per al sistema climàtic: els fluxos d'aigua als oceans. Per tant, un mecanisme que porti a canvis climàtics sobtats ha de reunir les condicions següents (Alley, 2002): 1) un procés o una pertorbació caòtica que porti a superar el valor lliandar d'una variable del sistema climàtic que desencadena l'esdeveniment; 2) un amplificador o un globalitzador que intensifiqui i estengui la influència dels canvis locals, i 3) una font de persistència que permet a l'estat del clima alterat mantenir-se per desenes, centenes o milers d'anys.

El cicle d'histèresi que es mostra a la figura 4 conté aquestes tres propietats: el mecanisme que desencadena el procés és l'escalfament atmosfèric que indueix la fusió dels gels continentals i, per tant, el canvi de la salinitat de l'aigua superficial; l'amplificador o globalitzador és el fet que aquest fenomen es doni a la zona de l'Atlàntic nord, on es produeix l'enfonsament d'aigua i que caracteritza la circulació a tot el planeta i la font de persistència és, de fet, la mateixa naturalesa dels corrents oceànics, amb una gran inèrcia que es manifesta a la figura 4 per la magnitud dels dos estats d'equilibri, els quals són estables fins que s'assoleixen els valors llin-

dars que produeixen la transició entre un estat i l'altre. Assumint que ara estem a l'estat càlid, la pregunta important que, ara per ara no té resposta, és on és el llindar de la transició vers l'estat fred i si la concentració de gasos amb efecte d'hivernacle de l'atmosfera ens situa lluny o a prop d'aquest llindar.

EL MODEL DE STOMMEL

El model de dues caixes formulat per Henry Stommel (Stommel, 1961, i Marotzke, 2000) mostra, d'una manera molt intuïtiva, el cicle d'histèresi. El model de Stommel fou publicat l'any 1961, però pràcticament no fou reconegut per ningú fins passats vint-i-cinc anys. El model incorpora sense explicitar-ho com els diferents temps de resposta a la calor absorbida, de la superfície de l'oceà i de l'aigua dolça, donen lloc a diferents estats d'equilibri. Això porta a què els forçaments i les condicions de contorn, per elles mateixes, no defineixen l'estat d'equilibri del sistema. La no-linealitat del model de Stommel sorgeix perquè el camps de fluxos de l'aigua als oceans que transporten la calor i la salinitat són a la vegada funció de la temperatura i de la salinitat. Així, com ja hem dit, les no-linealitats i els equilibris múltiples són els conceptes fonamentals darrere la gènesi dels canvis climàtics sobtats. La circulació d'aigua marina, q , és proporcional a la diferència de la densitat de l'aigua entre les latituds altes i baixes. Així, si la densitat al voltant de les aigües àrtiques és més gran que la densitat a latituds baixes, el flux d'aigua és positiu ($q > 0$) i a l'inrevés. Les aigües tropicals guanyen calor i salinitat a causa de l'evaporació de l'aigua. Les aigües polars, en canvi, perden calor cap a l'atmosfera i guanyen aigua dolça del desglaç dels gels continentals. Per tant, tant la temperatura com la salinitat són més grans a les latituds baixes que a les latituds altes. Les dues variables, doncs, tenen efectes oposats sobre la densitat. Quan

$q > 0$, és la temperatura la que domina el comportament de la densitat, mentre que si $q < 0$, domina la salinitat. Els valors de q en el model són, per tant, petits i, en conseqüència, la transició entre $q > 0$ (circulació de sud a nord) i $q < 0$ (circulació de nord a sud) pot ser molt ràpida. Esquemàticament el model es pot descriure mitjançant la representació de la figura 5.

Segons aquest esquema, les equacions que descriuen l'evolució de la salinitat S es poden escriure de la manera següent:

$$\frac{dS_1}{dt} = |q| \cdot (S_2 - S_1) + P, \quad \frac{dS_2}{dt} = |q| \cdot (S_1 - S_2) - P$$

$$q = k(\rho_2 - \rho_1) = k\alpha(T_2 - T_1) + k\beta(S_2 - S_1)$$

$$\Delta S = \begin{cases} -\frac{\alpha\Delta T}{2\beta} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha\Delta T}{2\beta}\right)^2 - \frac{P}{k\beta}}, & q > 0 \\ -\frac{\alpha\Delta T}{2\beta} + \sqrt{\left(\frac{\alpha\Delta T}{2\beta}\right)^2 + \frac{P}{k\beta}}, & q < 0 \end{cases}$$

191

on T és la temperatura, q el flux d'aigua, k un coeficient de difusivitat, α un coeficient relacionat amb la dilatació tèrmica, i β un coeficient relacionat amb la dilatació salina. Fent uns canvis de variable, les equacions anteriors s'escriuen de la manera següent:

$$\delta = -\frac{\beta\Delta S}{\alpha\Delta T}, \quad E = \frac{\beta P}{k(\alpha\Delta T)^2}$$

$$\delta = \begin{cases} \frac{1}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{4} - E}, & q > 0 \\ \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + E}, & q < 0 \end{cases}$$

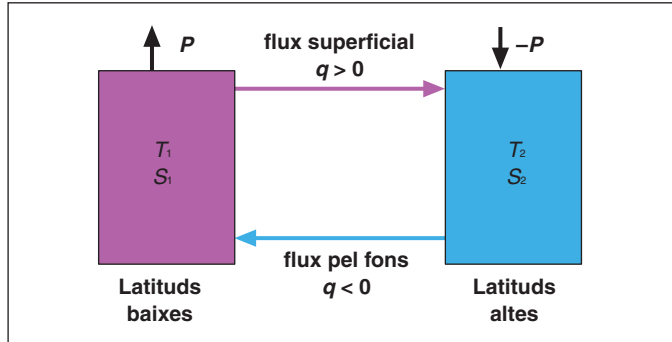


FIGURA 5. Model de caixes per a la circulació termohalina segons el model de Stommel. Les variables que caracteritzen el funcionament del sistema són la temperatura i la salinitat, les quals determinen la densitat de l'aigua.

FONT: Adaptació pròpia, a partir de Marotzke (2000).

De les solucions per δ , veiem que si $E < 0,25$, hi ha dues solucions amb $q > 0$ i una solució amb $q < 0$. Si, en canvi, $E > 0,25$, únicament hi ha una solució que correspon a la situació $q < 0$, que d'alguna manera mostra de forma indicativa la dependència en un paràmetre de control, E , de les solucions per la variable climàtica δ . Així, el cas $E > 0,25$ representa la inversió del corrent termohalí afavorida per la fusió dels gels i, en canvi, $E < 0,25$ correspondria a la situació actual.

CONSIDERACIONS FINALS

L'escala de temps dels canvis climàtics sobtats és tan petita que la societat i els ecosistemes naturals poden tenir problemes d'adaptació. Per tant, des d'una perspectiva actual, una de les qüestions fonamentals, ara per ara sense resposta, és saber si les activitats humanes poden desencadenar un canvi

climàtic sobtat i, en el cas de resposta afirmativa, saber a quina distància temporal estem del desencadenament del procés de canvi. La idea dominant fins ara sobre el canvi climàtic d'origen antròpic era que els canvis serien graduals i que, per tant, la possibilitat d'adaptar-s'hi era alta. Així fins ara s'ha pensat que la societat actual (les infraestructures, les persones, els habitatges, els usos del sòl, els processos industrials, etc.) té mecanismes d'adaptació gradual a situacions ambientals canviants. També els ecosistemes durant la història geològica de la Terra s'han adaptat majoritàriament a situacions de canvi ambiental gradual. Naturalment no tots; n'hi ha d'especialment vulnerables que no s'adapten i desapareixen, però la història de la biosfera, en escales de temps geològiques, contínuament ha experimentat aquests tipus de processos i la capacitat d'adaptació de la biosfera s'ha mostrat amb la seva supervivència. El problema sorgeix, però, si les condicions ambientals varien tan ràpidament que posen en perill majoritàriament aquesta capacitat d'adaptació.

La possibilitat dels canvis climàtics sobtats, ara per ara, és especulativa. La major part dels científics i els models més utilitzats per a la predicció climàtica, tot i que recullen un afebliment del corrent termohalí, no reproduïxen comportaments de canvis tan ràpids com els que han passat durant els darrers cent mil anys. Per tant, el que hem explicat aquí és especulació i recerca. Recerca que permet aprofundir en els mecanismes que determinen el clima i llurs variacions i que, especulant, ens permet dir que hi ha possibilitats que veiem un canvi del clima ràpid i que, si no volem ser-ne espectadors i afectats a la vegada, hem d'impulsar accions socials per a evitar-lo. La pregunta és si hi som a temps.

AGRAÏMENTS

L'autor agraeix molt sincerament a la Societat Catalana de Física i, per extensió, a l'Institut d'Estudis Catalans la seva invitació a impartir el seminari del qual aquest escrit és un resum. Aquest treball ha comptat amb el finançament parcial del projecte REN 2003-00185.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEY, R. B. [et al.] (2002). *Abrupt climate change: Inevitable surprises*. Washington: National Academy Press.
- HOUGHTON, J. T. [ed.] (2001). *Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- MAROTZKE, J. (2000). «Abrupt climate change and thermohaline circulation: Mechanisms and predictability». *PNAS*, 97, p. 1347-1350.
- MILANKOVITX, M. (1920). *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. París: Gauthier-Villars.
- PEIXOTO, J. P.; OORT, A. H. (1984). «Physics of climate». *Reviews of Modern Physics*, 56, p. 365-429.
- RAHMSTORF, S. (2002). «Ocean circulation and climate during the past 120.000 years». *Nature*, 419, p. 207-214.
- STOMMEL, H. (1961). «Thermohaline convection with two stable regimes of flow». *Tellus*, 13, p. 224-230.

SOCIETAT CATALANA
DE QUÍMICA
LA CONTAMINACIÓ
DEL MEDI ATMOSFÈRIC URBÀ:
UN REPTE DE FUTUR,
A CÀRREC DE
JOSEP M. BAYONA,
DEL CONSELL SUPERIOR
D'INVESTIGACIONS CIENTÍFIQUES

1. ANTECEDENTS I EPISODIS HISTÒRICS DE CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA ANTROPOGÈNICA

L'origen de la contaminació en el medi atmosfèric és gairebé tan antiga com l'aparició de l'home a la Terra. Després del descobriment del foc a la Prehistòria ara fa mil cinc-cents anys es pot considerar que fou la primera vegada que l'home va contaminar l'atmosfera. Durant l'edat mitjana, la contaminació atmosfèrica ja constituïa un problema a les primeres ciutats bàsicament ocasionat per la combustió del carbó. Així, el rei Eduard I d'Anglaterra el 1272 ja va prohibir l'ús de carbó d'origen marí a Londres a causa de la contaminació atmosfèrica que patien. Posteriorment, sota els regnats de Ricard II (1377-1399) i més tard durant el d'Enric V (1413-1422), es van prendre mesures per restringir l'ús de carbó (Wark i Warner, 1981). Malgrat els primers intents en la regulació de l'ús de carbó a Londres, la combustió del carbó fou la font d'energia més important durant la Revolució Industrial durant el segle XVIII. Als Estats Units, el primer intent regulatiu va aparèixer l'any 1895, en què es declarava il·legal l'emissió de fums per part dels automòbils.

Malgrat que, com ja s'ha dit, els primers intents reguladors de la contaminació atmosfèrica ja es van realitzar el 1272, el problema s'incrementà considerablement durant la primera meitat del segle XX. Així, el desembre de 1930, en una zona altament industrialitzada de la vall del Meuse, a Bèlgica, centenars de persones foren afectades durant un episodi d'inversió tèrmica, i en moriren seixanta persones (deu vegades més que el que és normal). Poc després, durant el gener de 1931, en un altre episodi de nou dies de forta contaminació atmosfèrica, 592 persones moriren a Manchester i Salford (Anglaterra), xifra molt superior al valor normal. El 1948, a Donora (Pensilvània, EUA), una ciutat on es desenvolupaven activitats metal·lúrgiques i químiques, en un episodi de qua-

tre dies de contaminació, la meitat de la població es va posar malalta i vint persones moriren. Deu anys més tard, la població d'aquesta ciutat mostrava una esperança de vida inferior a la d'altres ciutats americanes semblants. Tot i que durant els anys setanta del segle XIX ja es van enregistrar episodis molt importants de contaminació atmosfèrica a Londres, amb unes 268 morts inesperades, el més rellevant va ocórrer l'any 1952 durant tres dies, en què es comptabilitzaren unes quatre mil morts. Les estadístiques mostren que la gran majoria de morts s'havien d'associar a bronquitis, emfisema i atac de cor i afectaven el segment de la població més vulnerable. De nou, l'any 1956 unes mil morts addicionals s'enregistraren en un altre episodi de contaminació atmosfèrica. En aquest mateix any, el Parlament va aprovar la Clean Air Act per reduir la combustió de turbes (Wark i Warner, 1981).

El problema de la contaminació atmosfèrica ha continuat en més o menys mesura en totes les grans ciutats americanes (Los Angeles, Nova York, Chicago) i europees, especialment en algunes ciutats properes a zones industrials. Els canvis del carbó pel petroli i posteriorment pel gas liquat han presentat una millora notable en la qualitat del medi atmosfèric de les grans ciutats. Malgrat això, l'increment inexorable del parc automotor i el creixement desmesurat d'algunes ciutats (megàpolis) han fet que s'hagin encès les alarmes, ja que actualment es consideren insuficients les actuacions realitzades (canvis de combustible, millores en les emissions de vehicles: catalitzadors). Tot i que, en els països desenvolupats, actualment no s'enregistren els efectes fatals dels episodis aguts de contaminació atmosfèrica, hi ha evidències epidemiològiques que mostren que la contaminació del medi atmosfèric pot afectar el desenvolupament dels nadons (Ritz *et al.*, 2002) i potencia malalties cròniques (al·lèrgies, asma i bronquitis), que s'han incrementat en els darrers anys (D'Amato *et al.*, 2000). No cal ni fer esment que, en països en desenvolupa-

ment i economies emergents, la situació és molt més greu i s'arriba a detectar la contaminació fins i tot per via satèl·lit.

2. PRINCIPALS FONTS DE CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA I LLUR CLASSIFICACIÓ

Les fonts de contaminació atmosfèrica es poden classificar en *estacionàries* i *mòbils* segons la mobilitat del punt d'emissió. Dintre de les primeres cal esmentar, per ordre de rellevància, les centrals tèrmiques, les incineradores i els abocadors de residus sòlids urbans (RSU), les calefaccions domèstiques, les depuradores, les benzineres, entre d'altres. El tipus de contaminants i nivells d'afectació depenen sobretot de la font contaminant, la ubicació, la direcció del vent i les condicions meteorològiques. En condicions anticiclòniques, normalment durant el període hivernal, se sol produir una inversió tèrmica, de manera que la massa d'aire fred resta a la superfície i l'aire més càlid, a les capes més altes. En aquestes condicions la contaminació s'acumula a les capes més baixes, amb la qual cosa n'augmenta significativament la concentració i el risc.

Pel que fa a les fonts de contaminació mòbils, destaquen els vehicles motoritzats que utilitzen motors de combustió interna, gasolina i dièsel. El plom fou substituït per additius oxigenats a les gasolines durant la dècada dels noranta de la centúria passada als Estats Units i a la Unió Europea i actualment els vehicles de gasolina utilitzen catalitzadors de tres vies que incideixen en una reducció de les emissions atmosfèriques (oxidació CO i hidrocarburs i reducció NO_x) pel que fa a aquest tipus de vehicles. Malgrat això, s'ha constatat que alguns dels constituents dels catalitzadors (platí, rodi i pal·ladi) poden passar a l'atmosfera transportats pels gasos d'escapament com a partícules en suspensió (Jarvis *et al.*, 2001).

Les fonts estacionàries estan formades per una llarga llista que inclou les calefaccions, les centrals tèrmiques (petroli i carbó), les incineradores, els abocadors, les indústries i les depuradores. El tipus d'emissions depenen del tipus de font contaminant. Així, les tres primeres són originades per processos de combustió de combustibles fòssils i residus sòlids urbans que emeten partícules en suspensió, òxids de carboni, sofre i nitrogen i altres components minoritaris (hidrocarburs policíclics aromàtics, dioxines, furans, òxids de metalls, etc.). Pel que fa als abocadors i les depuradores, generalment són el metà, el sulfhídric i els compostos orgànics volàtils que solen originar problemes de males olors. A escala industrial, hi ha una gamma molt àmplia d'emissions segons el tipus d'activitat que queda fora de l'abast d'aquesta presentació.

3. TIPUS DE CONTAMINANTS A L'ATMOSFERA URBANA

199

Els tipus de contaminants a l'atmosfera urbana es poden classificar, segons la seva formació, en *primaris* i *secundaris*. Els primaris són emesos directament per la font contaminant i els secundaris es formen a la mateixa atmosfera per processos de transformació fotoquímica a partir dels primaris i oxidants presents a l'atmosfera (espècies reactives d'oxigen i partícules en suspensió). Generalment s'acostumen a denominar *smog* a la literatura anglosaxona i es caracteritzen pel color marró ataronjat que es forma a les grans ciutats en interaccionar la radiació solar amb els contaminants atmosfèrics.

3.1. *Aerosols i matèria particulada en suspensió (PS)*

Aquesta classe de contaminants està constituïda per pols urbana, carbonissa, cendres volants i sulfats en forma d'aero-

sols. Així, comprenen sòlids i partícules líquides més grans que una molècula individual (0,2 µm diàmetre) però menors a les 500 µm. La vida mitjana a l'atmosfera varia de pocs segons a uns quants mesos segons la seva mida i les propietats hidrodinàmiques. Provenen bàsicament de la combustió de combustibles fòssils (carbó, petroli, gasoil i gasolines) emprats en automoció i centrals tèrmiques i fusta (llars de foc, combustió, boscos). També s'emeten de processos industrials a temperatura elevada, com els metal·lúrgics i les fonderies.

Aquestes partícules en el medi atmosfèric poden actuar de nuclis de condensació facilitant la formació de boires, boirines, precipitacions en forma de pluja i neu. Afecten de manera molt notòria la visibilitat a causa de l'absorció i dispersió de la llum. També poden afectar la corrosió de superfícies metàl·liques, tèxtils, pintures, etc., per la presència de compostos reactius adsorbits a les partícules.

Les fonts més importants d'emissió a l'atmosfera a la Unió Europea dels 15 són el transport per carretera (27 %), les indústries que generen energia (23 %), l'agricultura (14 %) i altres activitats industrials (12 %). A les PS en l'atmosfera predominen els contaminants secundaris (NO_x , SO_2 , NH_3), que representen el 86 % de les emissions enfront d'un 14 % de les emissions directes (<http://www.eea.eu.int>). La Unió Europea dels 15 ha reduït les emissions de PS en un 36 % del 1990 al 2001 i un 1,1 % del 2000 al 2001, que cal atribuir a la reducció en les emissions de les PS secundàries (NO_x i SO_2), però també de les primàries emeses per empreses que generen energia. El canvi de combustibles menys contaminants (de carbó a gas) i la reducció de sofre en els combustibles hi han contribuït d'una manera decisiva. Malgrat això, l'increment constant del trànsit vehicular fa que sigui difícil complir amb els valors considerats a les directives. Concretament la 1999/30/EC regula els valors límits per al SO_2 , NO_x ,

PS i plom a l'atmosfera i la 2001/81/EC, el sostre d'emissions contaminants al medi atmosfèric per països.

Dels quinze països membres, tots han davallat les seves emissions exceptuant Portugal i Grècia, que han augmentat d'un 22 a un 3 %, respectivament, de l'any 1990 al 2001. Alemanya i Anglaterra han reduït un 50 % les emissions originades per PS.

Un fet de gran rellevància és que les partícules segons la seva mida poden entrar al sistema respiratori humà i afectar negativament la salut. Aquest fet ha estat reflectit en la legislació actual i es diferencia la mida de partícula. Així les partícules superiors a 10 µm queden retingudes a la laringe i les menors a 2,5 µm, als alvèols pulmonars. Es coneixen com a PM₁₀ i PM_{2,5}, respectivament, i actualment certs països que han accedit fa poc a la Unió Europea no en disposen. Les PS poden ser tòxiques per tres causes: *a*) característiques físico-químiques intrínseques, *b*) interferència en els mecanismes de funcionament del tracte respiratori i *c*) presència de compostos tòxics adsorbits a les partícules. El Natural Resources Defense Council (NRDC) dels Estats Units ha estimat que seixanta-quatre mil de les morts prematures són degudes a malalties cardiopulmonars (6 % del total) ocasionades per la contaminació del material particulat atmosfèric. El mecanisme no és del tot conegut, però se sospita que afecta la neteja mucociliar de la tràquea, i provoca inflamació al pulmó. També s'especula que l'exposició a la matèria particulada incrementa la susceptibilitat a infeccions bacterianes i víriques, cosa que incrementa el risc de pneumònia entre els membres més vulnerables de la població. La correlació entre la contaminació PS i mortalitat ha estat demostrada pel British Committee on the Medical Effects of Air Pollutants i el Committee of the Health Council d'Holanda a partir de dades epidemiològiques i recentment en quatre ciutats importants dels Estats Units (Dominici *et al.*, 2003).

3.2. Monòxid de carboni (CO)

És un altre dels gasos contaminants existent a les atmosferes urbanes que prové bàsicament de processos de combustió incompleta, especialment vehicles de benzina. La vida mitjana a l'atmosfera és relativament llarga (de dos a quatre mesos) i l'emissió atmosfèrica a escala global, molt elevada ($35 \cdot 10^7$ tones per any, 1970) i es produeix un increment en la seva concentració any rere any. Formen part dels precursors de formació de l'ozó.

No es coneixen efectes negatius a la vegetació, però són molt freqüents les intoxicacions a persones, especialment a l'interior d'edificis on es produeixen combustions amb una ventilació pobre. Provoca canvis fisiològics i patològics, i finalment la mort a concentracions elevades (> 750 ppm). La combinació de CO i hemoglobina dona lloc al complex carboxihemoglobina (COHb), amb la particularitat que té una afinitat d'unes dues-centes vegades més elevada que l'oxigen, fet que el desplaça. Els efectes depenen del temps d'exposició. Així, després de vuit hores a concentracions de 10-15 ppm, provoca efectes negatius en la discriminació dels intervals de temps. A concentracions de 100 ppm provoca migranyes i laxitud. No hi ha un consens generalitzat del llindar de concentracions per al CO (Wark i Warner, 1981). A la ciutat de Toronto s'ha observat una correlació positiva entre la mortalitat no accidental i concentracions de CO i PS a l'atmosfera (Burnett *et al.*, 1998).

3.3. Òxids de sofre (SO_x)

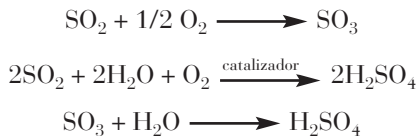
Els més importants són el SO_2 i el SO_3 . A concentracions baixes (0,3-1,0 ppm) són inodors però a concentracions més elevades (3,0 ppm) provoquen una olor irritant. El SO_2 es forma

per combustió de combustibles fòssils mitjançant una reacció fortament exotèrmica:



A més es forma una petita proporció de SO_3 (SO_2/SO_3 que oscil·la entre 40:1 i 80:1).

El SO_2 es transforma a SO_3 mitjançant reaccions fotoquímiques o catalítiques i aquest en àcid sulfúric mitjançant la humitat atmosfèrica:



Contribueixen entre el 5 i el 20 % del total de les partícules en aerosols, cosa que afecta de manera significativa la reducció de la visibilitat, especialment en presència d'humitat. Els òxids de sofre són especialment corrosius a les superfícies metàl·liques (zinc i alumini) i incrementen el seu poder en presència d'humitat. Al mateix temps ataquen les superfícies calcàries d'edificis incloent-hi el marbre.

Les emissions de SO_2 a la Unió Europea dels 15 s'han reduït en un 64 % entre el 1990 i el 2001 i un 3 % entre el 1990 i el 2001, i han estat els sectors industrial i energètic els que han produït una davallada més gran. La davallada cal atribuir-la a una reducció del contingut de sofre en els combustibles, al tractament dels *flue gas* i també a la utilització de catalitzadors en els motors de benzina. En relació amb el compliment de la Directiva comunitària 2001/81/EC (National Emission Ceilings Directive, NECD) per al 2010, Portugal, Irlanda i Espanya excedeixen el valor fixat per a les emissions en un 29, un 13 i un 1 %, respectivament (<http://www>.

eea.eu.int). D'altra banda, Alemanya i Anglaterra han reduït molt significativament les seves emissions i això fa que actualment estiguin per sota dels valors que preveuen el compliment del protocol de Goteborg i la Directiva 2001/81/EC.

Generalment els sulfats van associats a una mida efectiva inferior a les 2 μm , en un interval comprès entre 0,2 i 0,9 μm i presenten efectes adversos a la salut humana. El diòxid de sofre provoca broncoconstricció i l'àcid sulfúric és un agent irritant molt poderós. Els estudis epidemiològics mostren una associació directa entre l'exposició a curt termini dels òxids de sofre o el negre de fum, cosa que produeix un increment del 3 % de la mortalitat (95 % interval de confiança) en incrementar en 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la contaminació d'aquests contaminants a l'atmosfera urbana (Katsouyanni *et al.*, 1997).

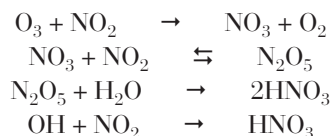
3.4. Òxids de nitrogen (NO_x)

Constitueixen una família de compostos en els quals varia la relació atòmica del nitrogen i l'oxigen. Els òxids de nitrogen estables són N_2O (òxid nítrós), NO (òxid nítric), N_2O_3 (triòxid de nitrogen), NO_2 (diòxid de nitrogen) i N_2O_5 (pentòxid de nitrogen). A causa de la varietat d'òxids de nitrogen presents a l'atmosfera, es denominen genèricament com a NO_x . Els que són presents a l'atmosfera en quantitats mesurables són l'òxid nítrós, l'òxid nítric i el diòxid de nitrogen i, per tant, són els contaminants potencials. El primer és un gas inert amb propietats anestèsiques que presenta concentracions ambientals de 0,5 ppm. El seu cicle ambiental és independent d'altres òxids de nitrogen.

L'òxid nítric (NO) és un gas incolor i les seves concentracions ambientals són inferiors a les 0,5 ppm. Els efectes per a la salut humana d'aquests nivells de concentració resulten negligibles. Malgrat això, és el precursor de la formació de

diòxid de nitrogen i el que genera l'*smog* fotoquímic i, per tant, contaminants atmosfèrics que cal controlar. El diòxid de nitrogen (NO_2) és un gas de color marró ataronjat. A concentracions d'1 ppm o superiors resulta visible i provoca efectes negatius a la salut únicament a concentracions elevades. El valor guia està situat a l'entorn d'unes 1,5 ppm. L'exposició a concentracions de 0,7 a 5 ppm durant deu o quinze minuts pot afectar el sistema respiratori. L'exposició a 15 ppm provoca irritació ocular i nasal i a 25 ppm durant menys d'una hora provoca molèsties pulmonars. Generalment, les concentracions que es troben en el medi atmosfèric són inferiors als nivells que poden provocar efectes adversos (Wark i Warner, 1981).

Els òxids de nitrogen formen part del cicle biogeoquímic del nitrogen a la natura. Així, el diòxid de nitrogen és hidrolitzat a àcid nítric en l'atmosfera, i precipita com a nitrats, els quals són utilitzats per les plantes com a nutrients i fertilitzants. Les reaccions de formació de l'àcid nítric es presenten a continuació:



L'àcid nítric és un dels compostos que més contribueixen a la pluja àcida. En atmosferes no contaminades la concentració normal de NO_x és d'1 ppm i en atmosferes urbanes s'arriba a les 40 o 80 ppbs. En atmosferes molt contaminades, es pot arribar a les 0,3 a 1,4 ppm durant cicles d'un dia o més curts.

Les fonts d'emissió més importants a la Unió Europea dels 15 són el transport per carretera (46 %), seguit dels processos industrials (31 %) (<http://www.eea.eu.int>). Les emis-

sions a la Unió Europea dels 15 han reduït en un 25 % aproximadament del 1990 al 2001 i quant als deu països que han accedit recentment a la Unió Europea, la reducció ha estat més significativa (45 %). Malgrat això, el valor de la reducció està per sota del valor previst i s'assumeix una reducció lineal fins al 2010 malgrat les fortes reduccions en les emissions d'Alemanya i Anglaterra. Per tant, a diferència d'altres gasos contaminants, la reducció d'emissions no ha estat prou significativa en relació amb la NECD del 2010. Així, molts països (Portugal, Irlanda, Espanya, Àustria i Bèlgica) presenten un fort increment en relació amb el valor previst el 2010 (23-46 %).

A la vista dels valors que es troben a les ciutats, es pot concloure que els òxids de nitrogen no presenten un problema a la salut *per se*, però el risc que presenten és que són precursors de compostos tòxics i de l'*smog* fotoquímic que es presentarà tot seguit.

3.5. *Compostos orgànics volàtils (COV)*

Els compostos orgànics volàtils presents a les atmosferes urbanes poden ser o bé gasos com el metà, l'età, l'etilè, el propà, o bé aromàtics de baix pes molecular (benzè, toluè, etilbenzè i xilens), que es coneixen com a BTEX. També dins d'aquesta família es poden classificar els hidrocarburs alifàtics de baix pes molecular, que, juntament amb el BTEX, són els constituents de les gasolines. Exceptuant el metà, que pot provenir per processos de degradació anaeròbia (*metanogènesi*), provenen per evaporació de combustibles fòssils. El metà es produeix en els abocadors i en les depuradores amb digestió anaeròbia. També és present al gas natural juntament amb els hidrocarburs alifàtics de baix pes molecular. Així doncs, poden entrar a l'atmosfera per escapament o bé per combustió incompleta.

Generalment com que el metà té fonts diferents de la resta de COV, se solen excloure en comptabilitzar les concentracions atmosfèriques referint-nos com a NMVOC (*non methane volatile organic compounds*). Com que són precursors de l'ozó, la seva concentració s'avalua conjuntament amb altres compostos precursors d'ozó. Segons dades de l'EEA, els NMVOC constitueixen el 37 % de les emissions de productes precursors d'ozó considerant els trenta-un països de la Unió Europea. De l'any 1990 al 2001, els mateixos països han disminuït un 32 % les seves emissions de NMVOC (<http://www.eea.eu.int>). Portugal, Espanya i Bèlgica presenten una forta desviació en relació amb el valor previst l'any 2010 en un 56, un 27 i un 22 % respectivament. Els sectors que han incrementat les emissions són l'industrial i la gestió de residus.

A part, el benzè és un reconegut carcinogen per als humans (Grup 1, IARC). La Unió Europea obligarà a rebaixar el contingut de benzè en les gasolines sense plom a 5 ppm per disminuir la contaminació atmosfèrica ocasionada per aquest compost. S'han detectat, també, concentracions elevades de VOC dins dels edificis a causa de la presència d'aquests compostos en productes d'ús quotidià i s'han relacionat amb la síndrome d'edificis malalts (Brinke *et al.*, 1998).

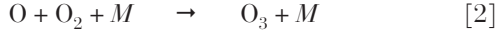
207

3.6. Ozó i altres oxidants

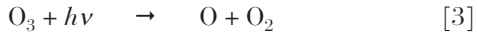
L'ozó (O_3) és un dels constituents dels oxidants secundaris format per reaccions fotoquímiques a partir de diversos precursors tant antropogènics (òxids de nitrogen) com biogènics (emissions vegetació: terpens). Es forma a la troposfera a causa de la dissociació de l'oxigen molecular a atòmic per la interacció amb els fotons d'elevada energia:



Aleshores, l'oxigen atòmic format pot reaccionar amb oxigen molecular tot formant ozó que s'acumula a l'estratosfera:



en presència d'una molècula M que accepti energia. L'ozó que es forma pot descompondre's de nou en presència de radiació d'elevada energia (ultraviolada) tot generant oxigen molecular i una molècula d'oxigen atòmic:

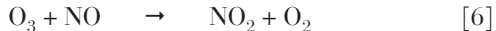
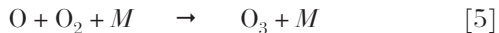


De fet aquesta última reacció [3] és la que es protegeix a la biosfera de la radiació ultraviolada d'elevada energia i que s'ha vist atacada per agents reactius (CFC i d'altres).

208

En atmosferes contaminades, l'atmosfera conté concentracions significatives de SO_2 i NO_x i hidrocarburs volàtils (COV), els quals s'oxiden en presència de radiació solar. Així l'òxid nítric (NO) emès per les fonts estacionàries es transforma en NO_2 i la vida mitjana del NO depèn de la seva concentració. A concentracions inferiors a 1 ppm la vida mitjana és de 100 hores, que augmenta a concentracions més baixes. Malgrat això, en presència de O_3 , la transformació és extraordinàriament ràpida durant pocs segons de NO a NO_2 .

La reacció de formació d'ozó [2] no té lloc a la superfície terrestre (tropopausa: frontera entre estratosfera i troposfera), ja que requereix radiació d'elevada energia. Generalment s'atribueix la seva formació a partir de NO_2 en presència de radiació solar:



Així doncs, la formació d'ozó seguiria una reacció cinètica que s'indica tot seguit:

$$O_3 = \frac{kI [NO_2]}{[NO]}$$

on k és la constant cinètica de formació i I un factor que depèn de la irradiació solar.

El NO_2 format a l'atmosfera es pot transformar en àcid nítric en fase gas (reacció [7]) o en gotetes aigua en suspensió [8], que és un dels components més importants de la pluja àcida:



La reacció 7 és una reacció d'equilibri i es desplaça a la dreta si l'àcid nítric generat es neutralitza en forma de nitrats. Les concentracions atmosfèriques dels contaminants NO , NO_2 i O_3 presenten un cicle diari que depèn de la radiació solar.

Els hidrocarburs presents a l'atmosfera contaminada també poden reaccionar amb l'oxigen atòmic tot formant radicals lliures orgànics:



on R^\bullet , RO^\bullet i HCO^\bullet són radicals lliures. L'aldehid format per la reacció 10 és un contaminant atmosfèric *per se*. L'altra reacció important és la formació de radical peròxid (ROO^\bullet) a partir dels radicals orgànics generats a la reacció [9] (R^\bullet) i oxigen molecular:



Els radicals peròxid formats són capaços d'oxidar el NO a NO₂ mitjançant la reacció següent:



Així doncs, la presència d'hidrocarburs a l'atmosfera provoca la formació de NO₂ a l'atmosfera, a més del seu cicle fotolític, i provoca un increment de la concentració O₃ a l'atmosfera.

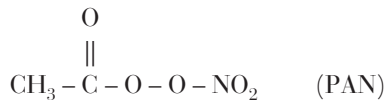
Una altra font addicional de formació d'ozó pot ser la reacció dels peroxiradicals amb oxigen molecular:



Aquesta reacció contribueix a la formació d'ozó cap a mig matí, però també s'ha suggerit que aquesta reacció té poca importància, ja que simplement un increment en la concentració de NO₂ per mitjà d'espècies radicalàries podria explicar aquest increment.

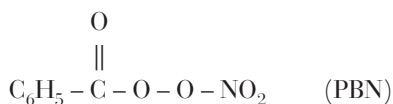
El nombre de dies que s'excedeix els nivells d'ozó de 100 ppm durant vuit hores a les atmosferes urbanes presenta un lleuger increment en el període de 1990-1999 i és més significatiu a les zones urbanes, en què arriba a un 30 %.

Els oxidants presents a les atmosferes urbanes són diversos: ozó, diòxid de nitrogen, peròxid d'hidrogen, nitrats de peroxiacetil i els hidroperòxids. Un dels oxidants més rellevants és el nitrat de peroxiacetil (PAN)



És un irritant dels ulls i causa danys a la vegetació a concentracions de pocs ppbs. Un altre oxidant molt poderós és

el nitrat del peroxibenzoil (PBN), que és unes cent vegades més irritant que el PAN



3.7. Hidrocarburs aromàtics policíclics

És una família extensa d'hidrocarburs que abasta des de compostos de dos anells aromàtics fins a compostos de més de sis anells. A l'atmosfera poden estar presents en forma de MP o en fase vapor segons la temperatura atmosfèrica i la volatilitat del compost. Es formen per processos de combustió o bé per evaporació de combustibles. Se'n diferencia l'origen per la seva estructura molecular. Així, els derivats alquilats són característics dels hidrocarburs fòssils i els parentals, dels processos de combustió a elevada temperatura. El compost més característic és el benzo[a]pirè, que és un producte carcinogènic. També ho són altres PAH de cinc i sis anells aromàtics benfluorantens, indeno[123-cd]pirè i el benzo[ghi]perilè.

Són compostos reactius a la radiació ultraviolada i, en presència d'ozó, radicals hidroxil i òxids de nitrogen, poden originar cetones aromàtiques, quinones i nitroderivats. Malgrat això, el fet que solen estar adsorbits a partícules de carbonissa, els fa més estables i poden ser transportats a llargues distàncies de la font emissora. Una fracció important d'aquests compostos es troba a la fracció d'aerosols inferior a les 10 µm i, per tant, presenta un risc important per a la via respiratòria.

3.8. *Compostos organohalogenats*

Els més volàtils (gas en condicions normals) són els halons (compostos d'1 o 2 carbonis, substituïts amb fluors, clors i/o broms). S'han prohibit perquè perforen la capa d'ozó i perquè no presenten un risc directe per a la salut humana, excepte algun (cloroform). Els dissolvents clorats (tricloretilè, tetracloretilè, diclorometà) són compostos molt volàtils que s'han emprat històricament en processos industrials i també en el rentat en sec de teixits. Gairebé tots han estat reemplaçats per la seva elevada toxicitat o bé prohibits per la reactivitat amb l'ozó segons el protocol de Mont-real, l'any 1996, com els CFC, els halons, el tetraclorur de carboni o el metil cloroform, o bé l'any 2030, com els hidroclorofluorocarburs o HCFC).

Els semivolàtils constitueixen una família complexa pel nombre de components que la integren: bifenils policlorats (PCB), dioxines (PCDD) i furans policlorats (PCDF). Cadascuna està integrada per molts components que es diferencien segons el grau de cloració i la posició dels àtoms de clor a la molècula. Els menys clorats es troben essencialment a la fase vapor i els més clorats, a la fase particulada. La partició entre ambdues fases es realitza en funció de la temperatura ambient. Els PCB són compostos sintètics que es van utilitzar des dels seixanta fins als vuitanta com a dielèctrics de condensadors per la seva elevada estabilitat tèrmica. Foren prohibits en els països desenvolupats durant la dècada dels vuitanta i recentment a escala global (conveni d'Estocolm) a causa de la gran estabilitat ambiental i els efectes bioacumulatius i teratogènics. Pel que fa a les dioxines i els furans, són subproductes dels processos de combustió, les substituïdes en posicions *para* són les més tòxiques i la 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina es cancerígena per als humans. En el medi atmosfèric reaccionen amb els radicals hidroxil i donen lloc a la formació de derivats hidroxilats. A l'atmosfera urbana provenen o bé

de processos de volatilització de fonts contaminades o per combustió de residus urbans que contenen clor. La incineració a elevada temperatura ha reduït considerablement les emissions d'aquests compostos.

3.9. *Metalls pesants*

En el medi atmosfèric es troben en forma d'òxids i generalment provenen de processos de combustió de carbó i derivats del petroli. Una menció especial rep el plom, que es va emprar en les gasolines fins a la dècada dels noranta de la centúria anterior com a agent potenciador del grau d'octanatge.

Una altra font important de compostos metàl·lics a l'atmosfera és la incineració de residus urbans. En un estudi realitzat al Japó (Sakata *et al.*, 2000) es mostra que la major part del plom, el cadmi, el zinc i l'arsènic en el medi atmosfèric provenen de la incineració de residus urbans.

L'ordre de concentracions, encara que variable, sol ser el següent: ferro > zinc > plom > coure > crom > manganès > níquel. Alguns d'aquests metalls es troben a les partícules inferiors a les 10 µm (PM10: Pb, Cu, Fe, Cr, Cd, Mn, V i Ni) i d'altres, com el mercuri, en fase vapor.

213

4. EFECTES DE LA CONTAMINACIÓ ATMOSFÈRICA EN LA SALUT

Tot i que s'han realitzat nombroses iniciatives, ens centrarem en dues, ja que s'han desenvolupat en l'àmbit europeu. La primera APHEIS (Air Pollution and Environmental Health. A European Information System, <http://www.apheis.net>). El programa inclou vint-i-sis centres de setze ciutats de dotze països europeus. En aquest projecte, s'han avaluat, des d'un

punt de vista epidemiològic contrastat, els efectes sobre la salut dels contaminants (*health impact assessment*, HIA) atmosfèrics que es mesuren habitualment (PM_{10} , $PM_{2.5}$, fums negres) en les xarxes de vigilància de la contaminació. També s'ha desenvolupat una estratègia per a difondre els resultats a gestors, tècnics i a la població en general. Les conclusions que es desprenen en relació amb els efectes de la PS per a trenta-sis milions d'habitants de vint-i-tres ciutats són les següents:

- Prevenició de 2.580 morts prematures (1.741 cardiovasculars i 429 respiratòries) si la concentració de PM_{10} es reduís a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ considerant períodes d'exposició de dos dies. Considerant un període més llarg d'exposició a la mateixa concentració (quaranta dies), el nombre de morts prematures que s'evitarien es duplicaria (5.240: 3.458 cardiovasculars i 1.348 respiratòries).
- Prevenició de 11.375 morts prematures (8.053 cardiopulmonar i 1.296 càncers de pulmó) anuals si l'exposició a llarg termini a $PM_{2.5}$ fos reduïda a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La prevenció arribaria a 11.612 morts si els nivells de $PM_{2.5}$ baixessin a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Increment de l'esperança de vida per a una persona de trenta anys, suposant que la resta de contaminants es mantinguessin constants, entre dos i tretze mesos si la concentració de PM_{10} i $PM_{2.5}$ es reduís a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relació amb els efectes dels fums negres, indicador del trànsit urbà, per a setze ciutats que representen vint-i-quatre milions d'habitants, mantenint la resta de contaminants constants, és la següent: s'evitarien 1.296 morts prematures (405 cardiovasculars i 109 respiratòries) reduint la concentració de fums negres a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant vint-i-quatre hores.

En un altre estudi realitzat al centre d'Europa (Àustria, França i Suïssa) (Künzli *et al.*, 2000), s'ha constatat l'impacte de la contaminació exterior (total) i la relacionada amb el trànsit, a la mortalitat de la població exposada. La contaminació de l'aire causa el 6 % de la mortalitat total (quaranta mil morts l'any). La meitat de la mortalitat total causada per pol·lució atmosfèrica s'ha atribuït al trànsit motoritzat, que representa més vint-i-cinc mil casos addicionals de bronquitis (nens), més de mig milió d'atacs d'asma i més de setze milions de persones/dia de restricció d'activitats.

BIBLIOGRAFIA

- BRINKE, J. T.; SELVIN, S.; HODGSON, A. T.; FISK, W. J.; MENDELLE, M. J.; KOSHLAND, C. P.; DAISEY, J. M. (1998). «Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to “sick building syndrome” symptoms». *Indoor Air*, 8, p. 140.
- BURNETT, R. T.; ÇAKMAK, S.; RAIZEME, M. E.; STIEB, D.; VINCENT, R.; KREWSKI, D.; BROOK, J. R.; PHILLIPS, O.; ÖZKAYNAK, H. (1998). «The association between ambient carbon monoxide levels and daily mortality in Toronto, Canada». *J. Air Waste & Manag. Assoc.*, 48, p. 689-700.
- D'AMATO, G.; LICCARDI, G.; D'AMATO, M. (2000). «Environmental risk factors (outdoor air pollution and climatic changes) and increased trend of respiratory allergy». *J. Investig. Allergol. Clin. Immunol.*, 10, p. 123-128.
- DOMINICI, F.; McDERMOTT, A.; ZEGER, S. L.; SAMET, J. M. (2003). «Airborne Particulate matter and mortality: time scale effects in four US cities». *Am. J. Epidemiol.*, 157, p. 1055-1065.
- JARVIS, K. E.; PARRY, S. J.; PIER, J. M. (2001). «Temporal and spatial studies of autocatalyst-derived platinum, rhodium,

and palladium and selected vehicle-derived trace elements in the environment». *Environ. Sci. Technol.*, 35, p. 1031-1036.

KATSOUYANNI, K. [*et al.*] (1997). «Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project». *BMJ*, 314, p. 1658.

KÜNZLI, N.; KAISER, R.; MEDINA, S.; STUDNICKA, M.; CHANEL, O.; FILLIGER, P.; HERRY, M.; HORAK Jr., F.; PUYBONNIEUX-TEXIER, V.; QUÉNEL, P.; SCHNEIDER, J.; SEETHALER, R.; VERGNAUD, J.-C.; SOMMER, H. (2000). «Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment». *Lancet*, 356, p. 795-801.

RITZ, B.; YU, F.; FRUIN, S.; CHAPA, G.; SHAW, G. M.; HARRIS, J. A. (2002). «Ambient air pollution and risk of birth defects in southern California». *Am. J. Epidemiol.*, 155, p. 17-25.

SAKATA, M.; KURATA, M.; TANAKA, N. (2000). «Estimating contribution from municipal waste incineration to trace metal concentration in the Japanese urban atmosphere using lead as a marker element». *Geochem. J.*, 34, p. 23-32.

WARK, K.; WARNER, C. F. (1981). *Air pollution: Its origin and control*. 2a ed. Nova York: Harper & Row.

SOCIETAT CATALANA

DE BIOLOGIA

POBLACIÓ I CLIMA A LA TERRA:

GENERACIÓ I EVOLUCIÓ

D'ESTRUCTURES DISSIPATIVES,

A CÀRREC DE XAVIER RODÓ,

DE LA INSTITUCIÓ CATALANA

DE RECERCA I ESTUDIS AVANÇATS

I DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

L'ésser humà interactua amb el seu entorn com un sistema dissipatiu. El sistema climàtic terrestre també es pot assimilar a aquest tipus de dinàmiques, en què les entrades d'energia es produeixen en unes finestres determinades, en general per damunt d'uns llindars, o en finestres que després dissipen l'energia i generen estructura o la destrueixen, bé a l'atmosfera, a l'oceà o fins i tot en les poblacions i els sistemes socioeconòmics (figura 1). A escala planetària, hi ha unes regions en el diagrama espai-temps on aquesta estructuració pot ser més facilitada, de manera que la diagnosi de sèries i/o matrius de dades instrumentals o registres paleoclimàtics allà ens permet veure com aquestes estructures es van repetint, o no, al llarg del registre històric i com, per exemple, també poden haver canviat en funció dels canvis en els factors que les generen i en les condicions de contorn del sistema que les acota. Aquesta repetició genera un cicle o pic en l'espectre de variàncies, de vegades difícilment caracteritzable, però que ens pot permetre aproximar-nos al tipus de sistema subjacent que n'és responsable. Sovint el resultat ens mostra que estem davant d'una dinàmica no lineal sorgida d'un sistema de poques dimensions que descriu una trajectòria al voltant d'un cicle límit, caracteritzable mitjançant un conjunt reduït d'equacions diferencials. De vegades, aquesta estructuració en períodes o finestres de variància determinades s'assoleix preferentment damunt de llindars en certes variables o en les relacions entre aquestes. Aquest canvi en l'organització d'estructures es tradueix, sempre, en modificacions de les distribucions de referència, que, en ser degudes a aquesta dinàmica no additiva, resulten més fàcilment detectables que no pas els canvis en les tendències. Un cas clar és la recent controvèrsia sobre l'evolució de la corba de la temperatura planetària en els darrers mil anys i el paper que l'acció humana ha tingut en la seva forma

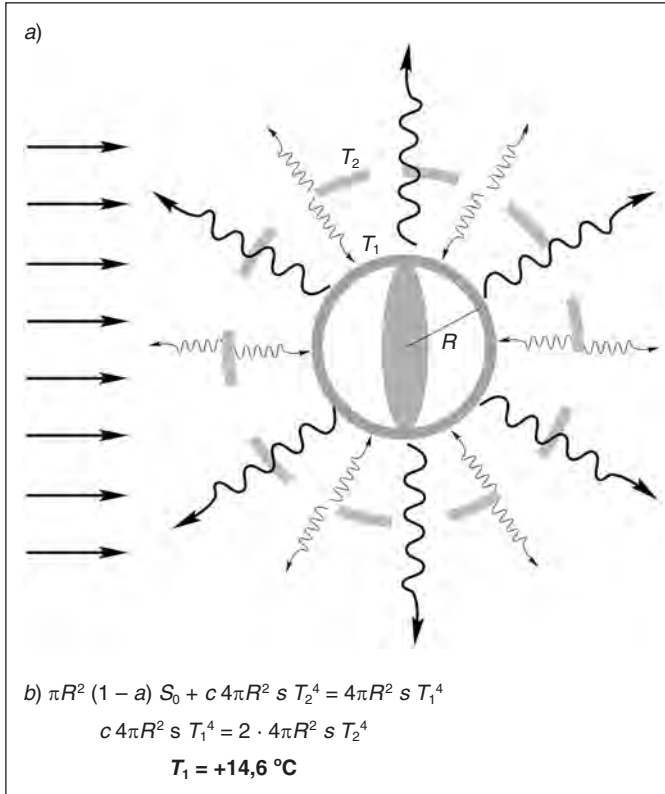


FIGURA 1. a) Representació esquemàtica simplificada del sistema (climàtic) terrestre, amb la Terra com un cos negre en equilibri radiatiu i R = radi terrestre, T_1 = temperatura a la superfície terrestre i T_2 = temperatura sobre la coberta de núvols. La circumferència grisa discontinua vol representar una coberta de núvols discreta simplificada. b) Equacions que descriuen el balanç energètic del sistema senzill mostrat en a) i la temperatura en superfície que en resulta (T_1). L'efecte de retroalimentació dels núvols esdevé essencial en l'assoliment d'aquesta temperatura mitjana de $14,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

FONT: Stocker (2003).

d'estic d'hoquei (*hockey stick*). En contraposició a aquesta aproximació, és molt més senzill i alhora robust determinar els canvis en moments d'ordre superior, com ara l'evolució de la variància en la distribució de les temperatures, sobretot en determinades regions del planeta. També, la caracterització de com el clima «impacta» els sistemes biològics esdevé altament complexa i és encara ara en gran part desconeguda, com en el cas, per exemple, de la modulació que exerceix sobre algunes epidèmies tropicals, on manifesta una estructuració en aquesta interfase que funciona segons un tipus de dinàmica similar.

EL SISTEMA CLIMÀTIC COM A SISTEMA DISSIPATIU

220

El sistema climàtic terrestre actua com un sistema dissipatiu, en contraposició als sistemes hamiltonians, és a dir, rebent energia externa que després transforma (internament) en energia de longitud d'ona més llarga, principalment en forma de calor, bé generant estructura bé destruint-la. Els sistemes vius actuen també seguint una pauta similar i les poblacions biològiques, considerades com un ens supraindividual, estructuren l'energia en més o menys paquets singulars i, fins i tot, de vegades, ocasionant explosions anòmales d'estructura i atzar. Un exemple clar en són els brots epidèmics (de malalties infeccioses com ara el còlera, la malària, el dengue o la febre groga, modulades per factors externs, WHO, 2004). En aquest context, el paper regulador o «encebador» que exerceix el clima en les poblacions i els ecosistemes esdevé d'importància cabdal per la seva elevada incidència social i econòmica, tot i que sovint es tracta de manera poc precisa. Això s'esdevé sobretot per una sobresimplificació dels processos bàsics que en regulen la dinàmica.

En aquest intent de caracteritzar adequadament —i per tant també de quantificar— com el clima modula un procés del nostre interès (per exemple, la variable a predir), sovint ens cal quantificar la magnitud d'aquest forçament, com també tenir certesa dels seus efectes, problema aquest que no resulta trivial. Un exemple que ens pot ajudar a entendre aquesta dificultat pot ser la recerca que es duu a terme per tal d'anticipar i predir amb prou temps els brots epidèmics als tròpics de malalties com la malària i el còlera. Abans, però, de cercar constància dels impactes, ens cal sintetitzar en una sèrie temporal el paper exercit pel «clima» de la manera més objectiva possible, tasca que ja des d'un principi pot resultar complexa. Pensem, per exemple, en el càlcul de la temperatura mitjana planetària i en quan sentim a parlar (als mitjans de comunicació) d'increments en la temperatura global de poc més de mig grau en el darrer segle i ho fem estudiant una sola sèrie que ens ha de sintetitzar adequadament els fluxos de calor que tenen lloc a escala terrestre. Fer això per als darrers cent cinquanta o dos-cents anys és una tasca d'una elevada complexitat, a causa, d'una banda, del variable nombre d'estacions de mesura que hi ha o que hi ha hagut i, de l'altra, de l'irregular «recobriments» espacial d'aquestes en les diferents regions del món (per exemple, amb escassa cobertura sobre els deserts, els pols, les muntanyes i sobretot al mar). Pensem, també, en la dificultat afegida d'assignar el «pes» corresponent a cada sèrie instrumental que s'utilitza, ja que el monitoratge no es dona òbviament seguint un patró equidistant en la col·locació d'estacions. No obstant això, i malgrat la gran complexitat que aquest procés de síntesi comporta, la quantitat de dades, estacions i, en les darreres dècades, també mostres amb satèl·lits dels quals disposem, permeten fer aquests càlculs d'una manera acurada (tot i les incerteses associades). Però, si aquesta síntesi és complexa, més ho serà obtenir una sèrie que ens serveixi d'anàleg de la temperatura de tot un

planeta en èpoques històriques, en què no tenim registres instrumentals de base. Com podem constatar adequadament els canvis que s'hi van produir aleshores, si no tenim les estacions de referència? D'on i de quines variables cal obtenir registres de paleoindicadors que ens puguin servir per a fer-ne reconstruccions acurades? En la cerca del sensor terrestre ideal, cal pensar que cada sèrie temporal té unes escales característiques de canvi que es reflecteixen en oscil·lacions o quasiperíodes fonamentals en aquella variable i que són característiques dels processos que estructuraven el clima en aquella regió concreta del planeta, així com de la finestra que aquell subsistema o aquella regió obre de cara a poder registrar fenòmens d'escala planetària. I aquesta finestra, clarament, no és igual a tot arreu. Actualment, la capacitat de mesura de l'ésser humà s'ha incrementat fins a límits insospitats, tot i que, paradoxalment, en alguns llocs (també a la península Ibèrica), el nombre d'estacions instrumentals completes s'ha reduït en els darrers anys en comptes d'incrementar-se. En aquesta direcció, l'estudi de l'evolució del clima planetari requereix que l'obtenció dels registres paleoclimàtics, que ens han de servir per a entendre com ha variat la temperatura en el passat, es vagin a cercar en aquells llocs del planeta que permetin reconstruir millor els fenòmens de gran escala o, al contrari, els d'una regió climàtica determinada (per exemple, els tròpics), si és això darrer en canvi el que se cerca. En aquesta direcció, recentment, ja s'estan obtenint registres de «síntesi» planetària que ens permeten reconstruir els canvis que hi ha hagut a molt alta resolució i amb elevada precisió i d'una manera contínua fins més enllà dels darrers set-cents mil anys (EPICA, 2004). Aquestes variacions reflectides en diferents isòtops es mostren a la figura 2.

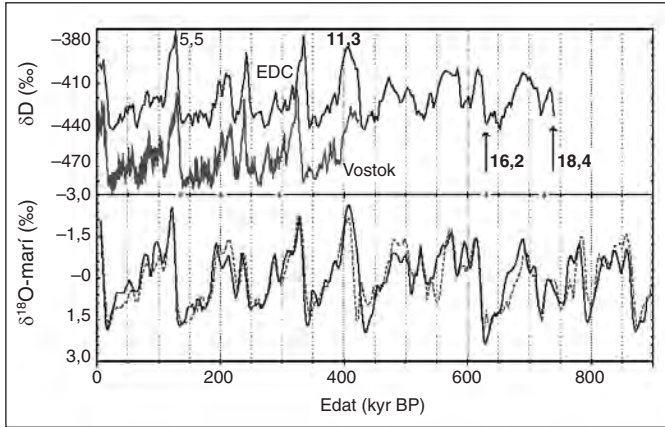


FIGURA 2. Comparació de les reconstruccions obtingudes al Dome C d'EPICA (EDC) amb altres registres paleoclimàtics. A dalt: Evolució del contingut isotòpic delta D dels darrers set-cents mil anys de l'EDC i del sondatge de Vostok. Es mostren, també, alguns estadis MIS. Registres d'oxigen isotòpic marí en dos emplaçaments als efectes comparatius.

FONT: EPICA (2004).

Conceptualment, podem assimilar algunes dinàmiques fonamentals que observem a aquelles que s'expliquen mitjançant un sistema de poques dimensions, explicable segons un conjunt senzill d'equacions diferencials. Però, per a poder fer això, el complex entramat de processos descrits ha de ser explicable per la interacció no lineal d'un sistema de poques dimensions (Lorenz, 1963; Ruelle i Takens, 1971). Aquest fet va significar un canvi de paradigma, ja que implicava deixar de pensar en termes de sistemes lineals amb un nombre infinit de graus de llibertat i que generaven aleatòriament irregularitat. Aquesta idea revolucionària exposada per Lorenz està a la base, també, de la diagnosi i la posterior simulació numèrica que se n'ha derivat per intentar reproduir-ne el comportament. Així, la solució del sistema mitjançant l'especificació

de les condicions inicials defineix una trajectòria o òrbita en l'espai de fases, el qual té una dimensió igual al nombre de variables independents i major que la de l'atractor subjacent. Així, molta de la predictibilitat climàtica, en contraposició a la inestabilitat de les solucions en el domini meteorològic, radica en la natura periòdica o quasiperiòdica de les solucions del sistema estable acotat, que fa que ciclin a l'entorn del que són les mateixes solucions del sistema dinàmic. Abans, però, d'anar més enllà en aquest canvi conceptual, convé posar de



FIGURA 3. *Imatge combinada de l'IR i el visible de la temporada d'huracans de l'any 2004, on es pot veure l'huracà Ivan arribant a les costes de Louisiana als Estats Units —com a huracà ja de grau 4— i un nou huracà, el Jeanne, que ja apareix per la part inferior dreta de la figura prop d'Haití. Cinc dies abans de tocar terra, el 16 de setembre de 2004, les incerteses associades a aquesta no-linealitat tan característica en l'acoblament atmosfera/oceà no permetien preveure quina magnitud tindria l'huracà en arribar a les costes americanes, ni si tocaria terra per la costa est de Florida o, en canvi, entraria pel golf de Mèxic.*

FONT: Imatge de la pàgina web: <http://cimss.ssec.wisc.edu/tropic/archive/2004/storms/ivan/ivan.html>.

manifest els nombrosos exemples de dinàmica no lineal que ens apareixen en la física del clima. Un cas molt clar pot ser la gènesi d'huracans a partir de petites inestabilitats en la columna d'aire als Highlands d'Etiòpia i de com aquestes ones allí generades flueixen cap a l'Atlàntic tropical, únicament en una regió oceànica acotada per la isoterma dels 26°.

D'aquestes ones, només algunes evolucionaran fins a convertir-se en huracans. La resta únicament assoleix categoria de tempesta tropical o es desdibuixa en poc més d'un front, tots en una trajectòria que els duu a les costes del continent americà i responent a una amplificació el fonament dinàmic de la qual encara no s'entén prou bé i a un elevat component estocàstic. Aquesta trajectòria no és predictable més enllà d'uns pocs dies i, pel que respecta a alguns dels processos convectius de més energia que hi ha associats, ni tan sols més enllà d'unes poques hores. De fet, el límit en la predictibilitat depèn de la taxa de creixement de l'error, la qual és inversament proporcional a l'escala temporal i, com que en general les escales temporals de les inestabilitats guarden una relació estreta amb les seves escales espacials, aquelles de més petita escala creixen molt més de pressa que les d'escala grans. És per això que són menys predictibles que els processos de gran escala. A tall d'exemple, a la figura 3 es mostra com a l'estiu de 2004, l'estació d'huracans va assolir nombres i magnituds força extrems, si els posem en relació amb la mitjana d'anys anteriors. Els factors que determinen que aquestes depressions esdevinguin o no huracans no són coneguts, tot i que es creu que tenen a veure amb la no-linealitat existent en l'acoblament atmosfera/oceà i la vorticitat generada de resultes de la trajectòria per damunt de les masses d'aigua per les quals circula i que mostren variacions en salinitat, temperatura, velocitat i/o moment. No obstant això, el coneixement limitat que encara es té de molts processos essencials en el sistema climàtic i l'òbvia incapacitat de descriure mitjançant equa-

cions deterministes la dinàmica derivada de la interacció no lineal que s'ha mencionat anteriorment fan que en moltes situacions els models climàtics simulin, com a màxim, dinàmiques que són no lineals en les magnituds o taxes de canvi d'aquestes, però no en els processos que les generen i, per tant, tampoc en les seves estructures. Per a minimitzar aquestes limitacions, les prediccions probabilístiques per conjunts provinents de multimodels obren possibilitats noves a l'hora d'explorar tot l'ampli ventall de respostes que es poden generar. A tall d'exemple es mostra, a la figura 4, un exemple d'aquesta limitada capacitat de simular dinàmiques no lineals. Com s'aprecia als gràfics de la figura esmentada, els canvis generats són únicament canvis de magnitud i no pas estructurals, tot i que els diferents experiments estan realitzats sota condicions molt diferents que haurien de mostrar aquestes transicions d'estats.

Al llarg de la història climàtica terrestre i ja en escales temporals més grans, el sistema climàtic mostra uns cicles d'histèresi característics que manifesten comportaments clarament no lineals, dinàmica que es pot apreciar, per exemple, a la mateixa evolució de les sèries de la figura 2 i també en l'evolució de les concentracions atmosfèriques de CO_2 on, malgrat que en ambdues les ciclicitats resulten evidents, les fases d'increment i disminució són clarament asimètriques. Aquest tipus de respostes observades podrien ser el resultat de fenòmens de lliandar, conceptes que s'han utilitzat per a descriure transicions entre diferents estats «estables», per exemple a través d'alteracions en la circulació termohalina. La resposta ocasionada per aquestes transicions climàtiques també mostra unes dinàmiques clarament asimètriques i, per tant, no lineals, sovint d'evolució cap a altres estats temporalment estables i clarament en funció de la proximitat o no del sistema climàtic a una bifurcació. Una resposta no lineal similar també es manifesta sovint en el cas de sistemes que experimenten

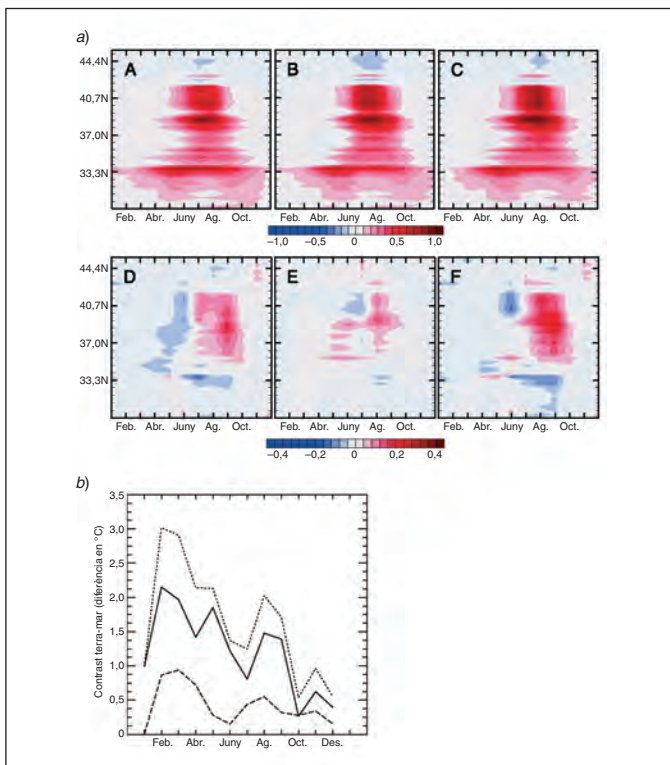


FIGURA 4. Contrast de temperatura i anomalies entre la terra i l'oceà reals i simulades amb models amb condicions diferents (2CO₂; 2CO₂_VEG; 2CO₂_CONTROL; 2CO₂_VEG_2CO₂; 2CO₂_VEG_CONTROL). a) Anomalies en l'evolució mitjana del remolí per al wind-stress al corrent de Califòrnia. A) Gir mitjà zonal per a la situació control. B) Gir mitjà zonal per a condicions de 2CO₂. C) Gir mitjà zonal per al cas de 2CO₂_VEG (amb efecte de la vegetació). D) Anomalies en el gir mitjà zonal per al cas de 2CO₂_CONTROL. E) Anomalies calculades com a 2CO₂_VEG_2CO₂. F) Anomalies calculades com a 2CO₂_VEG_CONTROL. b) Ídem que a, però per al cicle anual d'anomalies en el contrast tèrmic terra-mar calculades com a 2CO₂_CONTROL (línia contínua), 2CO₂_VEG_2CO₂ (línia discontinua) i 2CO₂_VEG_CONTROL (línia de punts), respectivament.

FONT: Diffenbaugh et al. (2004).

un forçament climàtic, tant socials com econòmics, i per exemple resulta evident en el cas d'epidèmies, on el forçament extern de vegades pot ser un clar determinant de brots epidèmics d'incidència anormalment gran (Pascual *et al.*, 2000; Rodó *et al.*, 2002; Bouma i Dye, 1997).

Aquest canvi conceptual cap a un sistema regit per processos no lineals no va ser trivial, ja que la «linealitat» va dominar el pensament dels climatòlegs en els darrers dos-cents anys. No va ser fins a la formulació per Lorenz, al final de la dècada dels seixanta, de les seves teories que es va produir un canvi radical en la manera de veure els processos que governen els sistemes físics. Aquest canvi de paradigma té el seu reflex en l'àmbit de la diagnosi a l'hora de caracteritzar els processos físics, ja que, per exemple, en el cas lineal aquests es tracten com en el cas senzill en el qual tenim una equació diferencial lineal ordinària amb un forçament aleatori. En notació discreta seria:

$$X(t+1) = \sum_{j=1}^M a_j X(t-M+j) + \xi(t) \quad [1]$$

on els coeficients a_j determinen les solucions i el forçament aleatori $\xi(t)$ s'assumeix com a soroll blanc, Gaussia i per tant no correlacionat en el temps i amb variància constant i igual a 1. Aquesta aproximació implica l'assumpció que els processos són autoregressius i d'ordre M . El teorema de Bochner-Khinchin-Wiener (Box i Jenkins, 1970), d'altra banda, ens permet relacionar el domini temporal i el freqüencial a través de la transformada de Fourier i això entronca amb el fet que el comportament més regular i més previsible d'una sèrie temporal és que sigui periòdica. Així, es va passar a considerar que el comportament irregular d'una sèrie temporal univariant podia ser generat per un sistema que podia ser determi-

nístic. Seguint amb la mateixa argumentació, doncs, ens interessa veure si el sistema és explicable mitjançant un nombre reduït o acotat de graus de llibertat, del qual podem inferir, per tant, la dimensió del conjunt o sistema i l'existència d'una estructura fractal a la base d'aquesta irregularitat observada en la sèrie. Així al final podem utilitzar diferents aproximacions per tal de reconstruir les equacions que el governen. En comptes de [1], tenim ara que la nostra sèrie de dades en el fons és la solució d'un sistema d'equacions diferencials ordinàries no lineals d'ordre s :

$$X^{(s)} = G(X^{(s-1)}, \dots, X) \quad [2]$$

La funció G és no lineal i la solució del sistema en el cas de comportaments periòdics passa a l'entorn de l'atractor, descrivint-ne òrbites a l'entorn. Tot i que no és possible reconstruir-lo amb la reduïda longitud de les sèries de dades, sí que es poden aproximar els cicles límits que es descriuen. Per exemple, en el cas de l'oceà i pel que fa a la predictibilitat que conté, podem pensar que hi ha regions generadores de «periodicitats», que, a més, són o poden ser estables per un interval més o menys prolongat d'anys i que sovint poden abastar regions —per exemple oceàniques— més o menys extenses. De fet, els episodis en els quals la trajectòria del sistema circula prop d'un cicle límit tenen com a resultat segments periòdics a la sèrie temporal de dades i, en conseqüència, també un pic a l'espectre. Per tal d'aproximar-nos més a la natura caòtica de l'atmosfera, en el desenvolupament de sistemes de predicció numèrica, s'ha evolucionat des de l'elaboració de prediccions purament deterministes fins al desenvolupament de prediccions per conjunts que són generats a partir de petits canvis en les condicions inicials i també en les especificacions dels models utilitzats, per tal de reflectir d'una manera més realista les incerteses que hi ha en el coneixement que tenim del siste-

ma climàtic. Així doncs, dues característiques fonamentals que també ens guiaran al llarg de l'exposició que segueix són la no-linealitat i l'origen de la irregularitat que es manifesta. Un altre tema interessant que no cal oblidar tampoc i que resulta cabdal per a entendre l'origen d'aquesta predictibilitat climàtica a escales d'estacionals a interanuals (i més enllà del límit teòric de les dues setmanes aproximadament definit pel domini meteorològic segons el model de Lorenz), és la reducció en la capacitat de predicció dels sistemes sinòptics de menor dimensió, respecte d'aquelles ones planetàries de més gran abast. Així, els fenòmens de mesoscala, com els fronts o sistemes convectius, són intrínsecament predictibles per a períodes més curts; per exemple, en el cas de precipitacions en tempestes puntuals, aquest temps és de poc més d'una hora, llevat que l'activitat convectiva sigui generada o forçada per fenòmens d'escala espacial més gran, o també en el cas de fenòmens de mesoscala que estan generats per la interacció de fenòmens sinòptics, per exemple, amb la topografia d'una zona concreta. La predictibilitat climàtica (per exemple, d'escales estacionals a pocs anys) radica essencialment en què passem del domini d'un sistema regit per la dinàmica estocàstica a un altre domini bàsicament sota el govern de l'oceà (i en menor mesura de la biosfera). Aquest fet també va lligat a les diferències estructurals i de composició dels diferents medis i la molt variable capacitat d'emmagatzemar calor, i per tant memòria, en els diferents compartiments (ja sia en fondària o en alçària). Resulta fascinant, de la mateixa manera, pensar que la memòria climàtica que «entra» als oceans en forma d'energia es dissipa més o menys brutalment o suauement i a causa essencialment de processos de ciclogenesis que fan aflorar aquesta memòria (també es donen, d'altra banda, fenòmens d'advecció en contraposició a la persistència). Un exemple d'aquesta predictibilitat es mostra a la figura 5, on es representa la primera funció empírica ortogonal (o EOF) es-

tandarditzada de les diferències de temperatura superficial de l'aigua de mar (d'ara endavant SST) del període 1950-2000 entre primaveres successives (entesa com el compòsit dels mesos de març a maig) i que explica un 14,5 % de la variància total. La figura deixa entreveure el pes de l'ENSO (El Niño - Southern Oscillation) en aquesta estructuració oceànica superficial bàsicament a latituds baixes (fenomen que domina la variància durant els mesos d'hivern), tot i que —com es veu a la imatge— també explica una quantitat important del balanç tèrmic a latituds mitjanes. De rellevància per al nostre clima són els processos que s'organitzen a l'entorn de l'Atlàntic tropical nord i que, en aquesta estació de l'any, prenen allí un paper preponderant —com també a l'Índic—, mentre que el paper dominant del Pacífic tropical posat de manifest en el primer EOF d'hivern passa ara a ser secundari en termes de

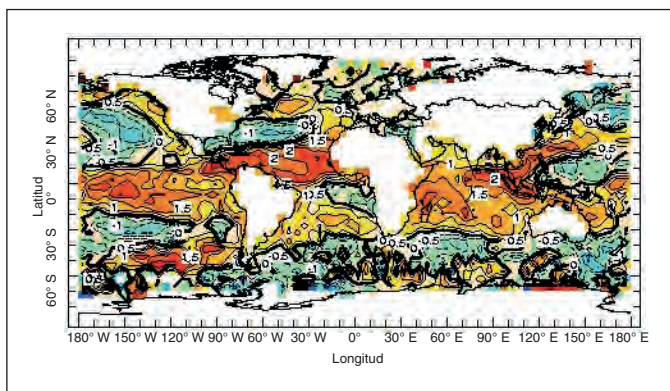


FIGURA 5. Mesura de la «memòria» climàtica oceànica durant els mesos de primavera (de març a maig) obtinguda com el primer vector propi normalitzat de les diferències de temperatures superficials de l'aigua de mar entre anys successius per al període 1950-2000. Aquesta configuració explica un 14,5 % de la variància total. Els valors indicats estan expressats en graus.

FONT: Elaboració pròpia.

magnitud. Aquesta memòria oceànica a l'Atlàntic, que aflora en èpoques d'elevada ciclogènesi i que l'estructura mitjançant l'intercanvi net de calor amb l'atmosfera, posteriorment, es constitueix en una font de predictibilitat climàtica poc estudiada a casa nostra, però que pot presentar un gran potencial.

L'origen d'aquest emmagatzemament de calor a les capes superficials de l'oceà en aquestes regions tropicals i la semblança del patró global amb el que es dona quan hi ha un episodi ENSO (vegeu la figura 6 per a l'episodi càlid de 1987), s'explica mitjançant l'estreta relació que hi ha entre l'atmosfera i l'oceà i que, en aquest cas, activa la circulació atmosfèrica de gran escala als tròpics i a les latituds mitjanes, en alguns casos impactant fins i tot abans que hi hagi totalment establerta una fase càlida de l'ENSO.

232

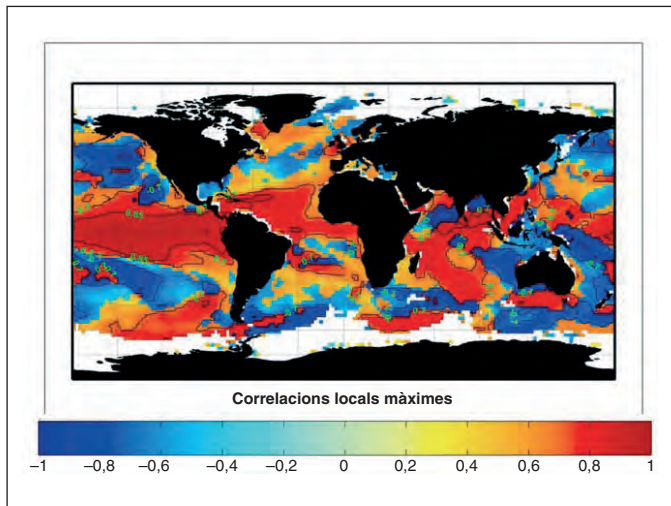
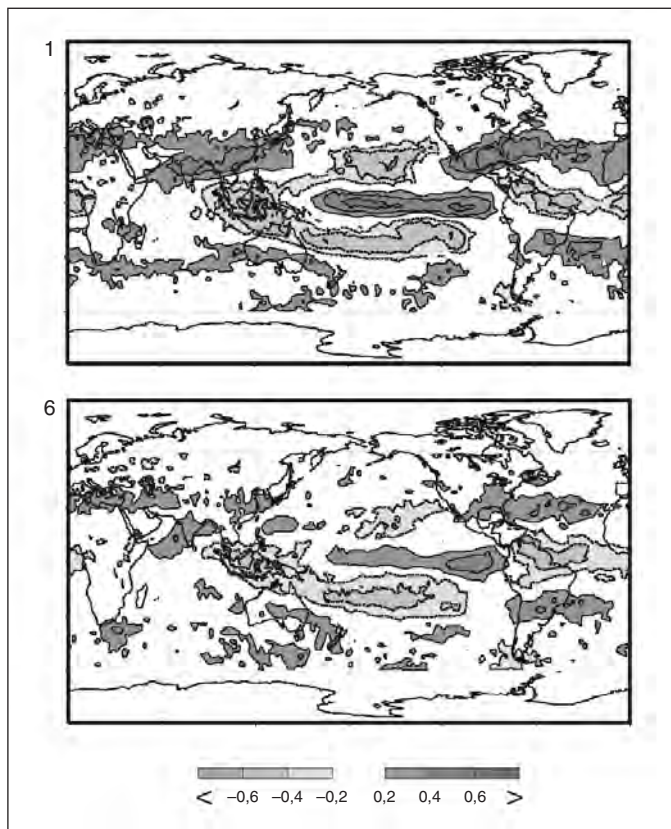


FIGURA 6. *Mapa SDC global de correlacions locals màximes per a l'episodi càlid de l'ENSO de 1987.*

FONT: Rodríguez-Arias i Rodó, dades no publicades.

A les latituds mitjanes, a diferència dels tròpics, el forçament atmosfèric sobre l'oceà és molt important i condiciona notablement el balanç de calor en aquestes regions i, en conseqüència, també les situacions sinòptiques que s'hi des-



233

FIGURA 7. Camps de correlació entre l'ENSO i la humitat relativa a l'alta troposfera un i sis mesos més tard. Els contorns indiquen correlacions significatives com a mínim per $p < 0,001$.

FONT: Rodó (2001).

envolupen. Aquest fet es fa palès a la figura 7, per al cas de l'Atlàntic i també del Pacífic nord i pot arribar a afectar el balanç net de calor a la Mediterrània, bé directament a través de la modulació de la cel·la de Hadley local (Rodó, 2001) o bé indirectament, condicionant les capes superficials d'extenses zones oceàniques a l'Atlàntic, que posteriorment afectaran el desenvolupament de sistemes frontals i les seves trajectòries i també l'estabilitat de certes situacions anticiclòniques.

Aquesta memòria climàtica, que resideix bàsicament als primers 50 m de l'oceà a les escales que estem considerant aquí, la podem utilitzar per a forçar un model atmosfèric de complexitat intermèdia (Rodó i Rodríguez-Arias, 2004; Cash *et al.*, 2008) constrenyit únicament en algunes d'aquestes zones oceàniques molt sensibles. Aquest procés ens permet simular algunes estructures atmosfèriques que ens són noves i que únicament havíem pogut observar mitjançant noves tècniques de diagnosi local. Els guanys que s'assoleixen en predictibilitat potencial amb aquesta diferent aproximació reproduïxen ara les estructures reals, però no encara les magnituds d'aquests acoblaments. En aquelles zones de la figura 7 —i també en altres variables—, on es concentra la variància a les escales interanuals d'interès, hi ha, doncs, una capacitat predictiva lligada a la quantitat de calor emmagatzemada a les capes oceàniques superficials i que té uns temps de correlació característics i diferenciats en cada àrea, però que ens poden permetre guanys de predictibilitat local de l'ordre d'uns mesos i, en algun cas, de més d'un any. Explotar aquest potencial predictiu encara no està a l'abast d'una manera operativa, però les expectatives que hi ha en algunes regions haurien de possibilitar que aquesta opció fos una realitat a curt termini o mitjà.

De tota manera, per la natura no estacionària i canviant que manifesten aquest tipus de comportaments, sobretot si ens fixem en períodes de temps llargs, les tècniques ha-

bituals de diagnosi —és a dir, aquelles que assumeixen una constància temporal en els senyals o un filtre preestablert—, sovint no recullen adequadament la seva contribució a una sèrie temporal. Aquestes periodicitats o finestres per on circula preferentment l'energia tenen, en alguns casos, una estructuració molt clara a escala temporal; per exemple, en el domini paleoclimàtic podem pensar en els cicles de Milankovitch associats a forçaments orbitals (a l'entorn de 100.000 anys, 43.000 anys, 21.000-23.000 anys i el subharmònic de semi-precessió d'11.000 anys, entre d'altres) (figura 8). Molt més a prop de l'escala humana, a escala interanual, aquestes finestres també estan força definides, si més no aquelles lligades a variacions en el rang biennal i quadriennal, en els quals el referent més important són les oscil·lacions quasibiennals i l'ENSO. Especialment i com que l'actual conformació de la superfície terrestre en terres emergides i masses d'aigua ho condiciona així, hi ha regions on l'energia flueix amb més facilitat en els acoblaments atmosfera/oceà —i per les quals es transfereix preferentment l'energia a l'atmosfera des de latituds baixes. El sistema climàtic, com dèiem, és assimilable a un sistema que opera segons les premisses dels sistemes dissipatius. Al llarg de la història (geològica) terrestre, la forma com s'ha dissipat aquesta energia externa ha anat variant, segons un «equilibri» dibuixat per la mateixa topografia i per com aquesta ha anat canviant la relació entre la distribució i la forma tant dels continents com de la batimetria dels fons oceànics. És precisament aquesta canviant distribució de la «rugositat» terrestre, del balanç i la variable —a escala geològica— conformació en terres emergides i en masses oceàniques la que ha modulats, juntament amb la vida que s'hi ha desenvolupat, la distribució específica de tipologies climàtiques terrestres. (Menció a part, és clar, i en escales diferents es mereixerien els cicles de Milankovitch lligats a variacions orbitals, etc.)

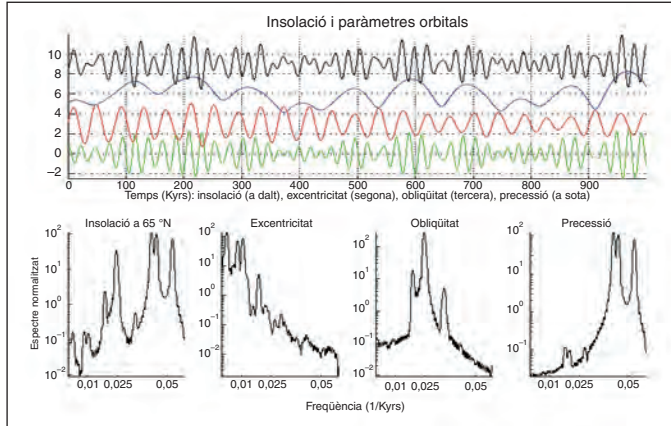


FIGURA 8. A dalt: evolució de la insolació a 65°N i dels paràmetres orbitals (excentricitat, blau; obliqüitat, vermell, i precessió, verd) per al darrer milió d'anys. A sota: distribució de la variància en els espectres de les variables mostrades al panel superior. Noteu com les diferents «finestres» per les quals es distribueix l'energia corresponen a les escales característiques dels paràmetres orbitals.

FONT: Redibuixat a partir de diverses fonts.

EL MODEL DEL PINBALL

Aquesta distribució de les *finestres* per on es dissipa l'energia preferentment també la veiem reflectida a escala espacial en observar el comportament mitjà de certes variables que indiquen processos, per exemple, d'acoblament clars o de forta interacció de subsistemes climàtics. La representació d'aquestes regions de transició energètica preferent —clarament definides en l'actual etapa geològica, però que han anat variant en el decurs de l'evolució planetària i en resposta als canvis en les distribucions de masses— pot ser aproximada, com també el seu funcionament, mitjançant un anàleg senzill: el model del *pinball*. Amb aquesta analogia ens podem imaginar que la

bola metàl·lica circula preferentment per unes zones de l'àrea de joc i que té una probabilitat superior de caure per uns forats que per uns altres, probabilitat que, d'altra banda, és funció de l'energia cinètica de la bola en ser llançada (figura 9a). Aquesta probabilitat varia d'una manera clarament no lineal en funció també de la inclinació del tauler de joc, situació que afavoreix que la bola vagi a caure sovint en zones concretes, per on la mateixa conformació del tauler ha definit unes àrees o uns forats preferents de transició. També s'afavoreix el trànsit entre comportaments lineals i no lineals, per exemple en incrementar la inclinació o accelerar el flux. La distribució climatològica en un any concret de centres actius és assimilable a aquest model simplificat del *pinball* (figura 9b). La major acceleració en els fluxos entre compartiments, fruit potser d'una major inclinació del taulell, fa pensar en la proximitat d'una zona de transició, a l'estil de quan es fa falta en una partida i apareix la forma «TILT» i la màquina temporalment no respon a les nostres indicacions. Potser també aleshores, portant l'analogia al límit, el paper de l'home per revertir la situació és transitòriament inútil. La constatació, per exemple, d'un pes més gran dels darrers anys en la variància total de la distribució de probabilitats o de canvis en la forma de les distribucions de les dades pot fer pensar d'una manera més clara en l'existència real d'aquests canvis, sense haver d'esperar les diverses dècades preceptives que calen per als canvis en les mitjanes.

Pensem, per exemple, en la situació geogràfica dels centres de pressió, que a escala planetària segueixen una conformació clarament determinada per la interacció del forçament extrínsec i la redistribució en l'espai i el temps d'aquesta energia segons l'estructura de la superfície terrestre i en funció de les retroaccions i els retards que es produeixen, per exemple en el trànsit entre els oceans i la resta de compartiments (figura 9c) i per la particular posició en els eixos de latitud i longi-

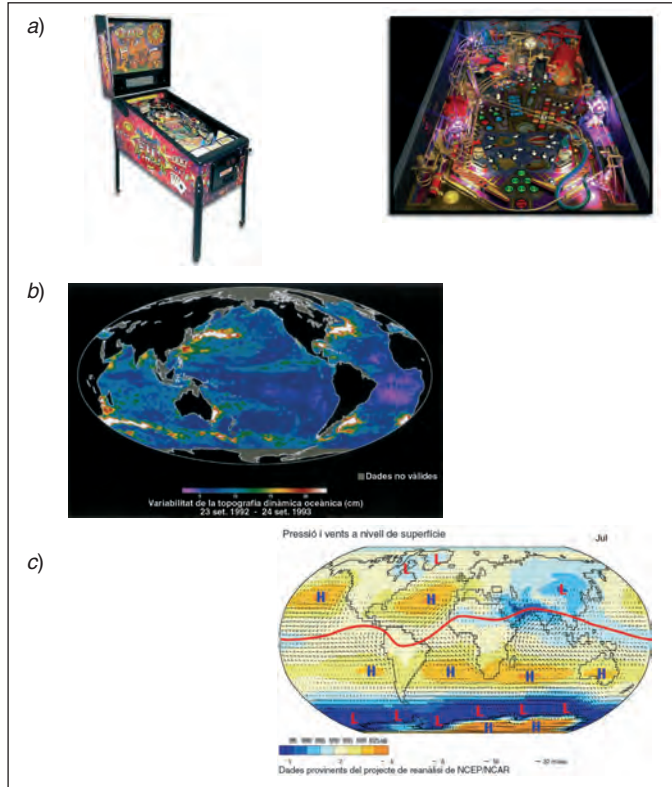


FIGURA 9. a) Model de pinball que ens permet un anàleg senzill dels fluxos d'energia entre sistemes. b) Canvis mitjans en la topografia dinàmica oceànica (TDO) entre final de 1992 i de 1993 (els colors reflecteixen una escala en cm). Es poden apreciar aquelles regions oceàniques on hi ha elevacions extraordinàries en aquestes mesures dinàmiques i que representarien les «finestres» (vegeu text). c) Climatologia de la pressió a nivell del mar (SLP) i dels vents en superfície en el més de juliol i per a l'interval 1959-1997 a partir de dades de les reanàlisis de NCEP/NCAR. Noteu la relació que hi ha entre la localització dels màxims en TDO i la ulterior localització en els centres d'altres pressions (els colors indiquen les diferències de pressió atmosfèrica; H, els sistemes d'altres pressions, i la mida de les fletxes, la velocitat dels vents).

FONT: Elaboració pròpia.

tud terrestres. Aquesta darrera localització determina la molt important contribució de la força de Coriolis a l'estructuració final, sobretot pel que fa a latituds tropicals i mitjanes.

És precisament d'acord amb el que resulta d'aquesta particular manera de distribuir l'energia que aquells canvis que s'introdueixen al sistema o els que es preveu que s'esdevinguin segueixen també una representació no lineal en aquest particular tauler de joc. És a dir, en un context de canvi climàtic, resulta evident que aquestes regions recullen d'una manera preferent les constatacions fefficients que el sistema climàtic en el seu conjunt està canviant i de com s'estan produint aquests canvis. Aquest procés de diagnosi sempre és molt més precís que el difícil i sovint no prou objectivable escrutini dels canvis en les tendències o els valors mitjans d'una variable global, com és ara la temperatura de tot el planeta. L'existència de controvèrsies inescotables sobre la correcta identificació de canvis en moments de primer ordre de determinades variables de gran interès públic, com ara la temperatura planetària, posa de manifest la validesa que pot tenir aquest tipus diferent d'aproximacions. Així, enfront de disputes de l'ordre de dècimes de grau, és molt més robust avaluar com ha canviat la variància de les nostres dades, indicador clar dels processos que la generen (Rodó *et al.*, 2002). També per exemple, els canvis en la forma de la distribució de probabilitats de la variable d'interès són mesures molt més robustes i que, a més, ens acosten al grau d'estabilitat de la dinàmica del sistema subjacent. I és precisament en aquestes regions geogràfiques diferenciades en l'eix d'escala d'espai/temps, veritables laboratoris de canvis planetaris (o regionals en alguns casos), on amb aproximacions diverses podem quantificar-ne els fluxos i on es posa de manifest la no-linealitat i la no-estacionarietat en aquestes relacions entre medis diferents. Un cas molt clar de la necessitat d'alternatives sorgeix, per exemple, de l'estudi de l'evolució de la temperatura planetària mitjana

en els darrers dos mil anys (figura 10) i de la seva forma semblant a la d'un estic d'hoquei. En un estudi seminal en aquest àmbit temàtic, Mann *et al.* (1998) van establir que l'evolució de les temperatures planetàries mostrava grans canvis en la seva tendència, coincidents amb l'acció antròpica i respecte al que havia estat l'evolució climàtica en els dos mil anys anteriors. Fins i tot es podia arribar a pensar que, com a resultat d'aquesta acció antròpica cap a l'escalfament, es revertia el que podria pensar-se que era un cert grau de refredament global anterior. Les reconstruccions mostren, doncs, una dràstica tendència ascendent en el darrer segle.

Molt recentment, l'estudi dels registres climàtics oceànics i terrestres, de baixa resolució en combinació amb els registres d'anells dels arbres i dels *boreholes* ha permès de constatar com les reconstruccions esmentades no havien recollit oscil·lacions de base de molt gran període i com, en conseqüència, el grau d'increment en les temperatures ocorregut en el darrer interval històric sembla, doncs, no ser tan important com es pensava. Sense que aquestes noves proves indiquin que hem de menystenir, ni de bon tros, el paper de l'home en els canvis planetaris que estem mesurant —paper ja fora de tot dubte—, aquests nous resultats permeten, no obstant això, posar-los en un context nou de canvis, que ja té en compte aquells de llarg període que semblen ocórrer d'una manera natural en el clima terrestre.

LA SIGNATURA DEL CLIMA SOBRE LES MALALTIES INFECCIOSES ALS TRÒPICS

El clima influeix sobre la dinàmica d'una diversitat d'epidèmies a través del seu impacte —sovint difós—, en «l'ambient» adjacent a la malaltia, i les que tenen un efecte més reconegut són majoritàriament malalties infeccioses d'àmbit tropical.

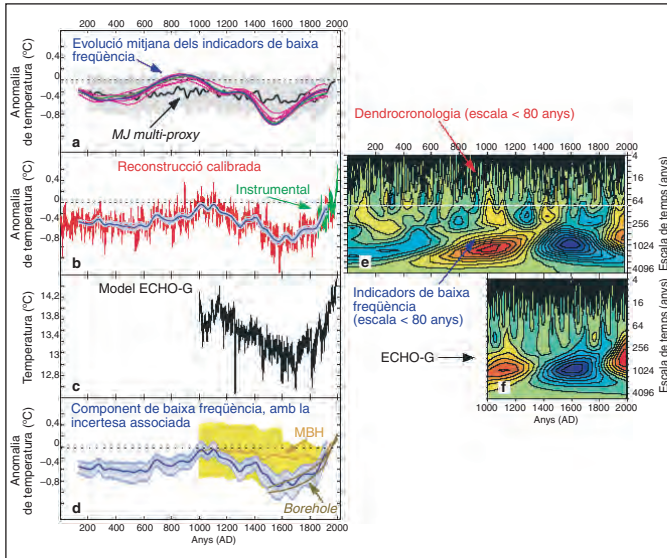


FIGURA 10. *Estimacions de les variacions en les temperatures a l'hemisferi nord.* a) *Reconstruccions prèries fetes per Mann i Jones (línia negra), amb l'envolupant corresponent a una incertesa associada de $\pm 2SD$. Les altres línies provenen d'allistats fets sobre altres reconstruccions.* b) *Reconstrucció amb multiproxies o multiindicadors feta per Moberg et al. (2005). S'assenyala també la reconstrucció a partir del registre instrumental.* c) *Model ECHO-G forçat que es va utilitzar en la simulació.* d) *Comparació de la baixa freqüència recollida en la nova reconstrucció (en blau) i dels boreholes amb la de Mann et al. (1998) (MBH en groc).* e) i f) *mostren els wavelets de b i c, respectivament.*

FONT: Moberg et al. (2005).

No obstant això, la dinàmica pròpia de la malaltia que es veu afectada per l'entorn modula i integra aquests forçats externs, i no és sempre igualment sensible. De vegades, per exemple, tenim condicions favorables a la propagació, quan hi ha un *pool* elevat d'individus susceptibles i la transmissibilitat, a més, és elevada, si tenim un forçat ambiental extern en la ma-

teixa direcció, es pot produir un nou brot epidèmic que sobrepassa els límits de la normalitat. El cas oposat també és cert i, així, no sempre que hi hagi condicions ambientals i climàtiques favorables tindrem un brot epidèmic, llevat que la malaltia estigui igualment preconditionada (per exemple, no hi haurà un nou brot amb un reduït nombre d'individus susceptibles a la població, com ocorre just després d'una gran epidèmia). El forçament per factors externs, en darrer terme, altera el medi del patogen o del receptor, o la interacció entre ambdós, per exemple facilitant-la encara que sigui temporalment. També els factors lligats no sols a paràmetres demogràfics, sinó aquells de l'àmbit més social o fins i tot econòmic, poden tenir una notable importància a l'hora d'ajudar a entendre com evolucionarà un brot després d'iniciat (figura 11).

En un principi, els estudis pioners van centrar-se en unes poques variables meteorològiques, per exemple, canvis en les temperatures i precipitacions, però, en fer això, es va obviar la dinàmica de processos de gran escala característics del sistema climàtic. En el cas del còlera al subcontinent indi, la cerca d'explicacions ambientals i climàtiques va començar fa ja més de cent anys, per part dels metges militars britànics a Bengala i d'altres províncies de l'antiga colònia britànica de l'Índia. La variació del còlera en aquestes àrees exhibia un ric ventall de patrons dinàmics diferents, tant a l'escala estacional com a l'interanual. També se solien donar, i encara ara es donen, variacions en el moment d'inici en epidèmies diferents, decalatge que podia diferir de l'ordre de mesos i fins i tot un any i també en l'amplitud que assolien aquestes epidèmies. Aquesta variabilitat interanual tan pronunciada ja va ser descrita en els primers registres que es tenen, amb uns períodes dominants que oscil·laven entre tres i sis anys, canviant en funció del lloc i del mètode d'anàlisi (Bellew, 1885; Russell, 1925-1926). Una notable modulació interanual es pot apreciar clarament també en una sèrie recent de còlera provinent



FIGURA 11. Grup de persones rentant-se a Dacca, Bangladesh.

d'un monitoratge efectuat a Bangladesh (Pascual *et al.*, 2000; Rodó *et al.*, 2002). No obstant això, no hi ha encara una explicació clara sobre l'origen dels patrons estacionals (i en alguns casos també sobre els interanuals) a zones endèmiques (Shears, 1994), patrons que poden variar en funció de la localització geogràfica. El desconeixement real dels factors responsables d'aquestes variacions a escales diferents necessàriament obliga que el model que cal ajustar per tal d'explicar-ne l'evolució tingui tan poques constriccions com sigui possible. Així, les aproximacions, per exemple en el cas del còlera, han de possibilitar copsar la no-linealitat de la dinàmica epidèmica (especialment en la transmissió) i la possibilitat que hi hagi llindars ambientals. Típicament la transmissió entre els *pools* de susceptibles i d'infectats en una població és densodependent i aquesta no-linealitat resultant esdevé un tret caracterís-

tic també en la dinàmica d'altres malalties (Finkenstadt *et al.*, 1998; Ellner *et al.*, 1998)

Una aproximació recentment utilitzada, a la frontera entre els sistemes dinàmics i l'anàlisi no lineal de sèries temporals, va consistir a utilitzar un model de sèries temporals que era no lineal, no paramètric i autoregressiu (Ellner *et al.*, 1998). Va ser utilitzada primerament per a modelar malalties infantils i més recentment, també, com en el cas del còlera, per a malalties amb un forçament extern (Pascual *et al.*, 2000). Així, els models emprats d'aquest tipus expliquen entre un 70 % i un 80 % de la variabilitat total amb un nombre reduït de variables independents. La formulació utilitzada consisteix a modelar la dinàmica d'una variable d'interès, Y_t , per exemple, la incidència o mortalitat de còlera, amb un model no lineal i autoregressiu del tipus següent:

244

$$Y_{t+T_p} = f(Y_t, Y_{t-\tau}, Y_{t-2\tau}, \dots, Y_{t-(d-1)\tau}, E_{t-\tau_f}) + e_t$$

on T_p és un temps de predicció, f és una funció no lineal, τ és un lag, d és el nombre de coordenades de retard, $E_{t-\tau_f}$ és una covariable ambiental a desfasament τ_f i e_t són perturbacions aleatòries de mitjana nul·la. Així, com a trets característics cal destacar que la funció f no està especificada *a priori*, sinó que la forma de la funció és definida per les dades mateixes (tècnicament és no paramètrica), aspecte aquest important quan hi ha poca informació de base sobre el procés a estudiar. En segon lloc, el model utilitza variables de retard, que són anàlogues a aquells factors que no coneixem. Aquesta aproximació sorgeix de la teoria de sistemes dinàmics (es coneix com a reconstrucció de l'atractor [Takens, 1981]) i de quan no es coneixen (i per tant tampoc no s'han mesurat), totes les variables que interactuen en un sistema. Així, el teorema de Takens estableix que podem utilitzar coordenades temporals desfasades com a variables anàlogues d'aquelles variables d'un siste-

ma que no controlem. I, finalment, el model incorpora un terme que possibilita el forçament des d'una variable externa, $E_{t-\tau_f}$, durant un interval determinat —seleccionat *a posteriori* partint dels successius ajustos a les dades mateixes. Aquesta variable externa, o vector de variables externes, està definida de manera que l'estat del sistema en cada moment no altera el de la variable o les variables externes. Aquesta inclusió d'una variable addicional en l'equació anterior es basa en una extensió feta per Casdagli (1992) del teorema de Takens.

La implementació d'aquesta metodologia es pot fer seguitament, mitjançant tècniques diferents, que inclouen predictors locals, ajustos polinomials, regressió difusa i també xarxes neurals.

L'aplicació de xarxes neurals amb la tècnica de *feed-forward* ha permès de reconstruir la dinàmica recent del còlera a Bangladesh i poder entendre, així, els papers relatius que tenen els factors intrínsecs respecte dels extrínsecs, ja que l'aproximació s'ha fet testant a la vegada la significació de l'addició d'un d'ells respecte de l'altre i a l'inrevés. Aquesta nova aproximació permet constatar que, per modelar la dinàmica d'aquesta malaltia correctament, ens cal tant incorporar la dinàmica extrínseca, a través de la modulació climàtica interanual (l'ENSO, en aquest cas, com a modulador interanual principal a escala planetària), com incorporar la densodependència dels valors de la població immediatament anteriors (com a mínim de dos mesos abans). El resultat de l'aproximació es mostra a la figura 12, on s'explica un 67 % de la variància total i hi ha un guany en la predictibilitat de prop de dos mesos.

El procés d'ajust d'aquesta equació també implica l'elecció dels paràmetres que controlen la complexitat del model (per exemple, la dimensió envolupant d o el nombre de nusos o neurones k). Aleshores, l'elecció del millor model s'ha de basar en un criteri de validació creuada que cerca el millor mo-

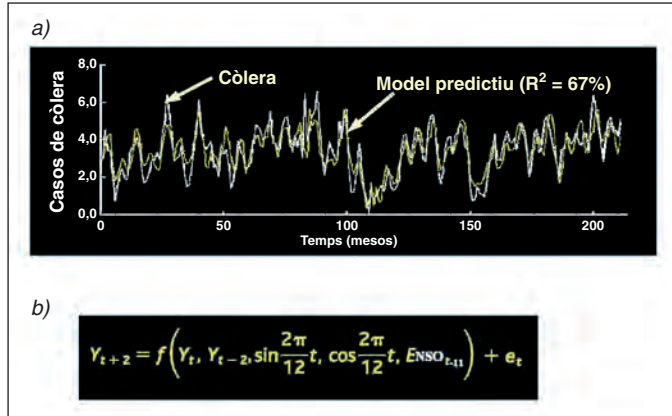


FIGURA 12. a) Incidència de casos de còlera a Dacca, Bangladesh entre 1980 i 2000 (en blanc). La línia groga mostra l'ajust obtingut amb el model explicat al text, que permet una anticipació de dos mesos per al nivell de variabilitat explicat. b) Equació que mostra els termes seleccionats per al model, on destaquen les dues coordenades poblacionals de retard, el «relojete estacional» i el terme extrínsec, en aquest cas l'ENSO, onze mesos abans.

FONT: Pascual *et al.* (2000).

del en termes de precisió, però alhora també penalitza la sobredimensió excessiva quant al nombre de paràmetres, en relació amb el nombre total de punts de la sèrie.

Així doncs, els resultats mostrats més amunt per al còlera mostren que hi ha una relació no lineal entre l'ENSO —el modulador climàtic de més abast espacial que existeix—, i el còlera, i també cal conèixer els valors previs corresponents al nombre de susceptibles per a la malaltia en qüestió (Pascual *et al.*, 2000). Aquest fet ressalta la importància d'entendre el joc que es dona entre el que aporten els factors externs i els interns en la regulació de la dinàmica global d'una malaltia d'aquest tipus.

Un pas endavant en aquest camí per a acotar la malal-

tia consisteix a fornir un model dinàmic que ens permeti anticipar-nos a la seva incidència partint de paràmetres mesurables propis d'una dinàmica epidèmica. Així, una manera simple de modelar una malaltia que presenta immunitat (parcial) és mitjançant un model SIRS per compartiments, separant la població en classes segons que els individus siguin «susceptibles», «infectats» o «recuperats» o immunes, amb la posterior pèrdua de la immunitat i el retorn a la classe dels susceptibles o la desaparició de la població. (La versió escolàstica d'aquest model mostra oscil·lacions sostingudes en la incidència, amb un període que és funció de la història natural de la mateixa infecció i de la taxa a la qual entren els susceptibles a la població, però no de la mida d'aquesta.) Un model més senzill, el SIS, no defineix un compartiment d'individus immunes i no acostuma a provocar oscil·lacions en la seva incidència, ja que aquestes sorgeixen quan hi ha períodes d'immunitat o de morts, que extreuen els individus de la població.

Un paràmetre molt important a l'hora de definir un bon model epidèmic és el valor del nombre reproductiu bàsic d'una infecció (R_0), que és el nombre mitjà d'infeccions secundàries causades per un individu infectat en una població formada completament per susceptibles. Aquest és un paràmetre clau per a determinar correctament la propagació de la malaltia i la seva persistència. És interessant, d'altra banda, en el cas del forçament climàtic, poder diferenciar entre la sincronització espacial que es produeix en les poblacions d'infectats a causa purament del contacte entre individus, d'aquella altra on la font de sincronització és externa i, per tant, funció de l'ambient. En tots dos casos es produeix una sincronització tant de la fase com del període d'oscil·lació de la malaltia. Aquesta sincronització es pot produir, també, un cop traspassat un llindar —ambiental o lligat a la població— en el valor d'una variable reguladora. Per damunt d'aquest llindar, per exemple facilitat gràcies al forçat extrínsec, els brots epidèmics podrien

produir-se de manera aleatòria, ja que a tot arreu seria «igualment» probable que aquest tingués lloc o, en canvi, podria succeir que, tot i existir aquesta facilitació externa, l'ambient proper a la malaltia «organitzés» els brots segons estructures de contagi fàcilment identificables.

BIBLIOGRAFIA

BELLEW, H. W. (1885). *The history of cholera in India from 1862-1881*. Londres: Trübner.

BOUMA, M.; DYE, C. (1997). «Cycles of malaria associated with El Niño in Venezuela». *JAMA*, 278, p. 1772-1774.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. (1970). *Time series analysis, forecasting and control*. Boca Raton, Fla.: Holden-Day.

CASH, B. A.; RODÓ, X.; KINTER III, J. L. (2008). «Links between tropical Pacific SST and the regional climate of Bangladesh: role of the eastern and central tropical Pacific». *J. Clim.* [En revisió].

CASDAGLI, M. (1992). «A dynamical systems approach to modeling input-output systems». A: CASDAGLI, M.; EUBANK, S. [ed.]. *Nonlinear modeling and forecasting*. Nova York: Addison-Wesley.

DIFFENBAUGH, N. S.; SNYDER, M. A.; SLOAN, L. C. (2004). *Could CO₂-induced land-cover feedbacks alter near-shore upwelling regimes?* *PNAS*, 101 (1), p. 27-32.

ELLNER, S. P.; BAILEY, B. A.; BOBASHEV, G. V.; GALLANT, A. R.; GRENFELL, B. T.; NYCHKA, D. W. (1998). «Noise and nonlinearity in measles epidemics: combining mechanistic and statistical approaches to population modeling». *Am. Nat.*, 151 (5), p. 425-440.

EPICA COMMUNITY MEMBERS (2004). «Eight glacial cycles from an Antarctic ice core». *Nature*, 429, p. 623-628.

FINKENSTADT, B.; KEELING, M.; GRENFELL, B. T. (1998). «Pat-

- terns of density dependence in measles dynamics». *Proc. Roy. Soc. Lond.*, B265, p. 753-762.
- LORENZ, E. N. (1963). «Deterministic nonperiodic flow». *J. Atmos. Sci.*, 20, p. 130-141.
- MANN, M.; BRADLEY, R. S.; HUGHES, M. K. (1998). «Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries». *Nature*, 392, p. 779-787.
- MOBERG, A.; SÓNECHKLN, D. M.; HOLMGREN, K.; DATSENKO, N.; KARLEN, W. (2005). «Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low- and high-resolution proxy data». *Nature*, 433, p. 613-617.
- PASCUAL, M.; RODÓ, X.; ELLNER, S.; COLWELL, R.; BOUMA, M. (2000). «Cholera dynamics and El Niño-Southern Oscillation». *Science*, 289, p. 1766-1769.
- RODÓ, X. (2001). «Reversal of three global atmospheric fields linking changes in SST anomalies in the Pacific, Atlantic and Indian oceans at tropical latitudes and midlatitudes». *Clim. Dyn.*, 18, p. 203-217.
- RODÓ, X.; RODRÍGUEZ-ARIAS, M. A. (2004). «Detecting transitory processes in the climate system with the Scale-Dependent Correlation (SDC) analysis: An application to remote El Niño forcing». *Climate Dynamics*, 27, p. 441-458.
- RODÓ, X.; PASCUAL, M.; FUCHS, G.; FARUQUE, A. S. G. (2002). «ENSO and cholera: A nonstationarity link related to climate change?» *PNAS*, 99 (20), p. 12901- 12906.
- RUELLE, D.; TAKENS, F. (1971). «On the nature of turbulence». *Commun. Math. Phys.*, 20, p. 167-192. [Correcció, *Commun. Math. Phys.*, 23 (1971), p. 343-344]
- RUSSELL, A. J. H. (1925-1926). «The epidemiology of cholera (I, II and III)». *The Indian Journal of Medical Research*, XIII, p. 427-439 i 637-691.
- (1926-1927). «The epidemiology of cholera (I, II and III)». *The Indian Journal of Medical Research*, XIV, p. 1-26.

- SHEARS (1994). «Cholera». *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 88 (2), p. 109-122.
- STOCKER, T. F. (2003). «Changes in the global carbon cycle and ocean circulation on the millennial time scale». A: RODÓ, X.; COMIN, F. A. [ed.]. *Global climate: current research and uncertainties in the climate system*. Berlín: Springer-Verlag, p. 129-148.
- TAKENS, F. (1981). «Detecting strange attractors in turbulence». A: RAND, D.; YOUNG, L. S. [ed.]. *Dynamical systems and turbulence*. Vol. 898: *Lecture notes in mathematics*. Nova York: Springer-Verlag, p. 366-381.
- WHO (2004). *Using climate to predict infectious disease outbreaks: A review*. Ginebra. 55 p.

SOCIETAT CATALANA

D'ECONOMIA

LA CRIMINALITZACIÓ DE L'AIRE:

UN CAS A TARRAGONA,

A CÀRREC DE

JOSEP C. VERGÉS,

DE LA SOCIETAT CATALANA

D'ECONOMIA

INTRODUCCIÓ

La nova fiscalia del medi ambient té poders per perseguir el delicte ecològic. Ignorant la tradició pactista anglesa, i també d'arrels catalanes, d'aconseguir millores amb el diàleg, l'intent espanyol de criminalitzar la indústria s'ha demostrat poc reeixit. El cas d'Afepasa a Tarragona, on l'autor va ser cridat com a testimoni expert, demostra que un Estat de dret, a diferència de l'aigua, difícilment pot assignar culpes en un medi tan obert i dispers com és l'aire.

DELICTE ECOLÒGIC: PÚBLIC O PRIVAT?

252

El delicte ecològic està penalitzat des de 1983.¹ El cas més sonat ha estat la condemna a quatre anys de presó de l'empresari Puigneró, la mateixa petició del fiscal en el cas de Tarragona. *El País* va demanar-me un article *a favor* de Puigneró. Jo no el podia defensar per fer abocaments il·legals, però sí que assenyalava que el delicte ecològic només es persegueix als empresaris, i mai als funcionaris públics. Com deia *El País*:² «Josep Vergés se pregunta por qué no se persigue a la Administración que es la primera delincuente ecológica. Basa su tesis en una auditoría ambiental realizada para la Universidad Autónoma de Barcelona en la que se explica que esta institución manipula 27 toneladas de materiales peligrosos al año, de las que tres van a la basura sin control.» En el meu article preguntava si és raonable el delicte ecològic a Espanya, pregunta que vull contestar en aquesta exposició:³ «Hay que decir que el primer delincuente ecológico en España es el Esta-

1. Llei 8/1983, de 25 de juny.

2. *El País* (1997).

3. Vergés (1997b).

do, que no cumple ninguna de las normas europeas y concretamente de depuración que aquí juzgamos. La Unión Europea acaba de condenar al difunto gobierno socialista por ocultar la situación del agua en España.»

Tot seguit explicava l'auditoria ambiental que acabava de realitzar de la Universitat Autònoma, la primera mai feta d'un campus:⁴ «La primera afirmación que tuve que oír fue: “Si sale algo negativo, no la publicaremos.” Suprimir la información es reconocer que las cosas no se hacen bien. El responsable administrativo había declarado, por ejemplo, que cumplía formalmente la recogida de aceites usados. La empresa pública de la Generalitat, la única autorizada para su recogida, reconocía que existía un contrato pero que jamás había recogido nada de la universidad. “Parezco un mentiroso” decía nuestro funcionario. Con estas auditorías en la mano, sería fácil iniciar cargos de delito ecológico. No extraña que los funcionarios las traten como verdaderos secretos de Estado. El científico nuclear Aleix Vidal-Quadras, antes de fracasar en su malévolo programa de partir el átomo de la convivencia catalana, no tenía *regularizados* los materiales radioactivos. Traducido, los tiraba a la basura. La empresa ecologista Cepa, que gestiona la basura selectiva denuncia: “De un total de 880 kilos de basura estudiadas, 154 corresponden a residuos potencialmente problemáticos, hospitalarios, y de laboratorio —guantes, envases de cultivos, placas, pipetas, contenedores químicos, ratas de laboratorio y tetrabriks de contenido desconocido.” Uno de cada cinco kilos, tres toneladas al año sin ningún control.» Feia un prec per deixar la criminalització espanyolista tan tremenda: «La Universidad Autónoma de Barcelona no es la peor. Es la primera que intenta hacer algo. Todos encontraríamos injusto que el fiscal ecologista persiguiera a nuestro Doctor Fausto de la fisión,

4. L'article cita l'estudi de Vergés i Pasqual (1996).

Alex Vidal-Quadras. Claro que podríamos argumentar aquí que sería una sentencia *ejemplar*. La Unión Europea ha abandonado la persecución criminal porque no sirve de nada. La Inquisición ambiental es injusta. Un empresario va a la cárcel pero ¿y los demás? La justicia no es ejemplar si sólo sirve para perseguir. Ver al acusado togado Mario Conde con su traje a rayas es un sano ejercicio de democracia. La mayoría de banqueros son honestos y por esto se juzga a los que no son. Es la diferencia ente justicia e Inquisición.»

El País també publicava un article de primera pàgina sobre la meua auditoria ambiental:⁵ «La UAB no gestiona correctament els seus residus tòxics i perillosos. Les deficiències ambientals de la UAB afecten també, a tenor de esta eco-auditoria —la primera que se realitza en una universitat espanyola— a àmbits com la gestió de l'aigua i de l'energia i la política de transports.» La resposta del rectorat que m'havia encarregat la feina no va ser arreglar els greus problemes ambientals detectats o disciplinar els responsables, sinó intentar silenciar judicialment el meu treball. Però la justícia desestimava l'intent d'impedir la divulgació de l'auditoria ambiental per dret a l'honor i a la intimitat.⁶ La Universitat Autònoma de Barcelona argumentava que jo havia facilitat «una informació a todas luces inveraz, defraudando el secreto profesional y revelando datos privados. Comporta no sólo una severa crítica, por demás inveraz, de la política ambiental sino la imputación de la comisión de unos hechos que pueden llegar a constituir delito medio ambiental.» Però la jutgessa Isabel Giménez ho rebutja: «La Constitución española protege el derecho a expresar y difundir libremente los pensamientos, ideas y opiniones, garantía que reviste una especial trascendencia, ya que al ser una condición previa y necesaria para el

5. Bustos (1997).

6. Giménez García (1999).

ejercicio de otros derechos inherentes al funcionamiento del sistema democrático, se convierte a su vez en uno de los pilares de la sociedad libre y democrática. Los datos están documentados y no son gratuitos. El tema tratado tuvo y quizás seguirá tendiendo una especial trascendencia pública por la naturaleza de los hechos. Relata el hecho que el Estado es el primero en incumplir con las normas europeas. En la información se vierten hechos ciertos y acreditados. En modo alguno hay intromisión ilegítima en el derecho del honor, recordando que nos hallamos ante un órgano de carácter público y que es un tema de rabiosa actualidad que afecta a la salud de todos nosotros. Debemos entender que la información que fue facilitada tenía carácter público.» El rector Carles Solà va acceptar la sentència condemnatòria i em va pagar les costes. L'auditoria ambiental no s'ha publicat ni se n'ha fet cap més.

DELICTE ECOLÒGIC A TARRAGONA

El fiscal de medi ambient ha processat Azufrera y Fertilizantes Pallarès, SA (Afelesa) per delictes contra el medi ambient i risc. El judici se celebrava a l'Audiència de Tarragona contra els propietaris, els tres germans Pallarès, i el director de la planta, Miquel Estruel, per als quals demanava pena de quatre anys de presó, així com el tancament provisional de la fàbrica. L'acusació particular, l'Associació de Veïns Residencial Palau Port, volia sis anys. Jo vaig participar com a perit de la defensa realitzant un estudi d'impacte ambiental.⁷

La planta de sublimat de sofre funciona les vint-i-quatre hores del dia, 365 dies l'any, amb quatre forns i xemeneia de divuit metres d'alçària. Dos cops a la setmana realitza una ventilació que dura vuit hores tot produint SO₂ amb emissions

7. Vergés (1997a).

superiors als límits legals establerts. El fiscal admet que durant el funcionament normal de la fàbrica no supera els límits, però les mesures protectores, diu, són totalment insuficients i l'empresa no compleix la seva obligació d'autocontrol de les seves emissions de contaminants aeris. A més, acusa que els nivells representen un perill greu per a la salut de les persones i que el SO_2 és una substància altament contaminant que comporta un deteriorament de la qualitat de l'aire que es respira, i assenyala nombroses molèsties ocasionades als veïns.

En la seva defensa, l'advocat Carles Bosch explica que l'acusació del fiscal es basa en les mesures oficials de l'Institut Català d'Inspecció i Control Tècnic (ICICT) que sempre ha controlat les emissions. Precisament en conèixer Afepasa que la càrrega més important de SO_2 es produïa durant l'obertura de cambres que realitza dos cops per setmana, sol·licita a l'ICICT una mesura per hores per mirar de corregir aquestes puntes de ventilació. Aquesta mesura horària és la que fa servir el fiscal com a acusació. Però en cap moment no s'han sobrepassat els límits de les emissions permeses. El mateix fiscal parla de ventilació, que diferencia d'emissió. La ventilació ja està considerada en la legislació, com recorden el mateix ICICT i la fiscalia. Quant als danys a persones, només hi ha constància de tres persones, amb antecedents de bronquitis i asma, que hagin demanat assistència, però no coincideix amb el període d'obertura de cambres. L'empresa sempre s'ha preocupat pel medi i el mateix Ajuntament de Tarragona li atorgava un diploma «per una Tarragona més blava i més verda». El director de la planta té la insígnia de plata per adherir-se al Pacte de Progrés amb altres municipis amb empreses químiques de l'entorn.

Tota la premsa donava per fet que els empresaris serien condemnats. L'Ajuntament de Tarragona n'era el promotor principal, així com les associacions de veïns de la zona, que quedava al mig de la ciutat el que eren camps el 1924,

quan es va fundar la fàbrica. No entraré en la política local, però sembla que el motiu principal de la denúncia al fiscal de medi ambient era obligar a marxar l'empresa sense necessitat municipal d'indemnitzar. He de dir que els empresaris estaven molt espantats, però, com veurem, els delictes cal demostrar-los i els judicis en un Estat de dret no els celebren ni la premsa, ni els ajuntaments, ni les parts interessades a revalorar les seves finques.

AVALUACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL DE L'EMISSIÓ DE SO₂

El control de la contaminació ambiental a Espanya es vol realitzar simultàniament a l'origen (*emissió*) i al lloc de possibles danys a les persones i éssers vius en general (*immissió*). Aquesta divisió pretén efectuar unes anàlisis fidedignes sobre les fonts de contaminació, d'una banda, i valorar el risc ecològic, de l'altra. Però en realitat separa causa i efecte, perquè una emissió determinada no necessàriament produeix un dany, que a sobre s'està mesurant per un altre paràmetre, la immissió. Perquè hi hagi dany de l'emissió ha de poder observar-se simultàniament un augment de nivells d'immissió per sobre dels màxims permesos. Altres observacions complementàries serien les entrades en urgències dels hospitals i els augments de morbiditat i mortalitat, que confirmarien l'episodi. Aquest és el cas del famós *smog* de Londres de 1952. L'augment observat de morbiditat i mortalitat induïren el Clean Air Act, que introdueix el control modern del SO₂ i partícules, amb una espectacular millora de la qualitat de l'aire.⁸

El Reial decret de 1985 sobre normes de qualitat de l'aire reconeix, però, que ha estat un error separar emissió i immissió: «Hubiese sido deseable el tratamiento conjunto de

8. «Los daños causados a personas», a Vergés (1977), p. 59-70.

los niveles de emisión e inmisión.»⁹ Deu anys abans, el Decret de contaminació atmosfèrica de 1975 indicava que hi ha dos vessants del mateix problema de la contaminació atmosfèrica: el de les immissions (qualitat de l'aire) i el de les emissions de contaminants procedents de l'exercici de certes activitats.¹⁰ Defineix *contaminació sistemàtica* com «emisión de contaminantes en forma continua o intermitente y, siempre que existan emisiones esporádicas con una frecuencia media superior a doce veces al año, con una duración individual superior a una hora o con cualquier frecuencia, cuando la duración global de las emisiones sea superior al 5 % del tiempo de funcionamiento de la planta».¹¹

Nivell d'emissió es defineix com «la concentración máxima admisible de cada tipo de contaminante en los vertidos a la atmósfera sistemáticamente en un periodo determinado».¹² Una *falta greu* és l'emissió de contaminants per les activitats industrials superior «a tres veces los niveles de emisión fijados en la autorización de funcionamiento durante un periodo máximo de media hora por día. En las zonas declaradas de atmósfera contaminada se admitirá rebajar en dos veces los niveles de emisión admisibles durante un periodo máximo de media hora por día».¹³

La mesura de la contaminació ha d'efectuar-se per valors mitjans sobre un període de tot el dia, diu el Reial decret, que adapta la normativa espanyola a l'europea sobre la qualitat de l'aire referent a la contaminació per diòxid de sofre i partícules. Especifica que s'han de calcular valors mitjans sobre una mesura de vint-i-quatre hores: «La determinación de dichas concentraciones se hará para el dióxido de azufre y

9. Preàmbul, BOE (1985).

10. Preàmbul, BOE (1975).

11. Article 41.2, BOE (1975).

12. Article 44, BOE (1975).

13. Articles 83a i c del BOE (1975).

partículas en suspensión separadamente. El cálculo de las medias aritméticas, medianas y percentiles se realizará a partir de los valores medios de las concentraciones referidas a periodos de medición de 24 horas.»¹⁴

La legislació espanyola de protecció de l'ambient atmosfèric sempre parla de concentració per períodes. Utilitza els valors d'immissió diaris per a concentracions de contrast, i els valors d'immissió individualitzats per a contaminants i període d'exposició, a partir dels quals determina les situacions ordinàries, les zones d'atmosfera contaminada i les d'emergència.¹⁵ Cal ressaltar que les centrals tèrmiques de carbó poden emetre tres cops el màxim durant la posada en marxa: «Durante el periodo de encendido (estimado como máximo en tres horas) no se sobrepasará el valor de 3 en la Escala de Ringelmann, obtenido como media de cuatro determinaciones escalonadas a partir de quince minutos del comienzo del mismo.»¹⁶ Destaquem, també, que l'emissió de SO₂ permesa és més del doble que la que aquí discutirem, 9.000 mg/Nm³. En siderúrgia s'admet un excés d'emissió «para periodos breves que no sobrepasen un máximo de 200 horas al año.»¹⁷ Així mateix s'assenyalen períodes d'emissió, juntament amb qualitats, en cadmi i pasta al sulfat o *kraft*.¹⁸ En aquest darrer cas s'indica que el valor mitjà «no debe rebasarse durante más del 10 % del tiempo de funcionamiento normal» en instal·lacions existents i la meitat per a les noves.

Els valors mitjans també s'exigeixen en l'Ordre sobre prevenció i correcció de la contaminació per a la *contaminació de fons*: «Hay que expresarla por el valor medio de varias determinaciones de la concentración de los contaminantes de

14. Article 1.3, BOE (1992).

15. Annex I, 1.1 i 1.2, BOE (1975).

16. Annex IV, 1.1, BOE (1975).

17. Annex IV, 4.1, BOE (1975).

18. Annex IV, 23 i 24.2, BOE (1975).

la atmósfera a lo largo de un periodo de tiempo establecido.»¹⁹ A l'anàlisi de l'emissió: «Los niveles de emisión (media de una hora) medidos a lo largo de ocho horas —tres medidas como mínimo— no rebasarán los máximos admisibles, si bien se admitirá como tolerancia de medición que pudieran superarse estos niveles en el 25 % de los casos en una cuantía que no exceda del 40 %. De rebasarse esta tolerancia, el periodo de medición se prolongará durante una semana, admitiéndose como tolerancia global de este periodo que puedan superarse los niveles máximos admisibles en el 6 % de los casos, en una cuantía que no exceda del 25 %. Estas tolerancias se entienden sin perjuicio de que en ningún momento los niveles de inmisión en la zona de influencia del foco emisor superen los valores higiénicamente admisibles.»²⁰ També indica el procés més estricte que cal seguir en el cas d'una denúncia: «En caso de inspección por denuncia, los niveles de emisión (media de una hora) medidos a lo largo de quince días —tres medidas diarias como mínimo.»²¹

El temps sempre és fonamental per al *nivell d'emissió*, que és «la calidad de un contaminante emitido a la atmósfera por un foco fijo o móvil, medido en una unidad de tiempo». El nivell màxim admissible d'emissió «establece un límite para la emisión instantánea y otra para los valores medios en diferentes intervalos de tiempo». El *nivell de referència* són «los valores de inmisión individualizados por contaminante y periodo de exposición».²² Les noves normes de qualitat del Reial decret de 1985 també es basaven en el temps de mesura: «Se entenderá por valores límite las concentraciones de dióxido de azufre o de partículas en suspensión referidos a los periodos y condiciones fijados mediante el cálculo de la mediana

19. Annex I, BOE (1976).

20. Article 21.2, BOE (1976).

21. Article 22.3, BOE (1976).

22. Annex I, BOE (1976).

de los valores medios diarios registrados.»²³ Igualment els valors de referència es determinen per les concentracions mitjanes diàries.²⁴

Queda clar, doncs, que l'avaluació de l'impacte ambiental a l'atmosfera es realitza a l'Estat espanyol amb la separació artificial d'emissió i immissió, però els danys només poden valorar-se i demostrar-se amb la immissió, complementada amb l'efecte sobre la morbiditat i la mortalitat. Tota la valoració es basa sempre en un període de temps, mai en un sol valor observat. A més, la legislació exigeix un mínim de tres observacions seguides al llarg de vuit hores i, en cas de trobar que s'han superat el màxim i els límits de tolerància, cal seguir mesurant durant una setmana (vint-i-una observacions com a mínim). Quan hi ha una denúncia, com en el nostre cas, es mesura durant quinze dies (un total de quaranta-dues observacions). L'impacte ambiental ha de tenir una sòlida base estadística amb observacions contínues i controls addicionals.

261

EMISSIÓ NORMALITZADA DE SO₂ A AFEPASA

El conseller de medi ambient Pere Macias declarava al Parlament de Catalunya: «Pel que fa a les emissions ordinàries de l'activitat de l'empresa Afepasa, el seu control és suficient i fins ara mostra el compliment dels límits legals vigents. Cal assenyalar, també, que les emissions ocasionades per causes accidentals poden presentar incidències notables com a conseqüència de la situació de les instal·lacions industrials a prop del nucli urbà.»²⁵ La taula 1 mostra les inspeccions pe-

23. Article 2, BOE (1985).

24. Article 4.2, BOE (1985).

25. Macias i Arau (1997a).

riòdiques oficials realitzades per l'ICICT. Dos dels valors superen els límits de 4.300 mg/Nm^3 de SO_2 fixats en la legislació per a activitats industrials diverses.²⁶ Són observacions puntuals, com indiquen els inspectors en explicar que es tracta d'una ventilació i no d'una emissió. I a més no s'han realitzat les observacions sistemàtiques que marca la llei, tres en un termini de vuit hores cada dia durant una setmana, o dues en cas de denúncia. Els valors de la taula són molt variats en la seva qualitat, per tal com cobreixen observacions que van d'una hora en el cas dels valors d'excés a vint-i-tres hores en els valors normals, que són la mitjana de diverses observacions com exigeix la llei. Centrem-nos en els anys que excedeixen el màxim, amb aquest avís previ que no són valors estadísticament correctes, perquè no compleixen la legislació en ser puntuals i perquè no són fruit d'observacions periòdiques.

TAULA 1. *Emissió de SO_2 per obertura de cambra*

<i>Inspecció</i>	<i>mg/Nm³</i>	<i>Interval mostra</i>
1989 ¹	2.766	23 h
1993 ²	13.385	1 h
1995 ³	7.665	1 h
1996 ⁴	2.752	4 h ⁵

1. 13 i 14 juny.
2. 23 i 28 juny i 10 novembre.
3. 7 i 19 abril.
4. 1 d'agost.
5. Mitjana d'observacions cada dos minuts de 23 h 48 m a 3 h 44 m.

FONT: ICICT.

Els inspectors de l'ICICT reflecteixen en les seves actes que les ventilacions són episodis ocasionals que en cap cas no

26. Annex IV, 27, BOE (1975).

fan que la mitjana de vint-i-quatre hores superi el màxim autoritzat. L'informe de 1989 que dona el nivell mitjà d'emissions de SO₂ en un interval de vint-i-tres hores destaca que «l'emissió més gran de SO₂ es va realitzar aproximadament durant 30 minuts.»²⁷ El 1993, en canvi, desglossa el funcionament normal del procés d'obertura de cambres, assenyalant-ne el caràcter ocasional: «La càrrega de SO₂ emesa per aquesta xemeneia correspon a les ventilacions generades per l'obertura controlada de les cambres de sublimació que s'efectua en el període comprès entre les 23 h i les 7 h i únicament dos cops a la setmana. Malgrat que la concentració detectada de SO₂ durant l'obertura de cambres és elevada, és fruit de ventilacions ocorregudes a les cambres de sublimació, no creient-se que l'emissió sigui gaire significativa. A més, el mostratge s'efectua durant la primera hora d'obertura de les cambres, moment en el qual s'evacua per xemeneia la major quantitat de SO₂. Per tant cal suposar que la concentració detectada correspondrà al cas més advers d'emissió de SO₂ per aquesta xemeneia.»²⁸ La valoració de 1995 torna a assenyalat que l'obertura de cambres es realitza durant vuit hores dos cops per setmana i que, per tant, l'emissió de SO₂ «és més significativa durant la primera hora d'emissió, moment en el qual es va procedir a la determinació de la càrrega contaminant existent. A partir de la primera hora d'obertura, la quantitat de SO₂ emesa disminueix de mica en mica fins a valors insignificants. És per això que els resultats obtinguts de SO₂ a la xemeneia d'evacuació de gasos de sublimat de sofre han de ser considerats com a valors punta, donat que, després de la primera hora d'evacuació, la concentració de SO₂ es veu disminuïda considerablement».²⁹

27. ICICT (1989).

28. ICICT (1993).

29. ICICT (1995).

El mateix Departament de Medi Ambient de la Generalitat explica que els nivells d'emissió de la inspecció de 1995 «no superen els màxims legislatos en cap cas, excepte al final del procés en què hi ha l'obertura de les cambres de sublimat i es ventila a l'atmosfera el SO_2 que no ha passat a l'estat sòlid (sofre). Per tant, tractant-se d'una ventilació, no seria una emissió contínua i tindria cabals molt variables».³⁰ Tot seguit, el Departament de Medi Ambient fa una operació matemàtica consistent a calcular la mitjana ponderada de les emissions al llarg de l'any i obté una mitjana de 420 mg/Nm^3 , que representa un 10 % del màxim legislatat i és molt inferior a la concentració màxima permesa. La comprovació del nivell d'emissions es contrasta amb els nivells d'immissió en els dies immediats a l'episodi i no es detecta cap incidència quant a SO_2 .

L'aparent contradicció entre les valoracions dels tècnics sobre l'absència de danys o de superació de límits amb indicadors que excedeixen el màxim és realment un efecte estadístic. Per començar, les mostres no són sistemàtiques. A més, si es té en compte el període mitjà, com exigeix la legislació, els resultats són molt diferents a l'observació aïllada d'un incident. Per això, precisament, s'elaboren sèries llargues, per a donar resultats fiables. L'aparent conflictivitat de les dades és producte de la desviació dels nivells d'emissió del funcionament normal en la ventilació. La taula 2 mostra que el valor del funcionament normal de 6 mg/Nm^3 salta a 13.385 mg/Nm^3 en el moment d'obertura de la cambra, fins a tornar a normalitzar-se al cap de vuit hores. L'impacte principal és només en el primer moment de l'operació. Els inspectors de l'ICICT assenyalaven la primera mitja hora. L'índex de ventilació mostra que, a partir de la tercera hora, els valors estan al 10 % de la punta inicial, arribant amb el funcionament nor-

30. Direcció General de Seguretat Ciutadana.

mal al 0,05 %. Aplicant l'índex de ventilació als valors d'obertura de cambra per al 1993 i el 1995, obtenim la mitjana diària, que és l'únic valor realment contrastable. El dia d'obertura era de 818 mg/Nm^3 i 499 mg/Nm^3 respectivament.³¹ Són valors considerablement superiors a un dia de funcionament normal, 6 mg/Nm^3 i 54 mg/Nm^3 , respectivament, però molt inferiors al màxim de 4.300 mg/Nm^3 . El 1993 el dia d'obertura de cambres estava al 19 % i el 1995, al 12 % del valor màxim. Això pel que fa als dies d'obertura de cambres. Si fem les observacions al llarg d'una setmana, com exigeix la legislació en cas de trobar un valor que excedeixi el màxim, les emissions són encara més moderades. A la taula 3 he calculat les emissions normalitzades com a mitjana aritmètica dels cinc dies de funcionament normal i els dos dies d'obertura de cambra. La mitjana anual no variaria, perquè la fàbrica funciona els 365 dies de l'any.³² La mitjana setmanal dona unes emissions de 238 mg/Nm^3 per al 1993 i 181 mg/Nm^3 per al 1995. És a dir, les observacions continuades sobre una setmana donen que s'està al 6 % i al 4 %, respectivament, dels límits autoritzats. Aquests càlculs normalitzats expliquen per què no hi ha contradicció entre les observacions i les conclusions dels tècnics que la fàbrica opera dins dels límits. Les dades d'immissió ho han de corroborar, ja que si la fàbrica s'excedís, augmentarien els nivells d'immissió. Les emissions han de caure forçosament en l'entorn immediat; l'alçària de la xemeneia de 18 metres no permet una dispersió més enllà d'uns pocs quilòmetres del focus emissor.

31. El Departament de Medi Ambient calcula valors encara menors, 420 mg/Nm^3 per a 1995, resultats molt similars als meus de 499 mg/Nm^3 per al mateix any.

32. La mitjana aritmètica és la suma de tots els valors mesurats dividida pel nombre d'aquests.

TAULA 2. *Evolució horària des de l'obertura de cambra fins al funcionament normal*

<i>Dia de 24 h</i>	<i>Índex ventilació¹</i>	<i>1993 mg/Nm³</i>	<i>1995 mg/Nm³</i>
0 h: Funcionament normal	0,05	6	54
0 h - 1 h: Obertura de la cambra	100	13.385	7.665
1 h - 2 h	21	2.811	1.610
2 h - 3 h	10	1.339	767
3 h - 4 h	7	937	537
4 h - 5 h	4	535	307
5 h - 6 h	2	268	153
6 h - 7 h	1	134	77
7 h - 8 h	0,8	107	61
8 h - 24 h	0,05	6	54
Mitjana diària	6	818	499

1. Dispersió dels gasos en una operació tipus, partint d'un índex de 100 en el moment d'obertura, sobre observacions de 0 h a 3 h i projeccions de la disminució del 10 % restant de gasos en les 3 h a 8 h següents fins a finalitzar l'operació d'obertura i igualar les emissions de SO₂ amb el funcionament normal.

FONT: Elaborat per l'ICICT.

TAULA 3. *Emissions normalitzades*

<i>Emissió SO₂ mg/m³</i>	<i>1993</i>	<i>1995</i>
Dia d'obertura	818	499
Dia de funcionament normal	6	54
Mitjana setmanal ¹	238	181

1. Mitjana setmanal de dos dies d'obertura i cinc dies de funcionament normal.

FONT: Elaborat per l'autor de la taula 2.

IMMISSIÓ DE SO₂ A NIVELL DEL SÒL

La contaminació requereix danys a persones i éssers vius en general, i per això es mesura la immissió, que és la presència de contaminants a nivell del sòl. La immissió permet de conèixer els danys d'una emissió, ja que un incident d'emissió ha de quedar reflectit en un augment d'immissió per sobre dels mà-

xims a fi que es pugui concloure que hi ha contaminació. El Servei de Protecció de l'Àmbient Atmosfèric de la Generalitat té una instal·lació de la Xarxa de Vigilància i Prevenció de la Contaminació Atmosfèrica de Catalunya a la plaça de la Generalitat de Tarragona, a poc més d'un quilòmetre de distància d'Afepasa. L'informe del quinquenni 1991-1996 assenyalava que: «mai no s'han superat els valors límit ni els valors guia establerts per la legislació per al diòxid de sofre (Reial decret 1613/85) des que va entrar en funcionament l'estació a l'abril de 1991».³³ Tampoc l'estació mòbil de la Generalitat no ha detectat cap concentració no permesa. La Unitat Mòbil de Vigilància de la Direcció General de Qualitat Ambiental instal·lada al barri del Serrallo de Tarragona conclou en el seu informe: «No s'han superat en cap moment el valor bihorari, els valors límit i els valors guia fixats per la legislació ambiental. La concentració mitjana d'aquest contaminant es manté quasi constant al llarg de tot el cicle diari, mentre que els valors màxims de SO₂ s'han detectat a les primeres hores del matí.»³⁴ La síntesi que en fa la Generalitat és que «els nivells d'immissió han estat generalment baixos, amb alguns valors moderats. No s'ha superat cap dels valors límit legislats per als contaminants diòxid de sofre (SO₂) i partícules en suspensió. L'augment de SO₂ s'obté en condicions de vent del sector nord que és on està Afepasa». És a dir, la incidència de l'obertura de cambres era detectable, però en cap cas no provoca un problema de contaminació en superar els límits de qualitat de l'aire.

33. Puig i Godes (1996).

34. Els *valors guia* són les dades obtingudes durant un període determinat. Serveixen de previsió a llarg termini en matèria de salut i protecció del medi ambient. Els *valors límit* són aquelles concentracions dels diferents contaminants que no han de ser sobrepassats durant uns períodes determinats i en les condicions estipulades per tal de protegir en particular la salut de l'home (vegeu Direcció General de Qualitat Ambiental (1996)).

La taula 4 presenta aquestes dades d'immissió. Com ja reflectien les emissions, i en concordança, els nivells d'immissió estan al voltant del 20 % del màxim permès. Cal recordar, a més, que Tarragona no ha estat declarada zona d'atmosfera contaminada, perquè tampoc no ho justifiquen aquests valors.

TAULA 4. *Impacte de la immissió contaminant a Tarragona*

Situació estació	Mitjana anual $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Màxim $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Plaça Generalitat ¹		
1991-1992	12	57
1992-1993	17	64
1993-1994	17	66
1994-1995	19	86
1995-1996	12	43
Mitjana 5 anys	15	63
El Serrallo ²	24	75
Valor guia ³	40-60	100-150

1. Mitjanes de l'1 d'abril al 31 de març de l'any següent.

2. Mitjanes del 20 d'abril al 17 de maig de 1996.

3. Directiva 89/4227 de la CEE i Reial decret 1321/1992.

FONT: PUIG I GODES (1996), *Informe dels nivells d'immissió de diòxid de sofre mesurats a l'Estació de Tarragona - Plaça de la Generalitat*, i DIRECCIÓ GENERAL DE QUALITAT AMBIENTAL (1996), *Informe de les mesures realitzades per la unitat mòbil de vigilància de la contaminació atmosfèrica en el barri del Serrallo de Tarragona*.

IMPACTE AMBIENTAL DEL SOFRE I DEL SO₂

L'Institut Nacional de Toxicologia va emetre un informe a sol·licitud del fiscal de medi ambient sobre aquest gas incolor

d'olor sufocant:³⁵ «El SO₂ es un irritante energético de las mucosas húmedas. La intoxicación aguda produce rinitis, laringitis, bronquitis, conjuntivitis, disnea, cianosis y pérdida de conciencia por espasmo laríngeo reflejo con paro circulatorio y muerte. Las personas que sufren afecciones respiratorias tienen una mayor sensibilidad y acusan manifestaciones de irritación respiratoria tras exposiciones menores. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha clasificado la exposición crónica combinada de SO₂ y humo. La tasa límite de tolerancia propuesta por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists es de 5 mg/m³ y la OMS recomienda no sobrepasar 1,3 mg/m³ durante el trabajo.» Els límits de l'OMS citats són:

- augment de mortalitat i morbiditat a partir de 500 µg/m³ dia
- empitjorament de la salut de persones amb problemes respiratoris a partir de 250 µg/m³ dia
- símptomes respiratoris a partir de 100 µg/m³ dia
- irritació a partir de 80 µg/m³ dia.

269

Per a situar l'efecte d' Afepasa, hem vist que hi havia una mitjana de cinc anys de 15 µg/m³ a la plaça de Catalunya i 24 µg/m³ al Serrallo, amb màxims de mitjana 63 i 75 µg/m³, respectivament. És a dir, no s'arriba ni al nivell d'irritació de l'OMS. Com a contrast, les lectures de la plaça Palau el 1999 a Barcelona arribaven a 352 µg/m³, que empitjora la salut de persones amb problemes amb una mitjana de 98 µg/m³ molt proper a provocar símptomes respiratoris (taula 5).³⁶ La taula també mostra com les estacions properes a Afepasa no arri-

35. Institut Nacional de Toxicologia (1996).

36. Dades del 7 de febrer de 1999 de la Direcció General de Qualitat Ambiental.

ben ni a una cinquena part de Barcelona, excepte l'estació del Club Nàutic, que evidencia l'impacte del port.

El sofre no és un element tòxic. En l'estudi de la toxicologia no es té en compte. El sofre s'aplica sense precaució especial en tasques agrícoles i la Unió Europea l'ha proclamat un element essencial de l'agricultura ecològica. Té usos terapèutics en medicina i farmàcia. Només amb un contacte massiu produeix irritació de les mucoses sensibles en un temps que no sobrepassa les vint-i-quatre hores. El contacte més freqüent és a l'interior de les fàbriques on es produeix, però la Facultat de Medicina de Tarragona no té constància de cap problema laboral d'aquesta mena en indústries similars a Afepasa.³⁷

TAULA 5. *Episodis de 1993 vistos per les estacions d'immissió $\mu\text{g}/\text{m}^3$*

<i>Dia</i>	<i>Club Nàutic</i>	<i>Estació 1</i>	<i>Estació 2</i>	<i>Estació 3</i>
23 juny	267	29	10	22
28 juny	48	28	16	17
10 novembre	79	16	12	15
Mitjana	131	24	13	18
Barcelona (%)	134	24	13	18

FONT: Elaborat per l'autor.

Tampoc no es coneix a urgències de Tarragona cap impacte de les activitats d'Afepasa sobre la població. El responsable de la salut pública de la Generalitat a Tarragona declara: «En referència a les dades de qualitat ambiental i el registre d'admissions a urgències per causa respiratòria de les quals disposem, informo que no tenim dades contrastades sobre l'impacte en la salut pública de la població de Tarragona derivat de l'activitat industrial d'Afepasa.»³⁸

37. Llobet (1996).

38. Adsera (1996).

A la classificació d'activitats molestes, insalubres, nocives i perilloses, Afepasa està enquadrada en la de menor risc per a la salut, com a activitat molesta.

El Departament d'Agricultura recorda que el sofre és un producte de reconeguda eficàcia contra els fongs i els àcars: «Està classificat de baixa toxicitat humana i de baixa perillositat per a la fauna terrestre i agrícola. El seu impacte sobre el medi ambient és molt baix i per això és un producte autoritzat per la Unió Europea per a la seva utilització en producció agrícola ecològica i també la Generalitat de Catalunya admet la seva utilització en els programes de producció integrada, en què un dels seus objectius bàsics és la protecció del medi ambient.»³⁹

El professor Porteous assenyalava que el sofre és un component de tota matèria viva. A més el SO₂ s'emeta naturalment pels volcans, fonts sulfuroses i matèria en descomposició. La immissió afecta l'1 % de la població quan arriba a concentracions superiors a 300-500 µg/m³. Aquestes concentracions foren superades en l'*smog* de Londres, cosa que provocà un augment de mortalitat de dotze mil persones. Al marge d'aquest incident d'evident contaminació, assenyalava que: «Està clar que els nivells màxims de SO₂ s'han fixat només per a la comoditat de les persones. No està clar que sigui una bona tàctica. Nivells reduïts de SO₂ augmenten la producció agrícola, però el cost està en la dessulfuració de combustibles o de gasos a les emissions. Això demostra que queda molt per fer per a determinar quin és el nivell adequat d'un contaminant determinat.»⁴⁰

El professor Allaby explica que el SO₂ «s'utilitza extensament com un índex del nivell de contaminació atmosfèrica, però la investigació epidemiològica no ha pogut demostrar que té efectes nocius en les persones, fins i tot per a concentra-

39. Vives de Quadras (1996).

40. Porteous (1996), p. 521-522.

cions màximes. La seva importància consisteix en què és fàcil de mesurar i relaciona el consum de combustibles amb la dispersió atmosfèrica». Tenir un índex fiable de dispersió és important per a poder calcular què fan els altres contaminants a l'atmosfera que sí que són nocius. Recorda Allaby que les erupcions volcàniques llencen SO_2 i que el sofre és un macro-nutrient bàsic per a les plantes.⁴¹

El conseller de medi ambient de la Generalitat, Pere Macias, subratllava en el Parlament de Catalunya que Afepasa funcionava sense afectar el medi: «El procés productiu provoca que hi hagi immissions dos cops la setmana entre les 23 h i les 7 h. La unitat mòbil va detectar una relació causa-efecte entre aquests períodes i els nivells de immissió de SO_2 . Aquesta relació no va comportar cap superació dels nivells d'immissió de SO_2 . Els incidents i accidents que es puguin produir són atribuïbles al funcionament normal de l'activitat.»⁴² I hi afegeix: «L'empresa disposa de les mesures correctores suficients per a complir la legislació vigent.»⁴³

IMPACTE AMBIENTAL DE L'OBERTURA DE CAMBRES D'AFEPASA

La legislació diferencia les emissions de les immissions. A les emissions imposa nivells màxims interpretats amb la flexibilitat necessària, i admet variacions considerables segons el procés de producció i encesa. Així, una central tèrmica pot emetre el doble de SO_2 . És una demostració que els nivells fixats d'emissió són orientatius. Per a determinar danys exigeix dos components imprescindibles:

41. Allaby (1988), p. 372.

42. Macias i Arau (1997b).

43. Macias i Arau (1997c).

1) Una anàlisi contínua, com a mínim de tres mesures al llarg de vuit hores, cada dia durant una setmana o dues en cas de denúncia. Són, per tant, vint-i-una observacions quan la inspecció observa una dada que supera el màxim i quaranta-dues, en cas de denúncia. No he pogut trobar que s'hagi realitzat aquesta sèrie preceptiva de quaranta-dues observacions en les quals basar la denúncia del cas. El valor de les dades conegudes d'incidències és d'una hora respectivament per al 1993 i el 1995 sobre un total de cent seixanta-vuit hores de funcionament setmanal de la fàbrica. És a dir, l'1 % de les dades analitzades excedeixen del màxim en el funcionament setmanal de la fàbrica, molt inferior al límit del 6 % de dades que excedeixin del màxim segons la legislació o el 5 % del temps de funcionament de la planta.⁴⁴

2) Uns danys constatables a través de la mesura de la immissió. Les sèries de què es disposa de la immissió sí que són contínues. Però no s'observa que les activitats d' Afepasa condueixin a superar els màxims, malgrat que és cert que constaten l'efecte de la ventilació a primeres hores del matí, sempre en límits molt inferiors al màxim. Tampoc no es coneixen sèries epidemiològiques de danys personals de les activitats d' Afepasa per admissions a urgències.

44. En siderúrgia es permet excedir els límits de dues-centes hores l'any, més del doble de les possibles incidències de ventilació d' Afepasa, que són dues hores la setmana (vegeu annex IV, 4.1, BOE (1975)). En pasta al sulfat o kraft es pot excedir en el 10 % del funcionament, és a dir, deu vegades més que la incidència real d' Afepasa (vegeu annex IV, 23 i 24.2, BOE (1975)). Els límits d'emissió de SO₂ en centrals tèrmiques són més del doble i es permet excedir-los per tres hores cada cop que es posen en marxa (vegeu annex IV, 1.1, BOE (1975)). És a dir, malgrat que l'apartat «Actividades industriales diversas no especificadas en este anexo» no doni detalls ni excepcions, és evident que no ho fa per no considerar les altres activitats d'interès. El coneixement específic de cada activitat segur que donaria igual nombre d'excepcions com en les indústries on aquest reglament s'ha desenvolupat.

Per a poder valorar l'efecte de la ventilació he construït un índex de l'adequació per hores de les emissions des de la punta de l'obertura fins a tornar als nivells normals d'operació. Els valors obtinguts coincideixen amb les valoracions dels inspectors de l'ICICT i del Departament de Medi Ambient de la Generalitat que les emissions no són significatives. Les mitjanes setmanals donen 238 i 181 mg/Nm³ per al 1993 i el 1995. Aquestes mitjanes reflecteixen l'exigència d'una valoració continuada al llarg d'unes setmanes. Coincideixen els resultats obtinguts amb l'estimació del Departament del Medi Ambient per al 1995. Fins i tot sóc més estricte perquè calculo per al 1993 el dia d'obertura al 12 % i la Generalitat en menys del 10 % del màxim permès. Les emissions setmanals normalitzades se situen entre el 4 % i el 6 % del màxim permès. Tampoc les immissions a l'entorn d'Àfepasa no es desmarquen d'aquests resultats, amb uns nivells al voltant del 20 % dels màxims permesos de contaminació atmosfèrica.

La ventilació de 1993 excedeix en 10 % el valor triple del màxim permès, mentre que la ventilació de 1995 és més del 40 % inferior i, per tant, compleix els límits per a una incidència.⁴⁵ Tenint en compte que, a més, les anàlisis permeten un marge del 25 % d'excés en dades puntuals, el 10 % excedit de 1993 està també dins dels límits de tolerància.⁴⁶

El SO₂ és una mesura de contaminació, però la seva utilitat per a demostrar danys és molt baixa. Nivells nocius exigeixen concentracions més de deu vegades superiors a les dades d'immissió a Tarragona. L'exposició a nivells excessius provoca una lleugera irritació a les mucoses que no dura més d'un dia. El sofre és un component essencial de la vida i s'aplica sense protecció especial. El seu ús en l'agricultura és mil·lenari i

45. El triple del màxim segons annex I, 1.1 i 1.2, BOE (1975).

46. El 25 % de les dades excedides segons l'article 21.2, BOE (1976).

actualment la Unió Europea promou el sofre per a l'agricultura ecològica. També té utilitats mèdiques i farmacèutiques.

La conclusió és que no estem davant un cas de contaminació a Afepasa. El mateix interès de l'empresa en la millora tecnològica de les emissions ha estat el detonant d'un incident estadístic. Cal preguntar com es pot millorar el procés sense conèixer-ne les dades. El resultat de conèixer les puntes del procés d'obertura de cambra ha estat la instal·lació de limitadors de velocitat. Ara les emissions es reparteixen al llarg de les vuit hores d'obertura. El total emès és el mateix, així que la mitjana diària o setmanal no varia. Estadísticament una punta de ventilació i el seu ràpid descens a nivells mínims resulta exactament igual a l'emissió constant durant vuit hores. Tenint en compte l'emissió i la naturalesa benigna del producte, l'impacte ambiental en les situacions analitzades no és significatiu.

275

LA SENTÈNCIA

La sentència segueix els meus arguments sobre el temps de les mesures, la no-superació de màxims, l'absència de danys a persones, la manca de relació entre les dades d'emissió i immissió, i el baix nivell d'aquestes, per la qual cosa absol tots els acusats.⁴⁷ A més, afegeix la crítica urbanística que ja indicava al principi. Encara que segueix els meus arguments, el tribunal recorda que un perit pot saber-ne molt, però no decideix: «Esta *pericia* es ciertamente relativa en tanto que en materia de interpretación de normas es el tribunal el que tiene atribuida esta función pericial.» Vegem-ne, doncs, la funció pericial:

47. Sospedra Navas (1999).

1) Temps de les mesures: «El factor tiempo es referencia imprescindible a la hora de valorar la trasgresión del nivel máximo de emisión. Utilizando el símil propuesto por la defensa, contamina más una fábrica que emite continuamente 4.200 mg/m³N durante las 24 horas al día que una que emite 10 o 12.000 mg/m³N en una hora y las otras 23 apenas emite contaminante a la atmósfera.»

2) No-superació de màxims: «Una cosa es que el foco emita sistemáticamente contaminante y otra distinta es cómo debe medirse. No ha quedado acreditado que Afepasa infringiera los niveles máximos. La Administración dispone de espacios de riesgo permitidos. Encontramos argumentos muy sólidos para concluir la legalidad de niveles de emisión muy superiores a los 4.300 mg/m³N recogidos en los escritos de la acusación. Emitir contaminantes en cantidad superior a tres veces a la permitida en media semihoraria no está tipificada ni tan siquiera como falta grave. Las mediciones de 1991 y 1995 ni tan siquiera superan el límite establecido para la infracción reglamentaria grave. Estamos en el ámbito del derecho penal, por lo que la infracción de la norma ha de ser clara y manifiesta para que sea aplicable el tipo penal.»

3) Absència de danys a persones: «No se ha acreditado que las emisiones de SO₂ hayan puesto en peligro grave la salud de las personas. El delito requiere que se constate la situación de un peligro concreto. Parece claro que si relacionamos el binomio nivel de inmisión-peligro grave de la salud de las personas, debemos referirnos necesariamente a los valores límite y no a los valores guía, por cuanto los guía se mueven dentro del ámbito preventivo y de la calidad ambiental, en tanto que los límites se mueven en el ámbito de la protección para la salud. Ninguna de las mediciones efectuadas llega a los valores límite. Una cosa son las molestias y otra es el peligro grave para la salud. Un delito de riesgo

concreto exige la puesta en peligro de la salud de las personas.»

«El Sr. Gurrea sufrió un broncoespasmo compatible con la inhalación de SO_2 pero también con la inhalación de amoníaco. Ha quedado acreditado que la fábrica de hielo en el Serrallo utiliza dicha sustancia y ha tenido escapes, y éste era el lugar donde trabajaba el Sr. Gurrea como vigilante.»

4) Manca de relació emissió-immissió: «El Departament de Medi Ambient ubicó una unidad móvil a la altura de la calle Torres Jordi 37, en lugar idóneo para establecer la relación causal emisiones Afepasa-niveles de inmisión. En estas mediciones no se superaron en ningún caso los valores guía establecidos normativamente.»

«Ha quedado acreditada la existencia de otros focos emisores de SO_2 . No ha quedado acreditada la relación causal en los términos de exclusividad entre los niveles de inmisión y las emisiones de Afepasa por la existencia de otros focos emisores de SO_2 como son Tabacalera, Acesa, el puerto y la circulación de la zona. Surge la duda de que los niveles de inmisión que refleja el sensor del Náutico correspondan en todo caso a Afepasa.»

5) Baix nivell d'immissions: «En el Club Náutico se superaron los valores guía establecidos reglamentariamente en la media diaria en 13 ocasiones. No se superaron los valores en media anual y respecto al período invernal. En ningún caso se superaron los valores límite de inmisión de SO_2 establecidos reglamentariamente. No se superaron los valores guía de inmisión en el sensor establecido expresamente para controlar las emanaciones de Afepasa.»

6) Crítica urbanística: «El derecho penal del medio ambiente constituye la respuesta primaria o básica del ordenamiento jurídico a las más graves vulneraciones del equilibrio de la naturaleza. Pero ello no significa que deba renunciarse a los principios del derecho penal. La intervención

penal únicamente estará justificada en tanto que la conducta enjuiciada suponga una vulneración grave. No corresponde al tribunal penal sancionar conductas infractoras que no vulneren gravemente el medio ambiente, ni tampoco le corresponden intervenciones de carácter urbanístico. El emplazamiento de la empresa Afepasa dentro del núcleo de población necesariamente ha de producir molestias. Quizás sea aconsejable su emplazamiento en otro lugar, pero no puede residenciarse en la jurisdicción penal esa pretensión de transformación urbanística. No corresponde al tribunal penal el análisis de lo que pudiera ser idóneo o aconsejable desde el punto de vista de la calidad del medio ambiente. El tema de dónde debe ser emplazada la factoría y quién debe afrontar los gastos de traslado queda fuera del ámbito del enjuiciamiento penal. Nuestro análisis por tanto ha de versar sobre la concurrencia de los elementos del delito.»

7) Absolució: «Ningún elemento objetivo del tipo penal queda acreditado: no hay emisión infractora porque el nivel máximo de emisión de SO₂ a la atmósfera no queda definido en la norma reglamentaria en relación al factor tiempo; y el efecto perjudicial o nocivo para la salud de las personas queda descartado en primer término al no superarse los valores límite de inmisión. Las molestias referidas por los vecinos únicamente ponen de manifiesto que probablemente estamos ante un emplazamiento idóneo de una actividad industrial contaminante, pero dello no se deriva un grave riesgo para la salud de las personas.»

LA TRADICIÓ PACTISTA: EL CAS DE LONDRES

L'*smog* de Londres de 1952 va provocar quatre mil morts, però va impulsar la millora de l'aire anglès, no amb la criminalització sinó amb el diàleg. La taula 6 mostra la relació en-

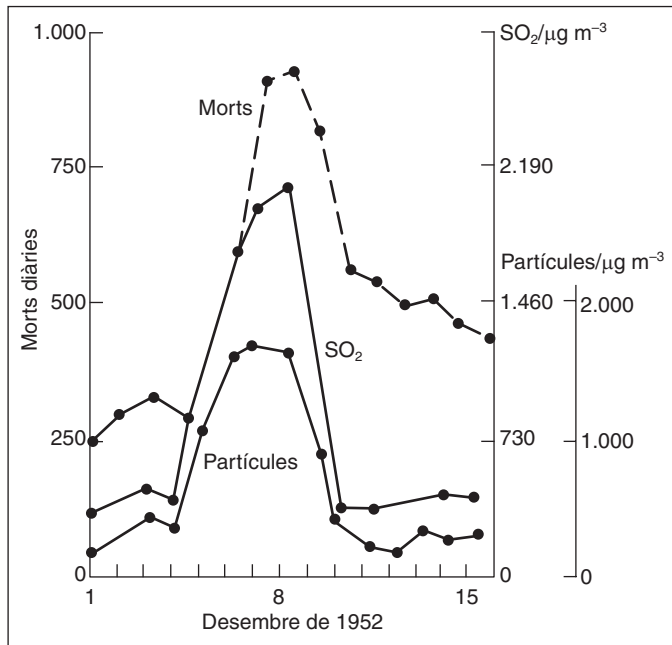
tre l'*smog*, mesurat per les partícules de fum i el SO₂ abans, després i durant la setmana de *smog*. Les corbes són paral·leles, amb la punta de mil morts diàries coincidint amb la punta de 2.190 µg/m³ de SO₂. Queda clar que la mesura del SO₂ i del fum permeten saber com estem de contaminació. També queda clar que l'impacte sobre la mortalitat es produeix a nivells d'immissió altíssims, cent vegades les observacions de Tarragona de la taula 5. Quan els nivells de Londres baixen al voltant de 500 µg/m³ la mortalitat es normalitza. Aquests nivells segueixen vint-i-cinc vegades més elevats dels observats a Tarragona. Cal afegir que la mortalitat de l'*smog* no és conseqüència exclusiva de la contaminació aèria, com observem a la taula 7 sobre els cinc episodis de *smog* en un segle a Londres. La mortalitat s'observa que baixa. Per què? Per la millora del nivell de vida i de la sanitat.

Millorar de vida també vol dir treure l'*smog* de l'aire i així es va fer a Anglaterra amb el Clean Air Act de 1956. Per a conèixer els danys, es van identificar diverses variables, i es va observar que les variables socioeconòmiques tenien deu vegades l'impacte sobre la mortalitat que la pol·lució (taula 8). En aquella època encara no es valorava l'efecte negatiu del tabac, però cal recordar que incideix en els mateixos òrgans que la contaminació de l'aire, i de manera molt més pròxima, densa i continuada, fins i tot per als fumadors passius. Fa tres dècades jo preguntava davant aquesta evidència:⁴⁸ «Per què es permet el tabac? Els danys ocasionats per l'*smog* són trivials en contrast amb els danys de fumar.»

L'impacte de les emissions angleses es va calcular a partir de l'impacte d'una central tèrmica. Aquest índex es basa en l'altura, la temperatura i el volum de les emissions, la dispersió, les emissions en moments climàtics desfavorables, la proximitat a danys i la naturalesa química del pol·lucio-

48. Vergés (1977), p. 66.

TAULA 6. Mortalitat i immissions a Londres el 1952

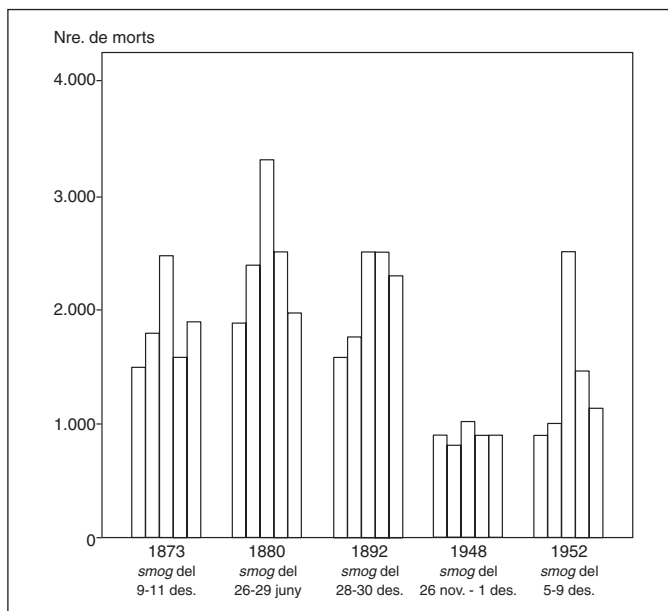


FONT: F. N. FRENKIEL (1970), «Atmospheric pollution in growing communities».

nant.⁴⁹ Els danys per tona de combustible indiquen que les emissions de torres i trànsit rodat n'eren els responsables principals, seguit dels pisos (taula 9). A la taula 10 veiem que en un període molt curt, deu anys, s'han aconseguit millores espectaculars de la qualitat de l'aire sense necessitat de processar ningú. El cost no supera els quinze cèntims per persona, mentre que la llum solar a Londres a l'hivern augmentava

49. Per a una explicació detallada, vegeu Vergés (1977), p. 83-94. L'índex aquí variaria, ja que cal tenir en compte que la majoria de la població anglesa viu en torres.

TAULA 7. *Mortalitat històrica de cinc smogs a Londres*



281

FONT: F. N. FRENKIEL (1970), «Atmospheric pollution in growing communities».

TAULA 8. *Impacte de les immissions sobre la mortalitat*

Augment del 10 % de	Augment de mortalitat (%)
Mínim partícules	0,25
Màxim partícules	0,18
Mínim SO ₂	0,34
Màxim SO ₂	0,09
Total per emissions	0,86
Densitat	0,21
Pobresa	1,14
Més de 65 anys	5,23
Persones de color	0,04
Total socioeconòmic	6,62

FONT: L. V. LAVE (1972), «Air pollution damage...».

TAULA 9. *Càlcul de danys de les emissions*

<i>Emissor</i>	<i>Índex danys</i>	<i>Consum mil. t.</i>	<i>Danys</i>	<i>Danys per tona</i>
Tèrmica	1	35	0,3	0,01
Indústria gran	89	30	2	0,5
Pimes	27	25	5	2
Pisos	400	10	30	3
Torres	2.300	25	400	16
Carretera	580	10	40	4
Tren, avió, vaixell	80	20	10	6

FONT: R. S. SCORER (1971), «New attitudes to air pollution - The technical basis of control».

TAULA 10. *Millora de l'aire de Londres*

<i>Any</i>	<i>Fum $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>Índex 1958=100</i>	<i>SO₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$</i>	<i>Índex 1958=100</i>
1958	309	100	340	100
1959	206	67	275	81
1960	200	65	277	82
1961	182	59	302	89
1962	173	56	365	107
1963	136	44	299	88
1964	126	41	293	86
1965	100	32	243	72
1966	87	28	214	63
1967	68	22	203	60
1968	61	20	205	60

FONT: D. PLANK (1970), «The progress and effect of smoke control in London».

el 50 %, el fum disminuïa a una cinquena part i el SO₂, pràcticament a la meitat.

La Clean Air Act de 1956 es basava en tres mecanismes principals: es donaven ajuts domèstics fins a un 70 % del cost de reconversió de cuines i calefaccions; els municipis podien declarar zones de control de fums, i les indústries havien de passar a combustibles nets, controlades pels inspectors industrials habituals, amb la combustió utilitzant «el mètode més

pràctic». L'èxit va radicar en la cooperació amb els inspectors, que van aplicar la menor coacció possible i donaven consells més que no pas ordres. Només hi ha vint-i-tres inspectors a tot Anglaterra i les denúncies no superaven dues per any.⁵⁰

La tradició pactista s'ha revelat més efectiva, més barata i més justa en el cas de l'aire que aquí examinem. El professor Scorer, que va dissenyar l'índex anglès, explica per què va preferir no utilitzar mesures coercitives:⁵¹ l'efecte pol·lucionat del SO₂ depèn de la presència d'altres pol·lucionants; els límits tenen una base científica molt dèbil; les mesures depenen d'on es col·loquen els aparells; en una ciutat resulta pràcticament impossible determinar responsabilitats perquè hi ha diversos focus emissors; l'especulació immobiliària afavoreix la instal·lació d'aparells de control per a poder densificar o multiplicar el valor de la construcció, i l'alarma només duu a costos i perjudicis més greus. Senzillament, la concentració de morts en una setmana de *smog* va aconseguir la millora de l'aire. Si els morts per fumar es concentrassin tots en una setmana, fa temps que s'hauria acabat.

La millora de l'aire de Londres té una sèrie de conclusions per a nosaltres. Primer, que és possible una notable millora en un curt espai de temps. Segon, que el cost pot ser negligible. Tercer, que l'actuació local, dels municipis i dels inspectors és bàsica. I finalment, que el medi ambient no depèn només de les emissions, sinó de tot l'entorn socioeconòmic.

Catalunya s'ha format en la tradició pactista i no en la tradició confrontacional espanyola. Vegem com ho explica el gran pensador polític Francesc Eiximenis el 1386 quan aconsella el bon govern de la ciutat de València, precisament preocupat perquè perdia el coneixement de l'Estat de dret català i promovia «pompes castellanes», i d'això fa vuit segles! La

50. British Overseas Trade Board (1973).

51. Scorer (1973), p. 67-76.

convivència harmònica exigeix pau, justícia i un ordre legal, o sigui un bon regiment. La visió de la cosa pública d'Eiximenis, explica Albert Hauf, coincideix amb Tomàs d'Aquino, que *aristotelitza* el cristianisme:⁵² «La codificació d'una gran utopia destinada a donar un sentit integral de la vida i de la societat a generacions de catalans. Va formular d'una manera clara i entenedora la teoria del pactisme tal com devia sentir-la en aquell moment el poble català.» L'home neix lliure i elegeix un governant lliurement:⁵³ «Cascuna comunitat és naturalment franca quant és de si mateixa. No havien senyoria fins que ells mateixos s'elegiren senyor per llur protecció e bon estament, al qual donaren aital jurisdicció sobre si mateixos com se volgueren. Aprés que hagueren fetes comunitats no es privaren de llibertat, com la llibertat sia una de les principals excel·lències que sien en els homes francs.» Aquests homes francs elegeixen un regidor limitat per pactes i lleis:⁵⁴ «Les comunitats no donaren la potestat absolutament a neguin sobre si mateixes sinó ab certs pactes e lleis. Totes les senyories del món foren en llur fundació primera paccionades e posades en certs pactes e ab ses lleis. La senyoria trencant furs e privilegis als vasalls no fa sinó destruir si mateixa fins els fonaments. Los pactes e lleis són guàrdia del poble e dels vasalls, la qual guàrdia lo príncep no deu ne pot esvair de dret ne per justícia.»

En aquest repàs sobre la confrontació espanyola en el cas del medi ambient, hem vist en l'aigua que pot demostrar causa i efecte, empresonant l'empresari i tancant una empresa, amb la pèrdua de centenars de llocs de treball i milions en crèdits públics dels nostres impostos. També hem vist que, malgrat la condemna judicial de l'intent de censura, la fiscalia no ha perseguït el delictes ecològic en el cas públic. I finalment

52. Pròleg a Eiximenis (1983), p. 29-30.

53. Eiximenis (1983), p. 190.

54. Eiximenis (1983), p. 191-192.

ha quedat clar que no és viable criminalitzar l'aire. La solució catalana, i anglesa, del pacte no és tan mala idea. Encara tindriem una tèxtil a la plana de Vic, sense contaminar i tornant els crèdits públics, o un campus públic net i no perillós i, finalment, l'ajuntament de Tarragona s'ha vist obligat a pactar amb Afepasa, indemnitzant perquè marxi a una nova localització. El pacte, al cap i a la fi, sí que funciona.

BIBLIOGRAFIA

- ADSERA I GEBELLÍ, J. M. (1996). *Informe de l'impacte sobre la salut pública de l'empresa AFEPASA*. Generalitat de Catalunya. Departament de Sanitat i Seguretat Social. Delegació Territorial a Tarragona.
- ALLABY, M. (1988). *Macmillan dictionary of the environment*. Londres: MacMillan. 424 p.
- BRITISH OVERSEAS TRADE BOARD (1973). «Developments in Legislation». A: *Towards cleaner air*. Londres: Department of the Environment. HMSO, p. 8-10.
- BUSTOS, M. (1997). «La UAB no controla 3.000 kilos de residus perillosos al año, según una auditoría». *El País: Cataluña* (16 març), p. 1.
- «Debate sobre una sentencia ambiental. A favor y en contra de Puigneró» (1997). *El País: Cataluña* (14 març), p. 1.
- «Decret 833/1975, de 6 de febrer, pel qual es desenvolupa la Llei 38/1972, de 22 de desembre, de protecció de l'ambient atmosfèric» (1975). BOE, 96 (22 abril).
- DIRECCIÓ GENERAL DE QUALITAT AMBIENTAL (1996). *Informe de les mesures realitzades per la unitat mòbil de vigilància de la contaminació atmosfèrica en el barri del Serrallo de Tarragona, període del 20.3 al 17.4*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient.
- DIRECCIÓ GENERAL DE SEGURETAT CIUTADANA (1996). *Informe*

- de la Policia-Mossos d'Esquadra sobre AFEPASA*. Generalitat de Catalunya. Departament de Governació.
- EIXIMENIS, F. (1983). *Lo crestià*, Barcelona. 318 p. [Original de 1386]
- FRENKIEL, F. N. (1970). «Atmospheric pollution in growing communities». A: BRITTIN, W. E. [et al.] [ed.]. *Air and water pollution*. University of Colorado, p. 339-369. [L'article és de 1952]
- GIMÉNEZ GARCÍA, I. (1999). *Sentència de la demanda de la Universidad Autònoma de Barcelona contra Josep C. Vergés*. [Jutjat de 1a Instància 37 de Barcelona, procediment 916/97]
- ICICT (1989). *Mesura d'emissions a AFEPASA*. Institut Català d'Inspecció i Control Tècnic, TA-MA-10035/91.
- (1993) *Mesura d'emissions a AFEPASA*. Institut Català d'Inspecció i Control Tècnic, TA-MA-10583/93.
- (1995) *Mesura d'emissions a AFEPASA*. Institut Català d'Inspecció i Control Tècnic, TA-MA-11081/95.
- (1996) *Mesura d'emissions a AFEPASA*. Institut Català d'Inspecció i Control Tècnic, TA-MA-11355/96.
- INSTITUT NACIONAL DE TOXICOLOGIA (1996). *Dictamen pericial acerca del efecto que produce sobre las personas y la vida animal y vegetal el dióxido de azufre*. Madrid: Ministerio de Justicia.
- LAVE, L. V. (1972). «Air pollution damage: some difficulties in estimating the value of abatement». A: KNEESE, A. V.; BOWER, B. T. [ed.]. *Environmental quality analysis*. Baltimore: Johns Hopkins Press, p. 213-242.
- LLOBET, J. M. (1996). *Informe tècnic sobre les característiques toxicològiques del sofre a l'entorn d'AFEPASA*. Universitat Rovira i Virgili. Laboratori de Toxicologia i Salut Mediambiental.
- MACIAS I ARAU, P. (1997a). «Pregunta al Consell Executiu sobre les mesures a prendre relatives a la fuga de diòxid de

- sofre produïda a una empresa de Tarragona». BOPC, 169 (9 maig), p. 13050.
- MACIAS I ARAU, P. (1997*b*). «Pregunta al Consell Executiu sobre l'estat del compliment de la Resolució 25/V sobre l'estudi de les immissions a l'atmosfera en els nuclis de població propers a les instal·lacions de l'empresa AFEPASA». BOPC, 169 (9 maig), p. 13055-13056.
- (1997*c*). «Pregunta al Consell Executiu sobre el compliment i l'adequació de les mesures correctores imposades per la Comissió d'Indústries i Activitats Classificades en la valoració de l'activitat de l'empresa AFEPASA». BOPC, 169 (9 maig), p. 13057.
- «Ordre, de 18 d'octubre de 1976, sobre prevenció i correcció de la contaminació atmosfèrica d'origen industrial» (1976). BOE, 290 (3 desembre).
- PLANK, D. (1970). «The progress and effect of smoke control in London». *Quarterly Bulletin* (març), p. 49-55.
- PORTEOUS, A. (1996). *Dictionary of environmental science and technology*. Nova York: Springer. 636 p.
- PUIG I CODES, O. (1996). *Informe dels nivells d'immissió de diòxid de sofre mesurats a l'Estació de Tarragona - Plaça de la Generalitat*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Direcció General de Qualitat Ambiental.
- «Reial decret 1613/1985, de 1 d'agost, pel qual es modifica parcialment el Decret 833/1975, de 6 de febrer, i s'estableixen noves normes de qualitat de l'aire pel que fa a contaminació per diòxid de sofre i partícules» (1985). BOE, 219 (12 setembre).
- «Reial decret 1321/1992, de 30 d'octubre, pel qual es modifica parcialment el Reial decret 1613/1985, de 1 d'agost, i s'estableixen noves normes de qualitat de l'aire pel que fa a la contaminació per diòxid de sofre i partícules» (1992). BOE, 289 (2 desembre).
- SCORER, R. S. (1971). «New attitudes to air pollution - The

- technical basis of control». *Atmospheric Environment*, 5, p. 903-934.
- SCORER, R. S. (1973). *Pollution in the air*. Londres: Routledge & K. Paul.
- SOSPEDRA NAVAS, F. J. [ponent] (1999). *Sentència Afepasa*. Javier Hernández García, president, i els magistrats Francisco Sospedra Navas i Xavier Nouvilas Puig, Jutjat d'Instrucció núm. 6, Tarragona, rotlle 322/97.
- VERGÉS, J. C. (1977). *Control de la polució y descentralización: las empresas de la Tordera*. Servicio de Estudios en Barcelona del Banco Urquijo. 344 p. + mapa.
- (1997a). *Análisis del impacto ambiental de las emisiones de SO2 por apertura de cámaras de Afepasa*. Tarragona.
- (1997b). «El auto de fe de Puigneró». *El País: Cataluña* (14 març), p. 8.
- VERGÉS J. C.; PASQUAL, J. (1996). *Auditoria ambiental de la Universitat Autònoma de Barcelona*. Bellaterra: Vicerectorat de Campus i Qualitat Ambiental. 224 p.
- VIVES DE QUADRAS, J. M. (1996). *Informe sobre la utilització del sofre com a producte fitosanitari*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Subdirecció General de Producció Agroalimentària.

INSTITUCIÓ CATALANA
D'ESTUDIS AGRARIS
L'AIRE I L'AGRICULTURA,
A CÀRREC DE
JOSEFINA PLAIXATS,
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA
DE BARCELONA

Els antics pensadors grecs van postular les primeres hipòtesis sobre la diversitat del món material basada en un element primordial o més d'un, constitutius de tot el que hi ha. És el primer intent d'explicació racional general del món. Tales de Milet (640-60 aC) elaborà la tesi que la diversitat de les coses troba la seva unitat en un element primigeni, l'aigua. Per a Anaxímenes de Milet (586-528 aC), l'aire era el principi de totes les coses, l'element de la vida. Les transformacions de l'aire possibilitaven canvis quantitativs que es traduïen en qualitativs: si l'aire s'ensorrava, donava lloc al foc, si es condensava, formava, progressivament, els núvols, l'aigua, el sòl i les roques. Heràclit (540-475 aC) promulgà que el foc era l'origen del cosmos. Més tard Empèdocles d'Agrigent (482-430 aC) considerà l'aire un dels quatre elements que, conjuntament amb l'aigua, la terra i el foc, componien la matèria. No va ser fins al final del segle XVIII que el químic francès Lavoisier va demostrar que l'aire no era un element, sinó un compost format per l'oxigen, l'aire vital i l'azot sense vida, que més tard es va anomenar *nitrogen*. Amb el nom de *aire* designem la barreja de gasos (oxigen 21 %, nitrogen 78 %, argó 0,9 %, diòxid de carboni 0,03 %, altres gasos 0,06 % i vapor d'aigua) que formen l'atmosfera terrestre.

L'aire és essencial per a la vida. Els éssers vius viuen gràcies a la capacitat de les plantes i els microorganismes d'obtenir de l'atmosfera substàncies vitals per al seu creixement i desenvolupament. Però, és la mateixa vida, amb el procés de la fotosíntesi, la que ha determinat, des de fa 3.500 milions d'anys, la composició de l'aire gràcies al constant intercanvi natural de gasos entre biosfera i atmosfera. És en els orígens de l'agricultura, al neolític, que s'inicia el gran procés d'alteració d'aquest intercanvi i del medi natural en general. L'home va començar a cremar boscos per a conrear vegetals i,

més endavant, per a establir superfícies de pastura per als animals que a poc a poc va anar integrant en el seu règim de vida sedentària. Amb aquest nou sistema de producció alimentària, van començar les emissions de gasos a l'atmosfera, cosa que en va alterar l'equilibri natural. Tot i això, les concentracions de gasos de l'aire s'han mantingut gairebé constants fins fa uns tres-cents anys. L'augment progressiu de la concentració de gasos a l'aire comença a la segona meitat del segle XVIII amb la revolució industrial, que suposa l'inici del creixement extraordinari de la població del món i, alhora, un augment espectacular de les necessitats energètiques i alimentàries per a mantenir aquesta població.

A partir de la segona meitat del segle XX, amb l'anomenada *revolució verda*, que té com a objectiu fer augmentar la producció d'aliments, es passa de l'agricultura tradicional a l'agricultura convencional o productivista, dels sistemes de producció extensius als sistemes intensius. Aquest model actual d'agricultura, amb les activitats agrícola i ramadera sovint separades, esdevé una font important d'emissió de gasos que contribueix a l'efecte hivernacle i a la pluja àcida i, en conseqüència, al canvi global del medi ambient. Així, les activitats humanes, amb l'ús de combustibles fòssils i els sistemes de producció agraris, provoquen emissions de residus cap a l'atmosfera, que s'afegeixen als gasos d'efecte hivernacle. És l'anomenat *efecte hivernacle addicional o antròpic*. S'estima que la contribució d'aquests gasos resultants de les activitats humanes a l'efecte hivernacle és del 55 % de diòxid de carboni (CO₂), el 15 % de metà (CH₄), el 6 % d'òxid nítrós (N₂O) i el 24 % de clorfluorocarbonats (CFC).

La producció agropecuària constitueix la font antropogènica principal d'emissió d'amoníac, que és una de les causes més importants de la pluja àcida, i la de gasos d'efecte hivernacle. Aproximadament representa una cinquena part de l'efecte hivernacle antropogènic, ja que produeix prop del

60 %, el 70 % i el 25 %, respectivament, de totes les emissions de metà, òxid nitrós i diòxid de carboni (Goldsmith, 2005).

Altres repercussions dels sistemes de producció intensius són l'increment de l'erosió i compactació del sòl, la contaminació de les aigües superficials i subterrànies i l'ús de cultivars i races millorades que condueixen a la pèrdua de diversitat genètica.

Aquests efectes es manifesten arreu del món i, davant d'això, al final del segle XX, sorgeixen les anomenades *agricultures alternatives*: integrada, de conservació, ecològica, permacultura, etc. Totes són aproximacions progressives cap al que ha de ser l'agricultura i ramaderia sostenibles. Un dels objectius d'aquestes noves pràctiques és reduir l'emissió de CO₂ a l'atmosfera i fer augmentar la captació, el segrest i el reservori de carboni al sòl aprofitant la important funció que exerceixen les plantes d'absorbir diòxid de carboni de l'aire per a créixer i desenvolupar-se.

PRODUCCIÓ AGRÍCOLA I EMISSIÓ DE GASOS

La producció agrícola causa un impacte directe en el canvi global del medi. Les principals activitats agrícoles que causen emissió de gasos a l'aire són: canvis d'ús del sòl, cremes de biomassa, incorporació i aplicació de fertilitzants i biocides, utilització de combustible fòssil i el conreu específic de l'arròs.

Canvis d'ús del sòl i cremes de biomassa

Entenem per canvi d'ús del sòl el propòsit productiu a què es destina, és a dir, la manera que l'home té d'aprofitar la producció primària neta (Meyer i Turner, 1992).

TAULA 1. *Evolució dels canvis d'ús del sòl al món*

<i>Superfície (10⁶ Km²)</i>	<i>Any 1700-1800</i>	<i>Any 1980</i>	<i>Any 2002</i>
Agrícola (total)	28,0	47,31	50,19
Terres de conreu	3,0	14,4	15,3
Conreu de regadiu	0,08	2,10	2,76
Boscós i forest	61,51	42,97	41,72
Pastures	25,00	32,91	34,85

FONT: Dades elaborades a partir de Meyer i Turner (1992) i FAO (2004).

L'agricultura i la ramaderia representen la proporció més elevada d'ús del sòl per l'home. El total de la superfície de la Terra és de 130 milions de km². L'any 2000 les pastures i els conreus ocupaven el 37,4 % de la superfície de terra del món (FAO, 2004). A la taula 1 es pot observar quina ha estat l'evolució dels usos del sòl durant els últims tres-cents anys. La superfície de les terres de conreu i de pasturatge ha augmentat uns 12 milions de km², a partir de la transformació principalment de boscos (tropical, temperat i boreal) i sabanes, que es cremen de manera controlada, en terres de cultiu. S'estima que la crema de sabanes tropicals destrueix tres vegades més matèria seca per any que la de les selves tropicals (taula 2). L'efecte immediat de la crema és la producció i l'alliberament a l'atmosfera de gasos i partícules resultants de la combustió de biomassa, principalment diòxid i monòxid de carboni, metà, altres hidrocarburs, òxid nítrós i clorur de metilè, cosa que contribueix a l'efecte hivernacle i, per tant, a l'escalfament global (taula 3). El carboni segrestat durant un període llarg de temps s'allibera a l'atmosfera en unes hores. Així la desforestació comporta un efecte negatiu doble. D'una banda, allibera CO₂ a l'atmosfera i, de l'altra, redueix la fixació i l'emmagatzematge de carboni. Els boscos són les formacions vegetals que tenen la capacitat d'assimilar més diòxid de carboni. Un bosc tropical humit pot assimilar vint tones de carboni per hectàrea i any. En boscos mixtos de clima tempe-

TAULA 2. *Estimació global anual de la biomassa cremada i de l'emissió de carboni a l'atmosfera*

<i>Font</i>	<i>Biomassa Tg MS/ any</i>	<i>Carboni alliberat (Tg/ any)</i>	<i>Carboni alliberat (%)</i>
Sabanes	3.690	1.660	42,1
Residus agrícoles	2.020	910	23,1
Boscors tropicals	1.260	570	14,5
Llenya	1.430	640	16,2
Boscors temperats i boreals	280	130	3,3
Carbó vegetal	21	30	1,0
Total món	8.700	3.940	100

FONT: Adaptat d'Andreae (1995). 1 teragram = 10⁶ tones.

TAULA 3. *Contribució dels gasos de la crema de biomassa a les emissions globals*

<i>Categoria</i>	<i>Biomassa cremada (Tg element/any)</i>	<i>Emissions globals (Tg element/any)</i>	<i>Biomassa cremada (%)</i>
Diòxid de carboni (brut)	3.500	8.700	40
Diòxid de carboni (net)	1.800	7.000	26
Monòxid de carboni	350	1.100	32
Metà	38	380	10
Altres hidrocarburs	24	100	24
Òxid nítric	8,5	40	21
Amoníac	5,3	44	12
Gasos de sofre	2,8	150	2
Clorur de metil	0,51	2,3	22
Hidrogen	19	75	25
Ozó troposfèric	420	110	38
Partícules	104	1.530	7
Partícules carboni orgànic	69	180	39
Carboni elemental (sutge)	19	<22	>88

FONT: Adaptat d'Andreae (1991) a *Environmental Science and Technology* (1995).

rat, l'assimilació de carboni se situa entre dos i quatre tones de carboni per hectàrea i any (Houghton, 1995). En climes més secs, aquest valor és d'un quilogram de carboni per hec-

tàrea i any (Domènech, 1991). El canvi d'ús del sòl suposa el 60 % del total d'emissions de carboni a l'atmosfera per combustió de biomassa.

A més de les cremes per canvis d'ús del sòl, cal afegir-hi els combustibles obtinguts a partir de biomassa, és a dir, llenya, la crema de residus de les collites i residus animals, que també són causes directes que afecten la composició de l'aire. A la taula 2 s'observa que la crema de residus de les collites representa el 23 % d'emissió de carboni del total alliberat per la crema de vegetació, un valor més elevat que no pas el d'ús com a combustible. D'altra banda, la tala del bosc i el matollar per a combustible no té efectes tan importants si es considera que aquestes emissions poden ser compensades per la regeneració dels arbres i matolls. Tot i això, en els països més pobres, aquest efecte és més rellevant. Els boscos propers a les poblacions pateixen desforestació, ja que el consum es més ràpid que la regeneració natural d'aquestes formacions vegetals (Ludevid, 1997).

La crema dels boscos i material vegetal no sols allibera carboni en forma de CO₂, sinó que recentment s'han descobert, mitjançant microscòpia electrònica, unes noves partícules formades per carboni, fins ara desconegudes, i que s'han anomenat *boles de quitrà* (Pósfai, 2004). Aquestes *boles* no tenen estructura interna i es comporten de manera molt diferent a altres formes de contaminació per carboni i es formen hores després de l'emissió de gasos a l'atmosfera.

A la taula 3 es pot observar que, a escala global, la crema de biomassa vegetal contribueix en un 26 % a les emissions de CO₂, un 10 % a la de metà, un 21 % a la d'òxid nítrid i un 12 % a la d'amoniac.

Al principi del segle XX, la ciència aporta coneixements de com es pot extreure un rendiment més gran de les propietats del sòl. L'any 1914 es va descobrir i desenvolupar el procés industrial de la fixació del nitrogen atmosfèric. S'inicia la utilització d'adobs minerals per a fertilitzar la terra. Des d'aquest moment la producció i aplicació de fertilitzants ha anat augmentant gràcies al procés d'intensificació de l'agricultura a partir de la segona meitat del segle passat. L'any 1961 es van aplicar dotze milions de tones de fertilitzants nitrogenats a les terres de conreu del món. Aquesta quantitat ha augmentat progressivament fins a l'actualitat (figura 1). L'any 2002 l'aplicació d'aquests fertilitzants ha estat de noranta milions de tones (FAO, 2004). L'aplicació d'aquests adobs és una de les causes importants de les emissions de compostos de nitrogen a l'atmosfera. L'emissió d'amoníac a l'atmosfera contribueix al fenomen de la pluja àcida, que presenta un gran poder acidificant (FAO, 2002). L'òxid nítrós prové de la transformació dels compostos de nitrogen per l'acció microbiana en el sòl a partir de la fixació biològica del nitrogen atmosfèric, de la mineralització de la

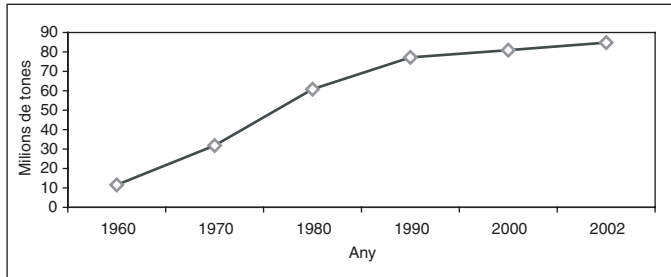


FIGURA 1. *Evolució de consum de fertilitzants de nitrogen al món.*
FONT: FAO (2004).

matèria orgànica del sòl, dels fertilitzants orgànics i, de manera especial, del nivell de fertilització mineral del sòl. L'aportació d'òxid nitrós per l'activitat agrícola representa el 37 % de l'emissió antropogènica (FAO, 2002).

Els pesticides són una altra font d'emissió de substàncies a l'aire. Es calcula que hi ha pèrdues considerables de biocides per volatilització durant i després de la seva aplicació, d'un 40-60 % de la dosi aplicada en funció de diferents factors del mateix producte i de les condicions ambientals. La volatilització és una de les rutes principals de l'emissió de biocides a l'aire.

Alguns d'aquests productes es consideren substàncies tòxiques poc biodegradables (POP) i en són els més importants els compostos organoclorats; afortunadament la majoria ja no són permesos en els països desenvolupats (conveni d'Estocolm, 2001).

297

Utilització de combustible fòssil

L'agricultura convencional emprava energia fòssil. Aquesta energia es necessita per a la producció de fertilitzants i biocides, l'ús de la maquinària agrícola i el funcionament de bombes per a irrigació. Aquestes activitats comptabilitzen més del 90 % de l'energia emprada directament o indirectament en les pràctiques agrícoles i contribueix en un 5 % a l'emissió global de diòxid de carboni.

Conreu de l'arròs

El conreu de l'arròs representa una font important d'emissió de metà a l'atmosfera per les condicions especials de creixement d'aquest cereal tan important per a l'alimentació hu-

mana. En aquest sistema de cultiu, l'atmosfera del sòl queda empobrida d'oxigen i dona lloc a la fermentació anaeròbia de la matèria orgànica, cosa que produeix metà, que passa per difusió a l'aire a través de les arrels i les tiges de les plantes. La projecció de les necessitats alimentàries de la població mundial en creixement constant preveu un augment del 65 % de la producció d'aquest cereal en els propers vint anys (IRRI, 1989). Les estimacions d'emissió d'aquest gas indiquen que representa el 25 % del gas metà global (Houghton, 1995). Estudis recents indiquen que una de les alternatives per a reduir l'emissió de metà és aconseguir varietats d'arròs de productivitat elevada i de baixa capacitat de transport de metà des de les arrels fins a la tija (Butterbal-bahl *et al.*, 1997).

PRODUCCIÓ RAMADERA I EMISSIÓ DE GASOS

Durant els darrers cinquanta anys s'ha produït un augment de la demanda de proteïna d'origen animal com a conseqüència de l'augment de la població i dels canvis en la dieta alimentària. El resultat n'és l'increment progressiu del nombre d'explotacions intensives. Segons la FAO (2003), el nombre de caps d'herbívoros és de $3,5 \times 10^9$ i el d'altres espècies, de 990 milions. El 36,8 % de la producció de carn correspon a explotacions intensives; el 53 % a mixtes, i només un 10 % s'obté per pasturatge (FAO, 2003). En el cas de la producció de llet, només el 7,9 % els animals pasturen i el 92,1 % restant correspon al sistema mixt.

Els sistemes ramaders intensius necessiten l'aportació d'aliments rics en nutrients per obtenir una elevada productivitat, la qual cosa requereix l'agricultura intensiva i la gestió intensiva de pastures, emprant fertilitzants químics i biocides. Una conseqüència addicional és la generació d'una gran

quantitat de residus animals que contenen una bona part dels nutrients dels aliments d'elevada qualitat i que posteriorment passaran a l'atmosfera.

La producció animal intensiva és una font important d'emissió d'amoniac, metà, diòxid de carboni i òxid nítrós (Wathes *et al.*, 1997). Les emissions d'amoniac provenen de les dejeccions dels animals i del maneig dels fems i purins, i representen el 40 % del total de les emissions globals (Subak, 1997).

L'activitat ramadera és la font antropogènica principal d'emissió de metà. Té el seu origen en el procés de fermentació digestiva dels remugants i en la transformació de les dejeccions i dels fems i purins emmagatzemats i representen el 25 % i el 15 % respectivament, de l'emissió global (Haan *et al.*, 1996). S'ha calculat que més del 90 % de l'emissió del metà prové dels animals i la resta dels fems i purins (Silsoe Research Institute, 1997). La FAO (2003) indica que les projeccions per a l'any 2030 de les emissions d'amoniac i metà procedents del sector pecuari augmentaran en un 60 %.

La producció animal intensiva també emet CO₂ amb la mateixa respiració dels animals. A tall d'exemple, una vaca en genera anualment 4.000 kg, una ovella 400 kg, un ésser humà 300 kg i un cotxe 5.500 kg (Verstegen, 1994).

CONTRIBUCIÓ DE LA PRODUCCIÓ AGRÍCOLA I RAMADERA A L'EMISSIÓ GLOBAL DE GASOS

Fins aquí hem analitzat l'efecte de l'agricultura i de la ramaderia com a factors de modificació de la composició de l'aire i la seva participació en el problema del canvi global. Cal assenyalar que, en aquests moments, és difícil fer una valoració de la contribució dels diferents components de les activitats

agrícola i ramadera a l'efecte global, ja que els càlculs teòrics per a determinar les emissions de gasos no tenen en compte sempre les mateixes fonts d'emissió.

En aquest apartat, i a manera de resum, s'analitza l'emissió de gasos a l'atmosfera de les diferents activitats agrícoles i ramaderes. La figura 2 mostra la contribució de cada activitat en percentatge del total emès per l'agricultura i la ramaderia. A la figura 3, s'integra la contribució de gasos d'origen agrícola i ramader a la resta d'activitats humanes a l'emissió de cada gas. Es pot observar que l'emissió de diòxid de carboni representa menys de la quarta part de la causada per l'ús de combustibles fòssils. Contràriament, l'emissió de metà deguda a l'activitat agropecuària és responsable de les tres quartes parts de l'emissió antropogènica global i són la ramaderia i el conreu de l'arròs els que hi contribueixen més. L'agricultura i la ramaderia són en conjunt els principals emissors d'òxid nítrós i representen, també, les tres quartes parts de l'emissió global. L'ús de fertilitzants de nitrogen n'és la causa fonamental i en representa el 40 % aproximadament. Pel que fa a l'emissió d'amoníac, que és un important factor de la pluja àcida, trobem que la ramaderia n'és la causa principal, juntament amb l'aplicació de fertilitzants inorgànics i orgànics i, en conjunt, l'agricultura i ramaderia representen les tres quartes parts de l'emissió global.

AGRICULTURES ALTERNATIVES

Com s'ha vist en els apartats anteriors, l'activitat agrícola i la ramadera amb els sistemes de producció actuals són, cada vegada més, una font important de contaminació de l'aire i també de l'aigua i del sòl i s'han convertit en un dels factors principals de l'impacte ambiental. La necessitat de mantenir un

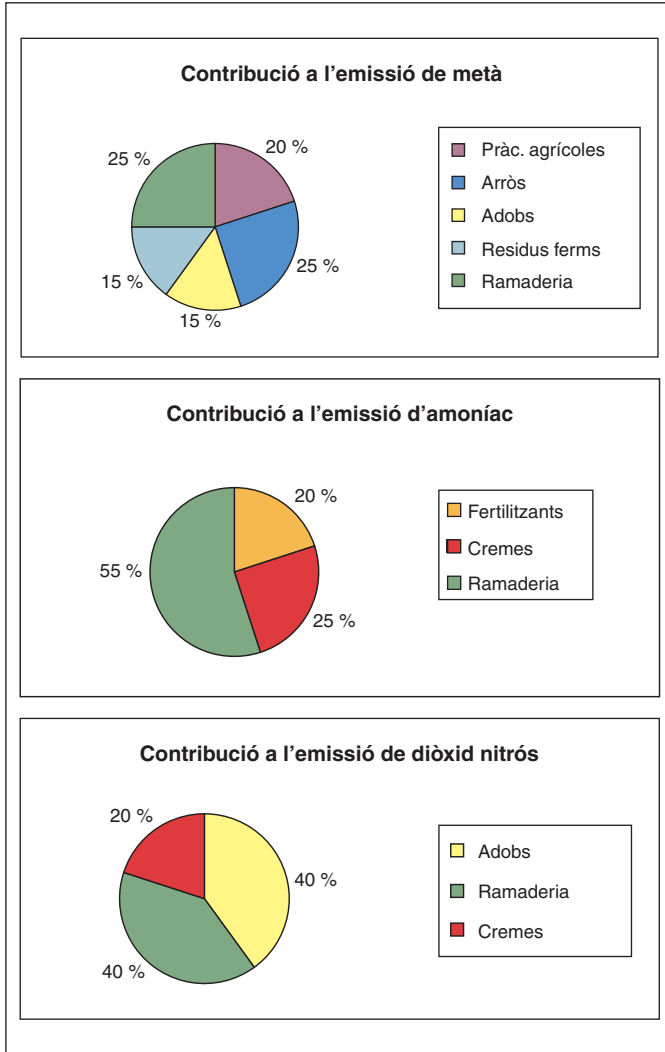


FIGURA 2. Contribució de les activitats agrícola i ramadera a l'emissió de gasos.

FONT: Dades elaborades a partir de diverses fonts.

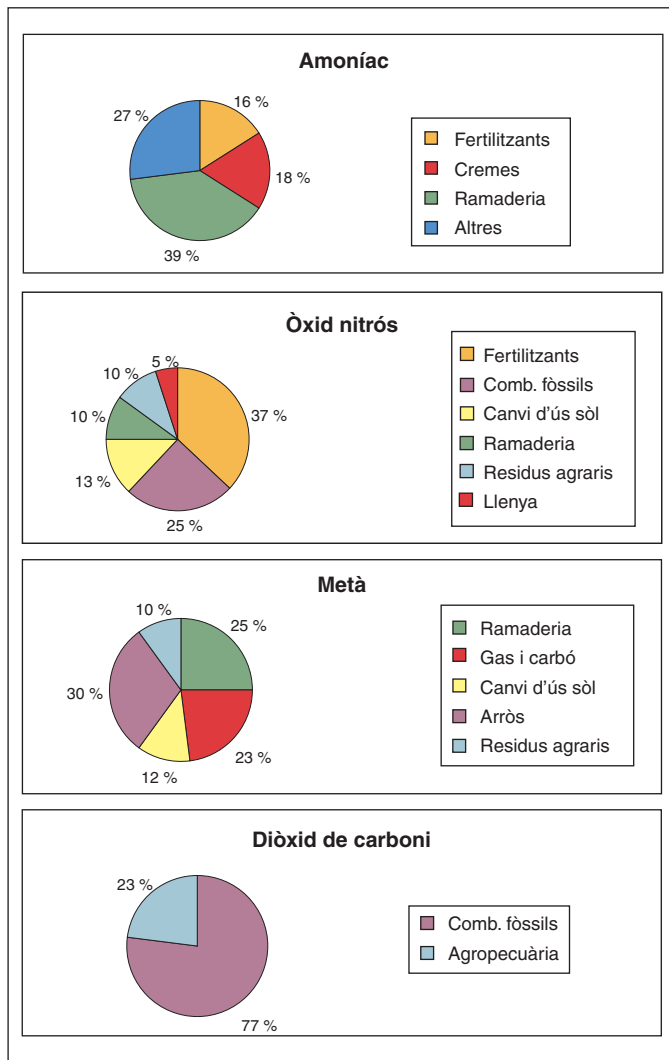


FIGURA 3. Contribució de l'activitat agrícola i ramadera a l'emissió global de gasos.

FONT: Elaboració pròpia a partir de diverses fonts.

sistema productiu i al mateix temps conservar el medi ambient explica l'interès de la societat per trobar sistemes de producció sostenibles. Aquests sistemes es reflecteixen en el protocol de Kyoto de 1997 de la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic. Aquest protocol fa especial èmfasi en la promoció de formes sostenibles de l'agricultura. Fa referència al canvi d'aprofitament de les terres, al conreu de l'arròs, a la fermentació de metà i al maneig dels purins. D'altra banda, ofereix *crèdits de carboni* per als països que millorin la producció agrària amb la utilització racional de fertilitzants, pinsos més eficients, pràctiques agrícoles de conservació i la disminució de cremes, entre d'altres.

Els governs dels països i diferents organismes internacionals vetllen per la sostenibilitat del planeta tot integrant les polítiques agràries i els problemes ambientals derivats de l'agricultura. Així, sorgeixen les anomenades *agricultures alternatives* dirigides a la sostenibilitat, algunes de remota existència i el seu denominador comú és el respecte al medi ambient i, entre altres aspectes, tendeixen a disminuir l'emissió de gasos a l'atmosfera i consideren el paper de l'agricultura com una eina de segrest i emmagatzematge de carboni a sòl per mitigar-ne les emissions

303

Agricultura i ramaderia ecològica

El concepte actual de *agricultura ecològica* és el resultat d'una sèrie de pensaments i reflexions i del desenvolupament de mètodes alternatius de la producció agrària que es van iniciar al principi del segle XX. Els seus orígens els trobem a Alemanya (1913), amb l'agricultura biodinàmica; després a Anglaterra (1940), amb l'agricultura orgànica, i posteriorment a Suïssa, el 1980. L'agricultura ecològica «és un mètode específic de producció que té per objectiu obtenir productes de la

màxima qualitat tot respectant el medi ambient mitjançant l'ús dels recursos naturals i sense aplicació de productes químics de síntesi» (Reglament CEE 2092/91). A partir dels anys vuitanta es produeix un gran desenvolupament a Europa i als Estats Units d'Amèrica. Les causes principals són la demanda dels consumidors de productes de qualitat, la relació entre salut i alimentació, la preocupació per la conservació del medi ambient i el reconeixement de diferents organismes internacionals.

L'agricultura ecològica es basa en els principis i les línies d'actuació següents, que garanteixen la protecció del medi ambient, la salut del consumidor i la qualitat del producte:

- Operacions manuals o mecàniques restringides per millorar l'estructura, l'orejat i la retenció de l'aigua del sòl.
- Rotació i associació de cultius.
- Presència i manteniment de cobertures vegetals de vegetació en els límits de les zones de cultiu.
- Fertilització orgànica natural.
- Integració de l'agricultura i la ramaderia.
- Prevenció i lluita contra les plagues i malalties utilitzant varietats autòctones, lluita biològica, etc.
- Ramaderia ecològica, que s'ha desenvolupat després de l'agricultura (Reglament CE 1804/1999). La ramaderia ecològica es basa a afavorir la diversitat ecològica, la selecció de les races considerant la capacitat d'adaptació a l'entorn i la resistència a les malalties, i, en igualtat de condicions, s'ha de donar preferència a les races autòctones. L'alimentació dels animals es basa en productes obtinguts amb les normes de producció ecològica.

TAULA 4. Segrest de carboni en sistemes agrícoles orgànics i convencionals

Agricultura	Orgànica	Convencional t CO ₂ C ha ⁻¹	Diferència
<i>Cultius comercialitzables</i>			
Biomassa aèria	3,76	4,95	-1,18
Biomassa de l'arrel	1,44	0,89	0,55
<i>Cultius intercalats</i>			
Biomassa aèria	0,55	0,22	0,33
Biomassa de l'arrel	0,22	0,09	0,13
<i>Males herbes</i>			
Biomassa de l'arrel	0,22	0,04	0,17
Biomassa de l'arrel	0,04	0,01	0,03
Total	6,23	6,19	0,04
Aportació energia	0,15	0,29	-0,14
Total	6,08	5,91	0,18
Eficiència del segrest de carboni	42,8	21,6	

FONT: Haas i Köpke (1994).

Diferents estudis indiquen que l'agricultura ecològica presenta un elevat potencial per a reduir l'emissió de gasos a l'atmosfera. Les emissions de CO₂ per hectàrea dels sistemes d'agricultura ecològica són del 48 % al 66 % menors que els dels sistemes convencionals (Stolze *et al.*, 2000). Haas i Köpke (1994) (veg. la taula 4) van calcular que les emissions de CO₂ de granges orgàniques alemanyes ascendien a 0,5 tones de CO₂ per hectàrea. En l'agricultura convencional, aquesta xifra era d'1,3 tones, per la qual cosa es registrava una diferència del 60 %. Molts experiments a llarg termini realitzats en el món reconeixen que la fertilització orgànica (adobament animal, adobament verd, cultiu intercalat i cultiu de cobertura) reconstrueix la matèria orgànica del sòl (Verstegen *et al.*, 1994). Drinkwater *et al.* (1998) van demostrar l'existència d'un guany considerable de matèria orgànica en el sòl, en comparació amb el sistema convencional, amb rendiments comparables.

Pel que fa a l'emissió de metà, no hi ha estudis previs. És probable que la producció orgànica no afecti l'emissió de metà per part dels animals. No obstant això, la proporció més elevada i la menor productivitat dels remugants en la ramaderia ecològica poden ocasionar emissions de metà lleument superiors.

Agricultura de conservació

S'entén com a cultiu de conservació qualsevol sistema que mantingui una coberta orgànica permanent o semipermanent viva o morta sobre el sòl. Els seus inicis daten de 1930 als Estats Units. El seu objectiu és conservar, millorar i fer un ús més eficient dels recursos naturals per mitjà d'un maneig integrat (FAO, 2001). Permet mantenir els nivells actuals de producció i aconseguir una agricultura sostenible en el temps. Aquest sistema de producció es va expandir al final dels anys vuitanta amb la tècnica de la sembra directa, que ha estat una revolució a escala mundial. L'agricultura de conservació es basa en:

- manteniment d'una coberta orgànica permanent o semipermanent sobre el sòl
- sembra directa (SD)
- conreu mínim
- sembra intercalada de cobertes vegetals.

Un dels objectius d'aquestes pràctiques és reduir l'emissió de diòxid de carboni (> 50 %) a l'atmosfera i augmentar el segrest de carboni en el sòl. Uri (2001) estima que el carboni orgànic del sòl dels Estats Units el 1998, atribuïble a l'agricultura de conservació, és de 12,2 milions de tones mètriques i que la tendència per al 2008 és d'augmentar en un 25 %. S'estima que el potencial de l'Agricultura de Conserva-

ció per l'absorció de carboni podria igualar l'increment de CO₂ a l'atmosfera. La superfície dedicada a l'agricultura de conservació era de 58.106.000 hectàrees l'any 2000. S'estima que l'any 2030 augmentarà 150 milions d'hectàrees (FAO, 2004).

Producció integrada

El concepte de *producció integrada* prové del desenvolupament de la lluita integrada contra els enemics naturals de les plantes. La producció integrada és un sistema agrícola de producció d'aliments que utilitza al màxim els recursos i els mecanismes de regulació naturals i assegura a llarg termini una agricultura viable i sostenible. En aquest sistema, els mètodes biològics, culturals, químics i altres tècniques són acuradament escollits i equilibrats, tenint en compte el medi ambient, la rendibilitat i les exigències socials (OILB, Organització Internacional de Lluita Biològica Integrada; Directiva 91/414/CEE, 1991).

Els seus principis es basen a:

- considerar la regulació de tot l'agrosistema
- minimitzar els impactes negatius
- renovar els coneixements dels agricultors
- equilibrar les pèrdues i aportacions de nutrients
- fer un control integrat de plagues i malalties
- avaluar la qualitat dels productes.

Els seus objectius són:

- integrar els recursos naturals tot minimitzant les aportacions de productes externs
- assegurar la producció sostenible d'aliments utilitzant tecnologies respectuoses amb el medi ambient

- eliminar o reduir la contaminació produïda per l'agricultura
- mantenir les múltiples funcions de l'agricultura
- mantenir les rendes de l'explotació.

La producció integrada, a diferència de la producció ecològica, permet la utilització de productes agroquímics de síntesi (adobs, pesticides, etc.), si bé aquesta utilització està restringida a l'ús d'unes determinades matèries autoritzades, que prèviament s'han definit a les normes tècniques específiques de producció per a cada cultiu.

Agricultura sostenible

308

Segons Den Bosch (FAO, 1991), l'agricultura sostenible consisteix en el maneig i la conservació dels recursos naturals i l'orientació dels canvis tecnològics i institucionals de manera que s'asseguri la satisfacció contínua de les necessitats de l'ésser humà per a aquesta i les futures generacions. Aquest desenvolupament (en l'agricultura i silvicultura) implica conservar la terra, l'aigua, els recursos vegetals i animals i ha de ser ambientalment no degradant, tècnicament apropiada, econòmicament viable i socialment acceptable.

A partir d'aquesta declaració, és evident que l'evolució de l'agricultura s'emmarca al voltant de dos conceptes: la multifuncionalitat i la sostenibilitat. L'agricultura no és sols una activitat per a produir aliments per a l'home, sinó que no es pot deslligar de la gestió de l'espai, del medi ambient i del desenvolupament rural, en els quals pot tenir un paper molt important. Les agricultures alternatives ja esmentades tendeixen a aconseguir la sostenibilitat del nostre planeta. Podem dir que l'agricultura sostenible se situa entre l'agricultura ecològica i les altres agricultures alternatives. Totes, entre al-

tres objectius, tendeixen a reduir l'emissió de gasos a l'atmosfera i, a la vegada, augmentar el segrest de carboni de l'atmosfera al sòl. És per això que les organitzacions com la FAO impulsen, cada vegada més, les pràctiques respectuoses amb el medi ambient i, de manera específica, vetllen per la qualitat de l'aire.

CONCLUSIONS

L'agricultura i la ramaderia causen un impacte directe a l'aire, al medi ambient i, en conseqüència, al canvi global. No obstant això, l'agricultura pot ser una eina eficaç per a mitigar les emissions de gasos a l'atmosfera que provenen d'altres activitats antropogèniques, com és la de diòxid de carboni. Els esforços per a incrementar els nivells de carboni del sòl tenen beneficis addicionals en termes de millora de la productivitat i de la sostenibilitat dels sistemes de producció agrícoles. Una de les vies és estimular la pràctica de les agricultures alternatives i, fonamentalment, fer augmentar la superfície de conreu d'agricultura de conservació. En aquest sentit, és de gran importància ajudar a l'establiment d'explotacions agroforestals, atès que són sistemes d'elevada incorporació de carboni atmosfèric al sòl.

D'altra banda, cal millorar l'eficàcia dels fertilitzants com els d'alliberament controlat i la sincronització de l'aplicació de nitrogen al sòl, per tal de disminuir l'emissió de compostos de nitrogen a l'atmosfera.

La regulació i millora de les pràctiques de maneig dels residus agraris són també imprescindibles per a evitar l'augment de gasos d'efecte hivernacle i la pluja àcida.

Pel que fa a la ramaderia, afavorir els sistemes de ramaderia extensiva pot fer disminuir l'emissió de gas metà i de compostos de nitrogen a l'atmosfera i, a la vegada, pot contri-

buir a la conservació del paisatge i a la prevenció d'incendis forestals.

Finalment, i recordant Anaxímenes de Milet, cal dir que l'aire és l'element de la vida. Ell concebí el món com un ésser viu, igual com concebia l'ànima dels homes: «De la mateixa manera que la nostra ànima, que és aire, ens manté, igualment una bufada i l'aire embolcallen el món sencer.» Respectem l'aire, estimem l'aire.

BIBLIOGRAFIA

- ANDREAE, M. (1995). «Biomass Burning». A: *A driver for global change: Environ. Sci. Technol.* Washington: American Chemical Society.
- BOUWMAN, A. F. (1998). «Nitrogen oxides and tropical agriculture». *Nature*, 392, p. 866-867.
- BUTTERBAL-BAHL, K.; PAPEN, H.; RENNENBERG, H. (1997). «Impact of gas transport through rice cultivars on methane emission from rice paddy fields». *Plant Cell and Environment*, 20, p. 1175-1183.
- DOMÈNECH, X. (1991). *La contaminació atmosfèrica*. Barcelona: Barcanova. (Biblioteca Cultural Barcanova; 1)
- DRINKWATER, L. E.; WAGONER, M. W.; SARRANTONIO, M. (1998). «Legume-based systems have reduced losses of nitrogen and carbon». *Nature*, 396, p. 262-265.
- FAO (1991). *La declaración de Den Bosch y el plan de acción para una agricultura y un desarrollo rural sostenibles: Informe de la conferencia*. Conferencia FAO/Países Bajos sobre Agricultura y el Medio Ambiente. S-Hertogenbosch, Países Baixos. W/U3780E/2/1.93/500.
- (2001). *Conservation Agriculture, Matching Production with Sustainability. What is the Goal of Conservation Agriculture?*

- (2002). *Agricultura mundial hacia los años 2015/2030*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento Económico y Social.
- (2003). *State of the world's forests*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- (2004). *Perspectivas para el medio ambiente: Agricultura y medio ambiente*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Departamento Económico y Social. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- GOLDSMITH, E. (2005). *Feeding the world under climate change*. *Institute of Science and Society* [en línea]. <<http://www.i-sis.org.uk/SACI.php>>
- HAAN, C.; STEINFELD, H.; BLACKBURN, H. (1996). *Livestock and the environment: Finding a balance. A study coordinated by the Food and Agriculture Organisation, US Agency for International Development and the World Bank, European Commission*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- HAAS, G.; KÖPKE, U. (1994). «Vergleich der Klimarelevanz ökologischer und konventioneller Landbewirtschaftung». A: *Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des 12. Bundestages (Hg.): Studienprogramm Landwirtschaft Teilband II*. Bonn: Economica Verlag.
- HOUGHTON, J. T. (1995). *Climate change 1994: Radiative forcing of climate change and an evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IRRI (1989). *Towards 2000 and beyond*. Manila, Filipines: International Rice Research Institute.
- LUDEVID, M. (1997). *El cambio global en el medio ambiente*. Barcelona: Marcombo Boixareu.
- MEYER, W.; TURNER, B. (1992). «Human population growth and land use / cover change». *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 23, p. 39-61.

- PÓSFAL, M.; GELENCSEÉR, A.; SIMONICS, R.; ARATÓ, K.; HOBBS, J.; BUSECK, P. R. (2004). «Atmospheric tar balls: particles from biomass and biofuel burning». *Journal of Geophysical Research-Atmospheres (JD)*, paper 10.1029/2003JD004169.
- SILSOE RESEARCH INSTITUTE (1998). *Biennial report 1996-1998*. Bedford: Silsoe Research Institute, p. 49-50.
- STOLZE, M.; PIORR, A.; HARING, A.; DABBERT, S. (2000). *The environmental impacts of organic farming in Europe*. Vol. 6. Stuttgart: Universitat de Hohenheim.
- SUBAK, S. (1997). «Full cycle emissions from extensive and intensive beef production in Europe». A: ADCER, W. N.; PETTENELLA, D.; WHITBY, M. [ed.]. *Climate-change mitigation and European land-use policies*. Wallingford: CAB International, p. 145-157.
- URI, N. (2001). «Conservation practices in U. S. agriculture and their impact on carbon sequestration». *Environmental Monitoring and Assessment*, 70, p. 323-344.
- VERSTEGEN, M.; TAMMINGA, S.; GREERS, R. (1994). «The effect of gaseous pollutants on animals». A: AP DEWI, I. [et al.] [ed.]. *Pollution in livestock systems*. Wallingford: CAB International, p. 71-79.
- WATHES, C. M.; HOLDEN, M. R.; SNEATH, R. W.; WHITE, R. P.; PHILLIPS, V. R. (1997). «Concentrations and emission rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses». *British Poultry Science*, 38, p. 14-28.

SOCIETAT CATALANA
D'ESTUDIS JURÍDICS
EL RÈGIM JURÍDIC DE L'AIRE,
A CÀRREC DE
JOSEP ESTEVE PARDO,
DE LA UNIVERSITAT
DE BARCELONA

1. LES PARADOXES DEL RÈGIM JURÍDIC DE L'AIRE

El tractament jurídic de l'aire és paradoxal i contradictori. D'una banda, l'aire sembla no existir per al dret, sobretot per al dret que s'imposa al segle XIX i que considera únicament com a matèria tot el que és objecte d'apropiació, transmissió, negociació, explotació. L'aire queda al marge dels circuits comercials i jurídics, perquè no és susceptible d'apropiació: no és un bé. Aquest plantejament està explícitament formulat a l'article 333 del Codi civil: «Totes les coses que són o poden ser objecte d'apropiació es consideren béns mobles o immobles.» En la mesura en què l'aire no és susceptible d'apropiació, no pot considerar-se un bé i, per tant, no existeix per al dret civil. Amb l'excepció irrellevant dels casos d'embotellament o emmagatzematge de l'aire.

314

D'altra banda, hi ha un desenvolupament legislatiu cada vegada més elaborat i ferm que fa de l'aire o, més ben dit, de l'atmosfera, l'objecte de la seva atenció. La perspectiva que s'adopta aquí és, inequívocament, la del dret públic: l'aire es considera com un element, un recurs natural d'importància vital per al conjunt no ja de la societat, sinó de la vida en el planeta. Així, no és d'estranyar, tal com tindrem ocasió de comprovar, que l'aire, l'atmosfera, estigui en el centre de regulacions d'abast planetari a partir d'acords amb aquest àmbit i amb aquesta perspectiva. El protocol de Kyoto n'és un exponent molt clar.

La paradoxa a què em refereixo és, doncs, com tota paradoxa, una contradicció aparent: des de la perspectiva privatista, l'aire no és objecte d'atenció, no és privatitzable, però, en canvi, des de la perspectiva iuspublicista, l'atenció que es presta a l'atmosfera com a recurs col·lectiu, universal, és cada cop més gran.

2. EL DRET ROMÀ I EL DRET MEDIEVAL

Si al llarg de la història el dret s'ha ocupat de l'aire ha estat, invariablement, en la perspectiva col·lectiva, com un bé d'ús comú. El dret romà ho considerava d'aquesta manera. En el *Digest*, la gran recopilació del dret romà que promou l'emperador Justinià, es parla dels béns i recursos que pertanyen al conjunt de la comunitat: l'aire, els cursos fluvials d'aigua, mars, litoral: «Et quidem naturali iuri omnium comuna sunt illa: aer et aqua proflumen et mare et per hoc litora maris.»

El dret de l'edat mitjana també va parlar una atenció particular als béns d'ús col·lectiu. Les grans recopilacions s'hi refereixen de manera decidida i proclamen la destinació pública a la qual són cridats. Així es recull a la recopilació del dret català que es conté en els *Usatges de Barcelona* o en les *Partidas*, la gran recopilació del dret de Castella.

Curiosament, en aquests textos no es menciona l'aire, a diferència del que passava, com acabem de comprovar, en els textos molt més antics del dret romà. L'explicació rau potser en el fet que, si bé durant el període clàssic, i de manera destacada el grec, s'havia prestat molta atenció a l'aire, un bé que hi exercia una clara fascinació, durant l'edat mitjana s'abandona aquesta preocupació filosòfica sobre l'aire i, així, no és estrany que aquesta realitat intangible i inapropiable quedi al marge dels textos legals.

315

3. LA NOVA PERCEPCIÓ DE L'AIRE I COM ES REFLECTEIX EN LA LEGISLACIÓ

A partir dels coneixements científics que s'adquireixen a Europa al segle XVIII, el tractament jurídic de l'aire segueix d'alguna manera l'estela que li marquen aquests coneixements i el desenvolupament tecnològic.

L'aire no solament es concep com un valor en si mateix, pels gasos que el componen tan necessaris per a la vida, sinó amb la nova perspectiva que obren els desenvolupaments tecnològics, sobretot en matèria de transport. El desenvolupament del transport aeri comporta la necessitat de regular l'espai aeri en què es duu a terme. Les regulacions, en un primer moment parcials i limitades, necessiten de manera ineludible una resposta global i internacional, perquè aquestes són les dimensions de l'espai aeri. La resposta més rellevant que avui continua constituint la base de la regulació del trànsit aeri és, sens dubte, la Convenció d'Aviació Civil de Chicago de l'any 1944.

En tot cas, l'aire comença a guanyar protagonisme com a objecte de regulació quan, ja ben entrat el segle XX, es fan molt patents els efectes del desenvolupament industrial. Malauradament aquests efectes no són positius i tenen una manera comuna de manifestar-se: la contaminació. Una contaminació que no solament incideix sobre l'aire, tot degradant-lo, i que és el que podem caracteritzar com la contaminació atmosfèrica, sinó que presenta altres manifestacions que es propaguen a través d'aquest mitjà. Unes modalitats de contaminació que només molt recentment, en els darrers cinc anys, s'han fet perceptibles en la legislació: la contaminació acústica, la contaminació electromagnètica i la contaminació lumínica.

4. LA LEGISLACIÓ SOBRE LA PROTECCIÓ DE L'ATMOSFERA

Fa més de trenta anys, encara en temps de la dictadura del general Franco, es va aprovar la Llei de protecció de l'atmosfera de 1972. Una llei extraordinàriament moderna per l'època, i sobretot per aquell entorn polític. Una llei tan avançada aleshores que continua plenament vigent actualment, amb l'única modificació que allà on la Llei parlava de governadors civils

cal que es parli avui dels subdelegats del Govern. El contingut inusitadament modern d'aquesta Llei té, no obstant això, una explicació dramàtica.

Durant la dècada dels anys setanta del segle passat, el mostrari del desenvolupament industrial que és la ria del Nervión i la seva arquitectura va experimentar un desenvolupament industrial espectacular, centrat sobretot en l'explotació dels alts forns. Aquest desenvolupament va atraure un nombre molt gran de treballadors immigrants, que es van instal·lar en condicions molt desfavorables a prop dels focus de contaminació. A l'estiu de 1969 la contaminació atmosfèrica va assolir uns nivells absolutament insostenibles. Al municipi d'Erandio, a la riba dreta de la ria, per a molts veïns es feia difícil respirar, sobretot a la nit, durant la qual era pràcticament impossible dormir. Es van produir revoltes en senyal de protesta, que van ser reprimides violentament per la policia. Un veí fou abatut i mort a la finestra de casa seva per un tret de bala de la policia. L'endemà, la reacció dels veïns, que havien convocat una manifestació, va ser reprimida amb la mateixa duresa per la policia, que va causar la mort d'un jove de trenta anys. Aquests successos luctuosos van donar lloc a un consell de guerra que, en conèixer la situació inhumana de contaminació atmosfèrica, relativament freqüent a la zona, va reclamar del Govern l'adopció de mesures amb l'objectiu d'evitar aquestes situacions en el futur.

Inspirant-se en les legislacions més avançades, es va elaborar aleshores la que encara és vigent Llei de protecció de l'atmosfera de 1972. Una llei, com s'ha dit, molt avançada per l'època i l'entorn polític en què es va dictar, significativament centrada en les situacions de contaminació greu i en la declaració de zones d'atmosfera contaminada i en zones en situació d'emergència. Es va tenir en compte per primera vegada en un text legislatiu el que tristament havia estat una realitat massa reiterada a la ria del Nervión.

Després de l'aprovació dels estatuts d'autonomia, les comunitats autònomes van assumir competències legislatives rellevants en aquesta matèria, que han exercit dictant lleis —entre les primeres, la Llei catalana de protecció de l'ambient atmosfèric— per a la prevenció i el control de la contaminació atmosfèrica en situacions més ordinàries que les que tan dramàticament es van produir a Erandio i que van suscitar aquesta legislació per a supòsits de contaminació greu i d'emergència.

5. LA CONTAMINACIÓ GLOBAL I L'ESCALFAMENT DEL PLANETA

L'altre front d'actuació contra la contaminació atmosfèrica presenta tres trets que el caracteritzen. Són tres components amb una clara articulació lògica: cada un és conseqüència o efecte de l'anterior.

El primer tret és l'objecte d'atenció: la contaminació global o planetària que es pretén contenir i reduir. Però ja des d'ara cal precisar que, malgrat que aquest és certament l'objecte directe que marca decisivament el programa d'actuació, es tracta d'un objectiu mediat per a assolir l'objectiu últim, que és conjurar el risc global que planeja amb l'escalfament del planeta.

El segon tret es localitza en les característiques i l'estructura del règim que es configura per a assolir aquell objectiu. Des del moment en què aquell objectiu té un marcat abast internacional, la cobertura bàsica d'aquest règim també es troba en instruments del dret internacional. Un règim, com és sabut, que té el nucli al voltant del protocol de Kyoto, però del qual deriven regulacions molt determinades i compromeses per al dret intern i per als agents contaminants.

El tercer component afecta les fórmules i tècniques jurídiques que es dissenyen per a operar en aquest front. El més

destacable és la novetat que —almenys en el nostre ordenament jurídic— presenten les categories i fórmules centrals en aquest sistema: els drets d'emissió, l'assignació de quotes, les transaccions que poden realitzar-se, el peculiar mercat que es configura així. Aquesta novetat que, repeteixo, es presenta així per a nosaltres i no, per descomptat, per als que han anat operant amb aquestes fórmules en altres ordenaments, deriva de la dada que s'ha destacat en el paràgraf anterior: la base del sistema que es configura l'ofereix un acord i programa internacional en el qual hi ha presents estats amb sistemes jurídics diferents. Aquests estats aporten, i en certs casos pretenen introduir-los i generalitzar-los, models i fórmules que, per a alguns sistemes jurídics, són els propis, aquells amb els quals estan plenament familiaritzats, mentre que per a d'altres resulten totalment nous.

L'instrument impulsor i totalment central del règim que es dissenya és, sens dubte, el protocol de Kyoto a la convenció marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic, l'aprovació inicial del qual es produeix el 12 de desembre de 1997. Es tracta d'un acord internacional, precedit d'antecedents i avatars diversos, que s'obre a un procés de ratificació per part dels estats, el qual també ha estat complex, i sense que encara no s'hagi tancat del tot.

És a la cimera de Rio de Janeiro, el 1992, on es va abordar frontalment el problema del canvi climàtic i es van iniciar els treballs que van cristal·litzar en el protocol de Kyoto de 1997. A partir d'aquí s'inicia el tortuós procés de ratificació per part dels estats. L'any següent, el president dels Estats Units, Bill Clinton, va firmar el protocol, però no es va poder ratificar, perquè el senat d'aquell país, a qui correspon la decisió última sobre ratificació de tractats internacionals, s'hi va oposar. Des d'aleshores, els Estats Units han mantingut una posició distant en relació amb Kyoto —pels costos econòmics i la pèrdua de llocs de treball que podria compor-

tar— i han plantejat un programa, no gaire definit, certament, d'energies alternatives. Un pas molt important es produeix amb la ratificació del tractat per part de la Unió Europea, el 2002. El grup líder en l'impuls del projecte de Kyoto el formen aleshores el Japó, el Canadà i, per descomptat, Europa. El 2004, el protocol és ratificat per Rússia —afavorida, sens dubte, per la desactivació de bona part del seu teixit industrial, pesat i obsolet, amb origen en l'època estalinista—, la qual cosa té un efecte important: es donen les exigències de ratificació exigides perquè entri en vigor en el pla internacional.

En tot cas, per a nosaltres, el moment determinant és quan la Unió Europea ratifica el protocol de Kyoto el 30 de maig de 2002. Aquesta ratificació vincula tots els estats membres i suposa el compromís decidit de la Unió Europea d'impulsar i coordinar el compliment dels objectius de Kyoto. Amb aquesta intenció, s'aprova la Directiva 2003/87/CE del Parlament Europeu i del Consell de la Unió Europea, de 13 d'octubre de 2003.

Aquesta directiva constitueix la vinculació més intensa als estats europeus perquè adoptin les mesures pertinents, legislatives i executives, a fi que es compleixin els objectius fixats, que són, en molt bona mesura, els establerts al protocol de Kyoto. Després d'una demora injustificable, la primera mesura rellevant que adopta l'Estat espanyol és el Reial decret llei 5/2004, de 27 d'agost, pel qual es regula el comerç de drets d'emissió de gasos d'efecte hivernacle. Pocs dies després, s'aprova el Reial decret 1866/2004, de 6 de setembre, pel qual s'aprova el Pla Nacional d'Assignació de Drets d'Emissió, 2005-2007. Arribem, així, als instruments i les fórmules jurídiques que estan cridades a operar en el sistema que es configura a partir de Kyoto.

6. LA CONTAMINACIÓ ELECTROMAGNÈTICA

En els darrers temps, els possibles riscos, sobretot per a la salut humana, derivats de la contaminació electromagnètica, capaç de propagar-se per ones en absència de matèria —per la qual cosa també se l'ha anomenada *contaminació per ones*—, han causat una gran preocupació social. A l'eix d'aquestes preocupacions se situen un nombre elevat de sentències —de signe, per cert, molt divers— generades arran de la instal·lació d'antenes de base de telefonia mòbil.

Les raons d'aquesta alarma social són diverses: el ràpid desplegament d'aquestes noves instal·lacions en una geografia urbana molt saturada ja de focus contaminants, als quals se n'afegeix un de nou i, sobretot, la falta d'un coneixement cert i concloent, unànime en la comunitat científica sobre la innocuïtat o els possibles efectes sobre la salut humana d'aquestes radiacions electromagnètiques. Una alarma a la qual, certament, ha pogut contribuir algun cas controvertit i inquietant com el del col·legi públic García Quintana, de Valladolid, en el qual es van registrar dos casos de càncer i un de limfoma, i a la vora del qual hi havia una extensa instal·lació d'antenes de telefonia, en aquest cas, telefonia fixa.

Som aquí en un sector ben característic del risc: té l'origen en una tecnologia i els seus efectes són incerts. El formidable problema per al dret i els seus operadors és establir una regulació i adoptar decisions en un entorn d'incertesa científica. I el cert és que, malgrat que no hi ha unanimitat i certesa total entre la comunitat científica la qual, entre altres dades, necessita temps —vint o trenta anys— per a conèixer aquests efectes en la salut humana, ja hi ha multitud de decisions normatives, administratives i judicials sobre aquesta matèria.

Per bé que es tracta d'un sector nou, pendent de regulació en diversos aspectes i mancat encara de sistematització jurídica, poden assenyalar-se alguns elements rellevants del

seu règim actual, i destacar ja que els seus eixos principals són l'avaluació i la gestió de riscos.

Cal mencionar, en primer terme, la Recomanació 1999/519/CE, de 12 de juliol, del Consell de la Unió Europea, que limita l'exposició del públic en general als camps electromagnètics.

En relació amb aquesta recomanació, i ja en l'òrbita de l'Estat espanyol, cal destacar l'informe, promogut pel Ministeri de Sanitat, *Campos electromagnéticos y salud pública* del Comité de Expertos Independientes, de maig de 2001. En aquest informe es conclou que «no pot afirmar-se que l'exposició a CEM (camps electromagnètics) dins dels límits establerts en la Recomanació del Consell de Ministres de Sanitat de la Unió Europea relativa a l'exposició del públic en general a CEM de 0 Hz a 300 GHz produeixi efectes adversos per a la salut humana». En la primera recomanació de l'informe s'afirma que «per un principi de precaució convé que el Ministeri de Sanitat i Consum estableixi una normativa que reguli l'aplicació dels principis recollits en la Recomanació del Consell». També es recomana que, per un principi de precaució, caldria «evitar que el feix d'emissió directa de les antenes de telefonia afecti els espais sensibles com escoles, centres de salut, hospitals o parcs públics», igualment «cal que es fomentin estudis epidemiològics en poblacions exposades», i «caldria que es fessin estudis d'avaluació del risc que permetin identificar les fonts o pràctiques que donen lloc a exposició electromagnètica».

El mateix any s'aprova la norma que regula de manera més directa i extensa aquesta matèria: el Reial decret 1066/2001, de 28 de novembre, que aprova el reglament que estableix les condicions de protecció del domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitària davant d'emissions radioelèctriques. Una norma molt tècnica i complexa que presenta com a aspecte més destacat la constant avaluació i gestió de riscos.

En l'àmbit judicial, les sentències són abundants, sobretot en la jurisdicció civil i l'administrativa, amb solucions molt diverses. Pot destacar-se'n algun aspecte particularment controvertit o nou.

Una qüestió cabdal que es planteja en molts casos és la determinació del risc. Acaba reduint-se a un problema, capital, de prova, sobre el qual poden establir-se dos criteris.

Primer, sembla equitatiu del tot i convenient que aquesta càrrega de la prova recaigui sobre l'empresa que promou la instal·lació d'aquestes tecnologies. Aquest és un plantejament, tal com ens consta, molt arrelat en les tendències que des de fa un temps es desenvolupen a Europa en matèria de litigació mediambiental: el qui introdueix la tecnologia i el risc tecnològic no solament ha d'acreditar-ne la innocuïtat, sinó que en té, a més, un coneixement que no té el particular demandant. La regla tradicional del procés civil que és el demandant qui carrega amb la prova el deixaria aquí en una situació de clara inferioritat.

D'altra banda, no pot exigir-se a l'empresa instal·ladora una prova concloent de la total innocuïtat de les seves instal·lacions. Caldria verificar la prova d'acord amb l'estat de coneixements del moment.

Finalment, cal destacar que aquesta és una matèria en la qual, per les incerteses que es poden generar i els riscos sobre la salut que es consideren, el principi de precaució —amb els pressupòsits i les condicions que referim en estudiar-lo— pot donar cobertura a l'adopció per part dels poders públics de mesures d'excepció per a la salvaguarda de la salut.

7. LA CONTAMINACIÓ LUMÍNICA

Es tracta, també, d'una modalitat de contaminació per radiacions, radiacions òptiques, que encara és objecte d'estudi,

però que compta ja amb algunes respostes normatives interessants.

Aquesta contaminació té l'origen en les tecnologies d'il·luminació artificial i projecta en dos fronts els seus efectes negatius.

Un és l'estrictament personal, per la intromissió de la llum en la vida privada, amb la incidència que pot tenir sobre el son i el descans. Aquest és un efecte que produeixen amb freqüència diversos focus lumínics —fanals, rètols publicitaris, etc.— localitzats sobretot a les zones urbanes, on és més gran la proximitat d'aquests focus als habitatges.

Un altre front d'incidència de les radiacions lumíniques és el que afecta les condicions de visibilitat nocturna i el comportament dels éssers vius, animals i plantes, que pot veure's alterat per aquestes radiacions. És un tipus de contaminació no perceptible en molts casos per a l'ésser humà, però que sí que ha estat objecte d'atenció científica, per part d'astrònoms, fonamentalment.

Les estrelles amb prou feines es veuen des de les grans ciutats. No obstant això, fins als paratges més remots, on podem contemplar el cel estrellat en tota la seva esplendor, pot arribar la contaminació lumínica. Per posar un exemple: a prop de l'ermita de Bell-lloc, des d'on s'obtenen unes vistes excel·lents de la Cerdanya, hi ha les ruïnes d'un observatori astronòmic la construcció del qual va haver d'abandonar-se quan es va comprovar que l'afectava la contaminació lumínica procedent de la ciutat de Barcelona, a quasi dos-cents quilòmetres de distància.

Les respostes normatives a la contaminació tenen distinta procedència, en atenció als efectes que pretenguin combatre en cada cas.

El primer tipus de contaminació, que afecta fonamentalment les persones i els seus espais de residència i repòs, està trobant una reacció severa i restrictiva a través, so-

bretot, d'ordenances municipals, especialment a les ciutats grans.

La contaminació més difosa, menys perceptible per a l'ésser humà, que afecta les condicions de vida d'altres organismes i els estudis astronòmics, ha rebut fins ara una regulació molt escassa, sens dubte per la seva especificitat tècnica. En aquest sentit, pot citar-se, com a pionera, la Llei estatal 31/1988, de 31 d'octubre, de protecció de la qualitat astronòmica dels observatoris de l'Institut de Astrofísica de Canàries.

Una regulació pretesament integral dels diferents aspectes de la contaminació lumínica és la que ofereix la Llei catalana 6/2001, de 31 de maig, d'ordenació ambiental de l'enllumenat per a la protecció del medi nocturn.



**INSTITUCIÓ CATALANA
D'HISTÒRIA NATURAL (2)
CICLES DEL CARBONI AL BOSC:
PENSAMENT GLOBAL,
ACTUACIÓ LOCAL,¹
A CÀRREC DE
RUSSELL MONSON,
DE LA UNIVERSITAT DE COLORADO,
ESTATS UNITS D'AMÈRICA**

1. El text que segueix és una transcripció lliure feta per Josep Enric Llebot a partir de l'enregistrament de la conferència pronunciada pel professor Russell Monson a l'Institut d'Estudis Catalans el dia 6 d'abril de 2005.

En aquest text tractarem del segrest del carboni de l'atmosfera en diversos ecosistemes de la Terra. Abans, però, vull fer esment a la segona part del títol, «Pensament global, actuació local», que és una frase que tenim als Estats Units que va començar a aparèixer als adhesius dels para-xocs dels cotxes fa uns quants anys. El sentit d'aquesta frase és posar en relleu que molts problemes globals amb els quals la humanitat s'enfronta actualment són massa grans perquè una sola persona els pugui solucionar o hi pugui intervenir. Alguns problemes són tan grans que és molt fàcil frustrar-se i pensar que una persona individual no pot influir en la pobresa o en la fam del món i, per tant, es resigni a no fer res. De fet, l'objectiu d'aquesta dita és transmetre que cadascun de nosaltres pot fer alguna cosa pel nostre medi ambient local. Si tothom fes alguna cosa pel medi ambient local i se sumessin aquests esforços, aleshores sí que es produiria un impacte global.

Així doncs, el que vull fer és utilitzar aquest mateix objectiu per tractar un tema científic que està relacionat amb una qüestió d'una gran importància global: l'impacte de les perturbacions recents en el cicle global del carboni i els possibles efectes que tindran en el nostre clima i en la vegetació de tota la Terra. A escala global, és molt complicat comprendre el cicle del carboni; hi ha força gent que estudia aquest tema i obté progressos, però les incerteses encara són enormes si pensem a escala global. I el que s'explica a continuació tracta dels esforços que alguns científics, com jo, estem fent per provar i fer estudis a escala local i adaptar-los a escala global.

L'informe més recent del Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic, publicat el 2001, destaca els forçaments radiatius que sorgeixen a partir de canvis en la composició atmosfèrica, l'alteració de la reflectància de la superfície per l'aprofitament de la terra i la variació de l'emissió

solar. Aquests forçaments afectaran l'escalfament climàtic de la Terra i plantegen diverses qüestions amb les quals ens enfrontem al planeta Terra en el mil·lenni i la dècada actuals que cal que tinguem en compte. Són efectes que tenen la capacitat d'afectar globalment el clima, i incideixen, per exemple, en els models de migració o en els models sanitaris, i per tant, són temes molt importants. El possible escalfament climàtic s'expressa en unitats de watts/m², i la causa de la qual es té més constància, l'augment dels gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera, és d'uns 2,5 watts/m² sobre tot el globus. Hi ha altres factors possibles que poden influir sobre el clima del globus, com l'ozó estratosfèric o els canvis en els usos del sòl i el seu impacte en la reflectància de la Terra, però el grau de confiança sobre el valor del seu forçament radiatiu és molt baix. Per tant, dels diferents factors que influeixen sobre el clima tenim plena confiança solament en un d'aquests: l'augment de la concentració de CO₂ a l'atmosfera. Diferents països de tot el món han destinat molts diners a la recerca en aquest camp —la Unió Europea inverteix força milions d'euros l'any en aquest tema—, i diversos grups de la Unió participen en alguns d'aquests esforços. En aquest text em vull centrar en el CO₂, i un altre cop, destaco que confiem plenament —almenys així ho considerem— en el nostre grau de comprensió del seu forçament radiatiu. Però quan realment intentem descompondre el forçament en números específics lligats al cicle global del carboni, com veurem tot seguit, les incerteses *augmenten* i el grau de confiança disminueix molt ràpidament.

A la figura 1 podem veure la concentració atmosfèrica de CO₂ durant el darrer mil·lenni. Del 1000 al 2000, molta d'aquesta informació prové dels estudis dels testimonis de gel —en concret, de testimonis molt vells—, on s'analitza el CO₂ que s'hi troba atrapat. Aleshores es pot veure com al segle XIX, quan es va començar a desenvolupar la revolució industrial a Europa, la concentració de CO₂ va començar a augmentar rà-

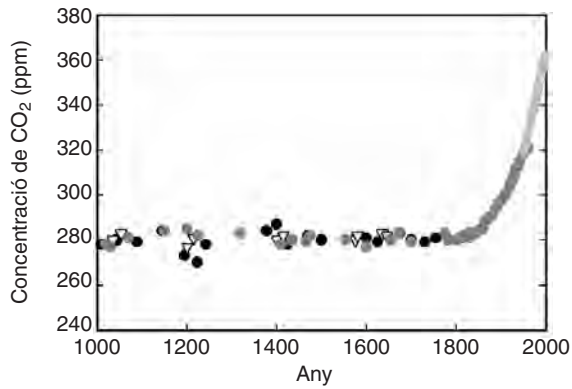


FIGURA 1. Concentració atmosfèrica de CO₂ durant el darrer mil·lenni.

330

pidament a l'atmosfera. Realment, es percep la rapidesa d'aquest augment quan s'observa tot el mil·lenni sencer. Des de l'any 1958 hem mesurat el CO₂ contínuament a l'observatori de Mauna Loa a Hawaii, mesures que Charles Keeling va promoure que es fessin als anys cinquanta. Aquest augment de CO₂ a l'atmosfera és el que ens fa posar en alerta, ja que té relació amb el forçament radiatiu del qual hem parlat en el paràgraf anterior i que pot tenir efectes molt importants en el planeta Terra.

EL CICLE DEL CARBONI

Què entenem per *cicle global del carboni*? El que es veu a la figura 2 és el cicle global del carboni tal com l'enteníem abans que l'acció humana comencés a influir-hi al final del segle XIX. El cicle del carboni de tot el globus abans que els éssers humans comencessin a alterar-lo de manera significa-

tiva estava relativament equilibrat. Els ecosistemes de la Terra alliberen cada any a través de la respiració uns 60 Pg (els fluxos i els embornals de carboni s'expressen en petagramms o 10^{15} grams de carboni per any), que és el que tornen a recuperar amb la fotosíntesi; aleshores la part terrestre del cicle queda més o menys equilibrada, així com la part marina o oceànica del cicle amb els 90 Pg que els oceans emeten i els 90 Pg que absorbeixen. I naturalment, l'atmosfera és una gran reserva de carboni, principalment en CO_2 —no tan gran, és clar, com els oceans, però no obstant això n'és una part significant. Però, excepte els oceans, que tenen capacitats d'emmagatzematge de carboni molt estables, el carboni de l'atmosfera és una mica volàtil, en el sentit que s'intercanvia ràpidament amb els ecosistemes. Al final del segle XIX, vàrem començar a reconèixer que diverses activitats humanes, com ara diferents activitats industrials i d'automoció, pertorben

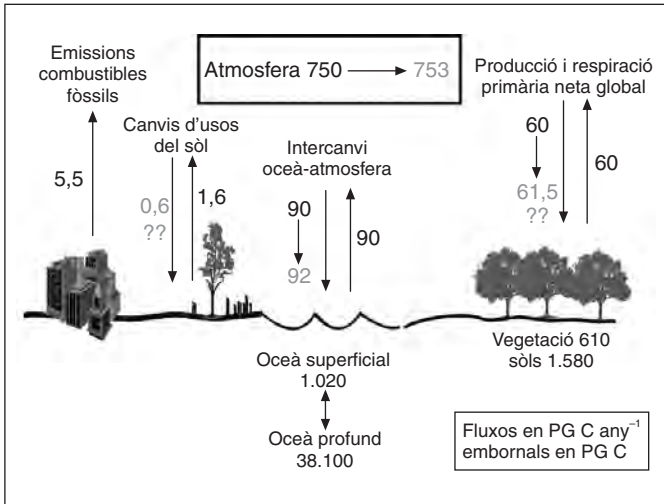


FIGURA 2. *Cicle global del carboni.*

aquest cicle i augmenten el CO_2 a l'atmosfera. Principalment, a causa de les emissions lligades a l'ús de combustibles fòssils, la quantitat de CO_2 a l'atmosfera augmenta anualment 5,5 Pg de carboni. Així s'emeten a l'atmosfera uns 5,5 mil milions de tones de CO_2 per any, a les quals s'han d'afegir les quantitats de CO_2 que s'emeten a l'atmosfera associades als canvis en els usos del sòl, principalment, la desforestació dels tròpics, la tala d'arbres i la crema d'arbres per fer terres de pastura (aquesta crema retorna unes 1,6 Gt de carboni a l'atmosfera). Així, s'emeten aproximadament 7,1 Pg de carboni per any a l'atmosfera. On va a parar aquest carboni? Si emetem 7,1 mil milions de tones de CO_2 a l'atmosfera, aquest ha d'anar a algun lloc, i és important saber-ho si volem entendre les accions que s'indueixen sobre el funcionament radiatiu de la Terra.

Sabem que dels 7,1 Pg que s'emeten únicament uns 3 Pg romanen a l'atmosfera. Això ho sabem gràcies al control portat a terme a llocs com a Mauna Loa a Hawaii i al pol Sud, on hi ha estacions de mesura a llarg termini. Així, els altres 4,1 Pg han de tornar a algun lloc de la biosfera. I aquesta és la gran qüestió que recentment els científics intentem esbrinar. Tenim molt bones mesures de les aigües dels oceans —podem prendre mostres de totes les aigües oceàniques del globus, i sabem que uns 2 Pg addicionals van a parar a l'oceà cada any. Aquest número ha fet variar el balanç a què ens referíem abans, que ha passat de 90 Pg a 92 Pg. Pensem que un 0,6 Pg torna a la Terra, perquè els canvis en l'ús del sòl han disminuït lleugerament des del segle anterior. En el passat va desaparèixer molt sòl forestal, en concret a l'Amèrica del Nord —per exemple, a la zona nord-est d'Amèrica del Nord, que és on es trobaven aquestes àrees, on els boscos es van tallar amb fins agrícoles— i ara s'ha permès que aquests boscos puguin créixer novament. I, per tant, això ha fet que la situació millori.

Finalment, pensem que 1,5 Pg l'any addicionals tornen a ecosistemes terrestres, als diferents boscos de la Terra. En resum, als llocs assenyalats amb interrogants a la figura 2 és on hi ha més incertesa. En canvi, sabem del cert que 2 Pg entren a l'oceà i que 3 Pg romanen a l'atmosfera.

Per tant, a continuació discutirem sobre la incertesa d'aquests 1,5 Pg l'any que tornen als ecosistemes terrestres. Per il·lustrar-la permeteu-me esmentar tres estudis que s'han fet els últims cinc anys. Tots tres van ser publicats a la prestigiosa revista *Science*, i per tant, gaudeixen de força credibilitat, ja que contenen les millors aportacions que els científics podien oferir en el moment de la publicació. En el primer estudi, que es va publicar el 1998, el doctor Fan i els seus col·laboradors van intentar fer un balanç de carboni només per als Estats Units. Van trobar que els Estats Units tots sols absorben 1,7 Pg de carboni l'any. Per tant, aparentment els Estats Units podien fer front tots sols al total de l'absorció de carboni d'1,5 Pg any. Naturalment, aquest fet va alegrar els polítics dels Estats Units perquè podien dir: «Tot i que nosaltres produïm la majoria del CO₂ que va a l'atmosfera, el nostre país també n'absorbeix la major part —de fet, absorbeix tot el CO₂ que tot el món emet a l'atmosfera.»

Molts científics van pensar que hi havia quelcom sospitós en aquell estudi, alguna cosa que no quadrava. Atentament a les lleis de conservació no es pot crear més CO₂ del que va als ecosistemes. Com es pot solucionar aquest problema? Dos anys després, un altre grup de científics va fer un estudi per investigar-ho, també publicat a *Science*, el 2000, i van concloure que el grup de Fan s'havia equivocat en el càlcul. Els Estats Units no absorben 1,7 Pg sinó 0,2 Pg. Per tant, en dos anys i en una de les revistes més reconegudes del món podem veure com els Estats Units passen d'absorbir el carboni de tot el món a només fixar-ne una fracció ben petita.

Un any més tard, Steve Pacala i el grup de Princeton van publicar un altre article a *Science* on van dir que la xifra es trobava probablement entre aquests dos valors.

El que vull destacar aquí sense pretendre menysprear ningú, ja que són estudis molt ben elaborats, és que hi ha coses que no s'entenen *en absolut!* Les incerteses són immenses! Si s'intenta calcular la quantitat de carboni que entra als ecosistemes d'un país —escollint els millors experts per fer el càlcul— s'obtidran xifres molt discrepans. I aquesta és precisament la part global sobre la qual parlava al principi d'aquest escrit: les incerteses són enormes —no ho entenem tot. Com comencem a tractar aquestes incerteses? Necessitem retrocedir, començar a poc a poc, a escala local, entendre les coses i aleshores tornar a fer els càlculs globals. És, doncs, massa difícil començar a gran escala i pensar que obtindrem els números correctes amb tantes incerteses.

ELS INTERCANVIS DE CO₂ I ELS ECOSISTEMES TERRESTRES

Un dels majors reptes en la comprensió del cicle global del carboni durant les primeres dècades del segle XXI serà definir millor els intercanvis de CO₂ de la superfície de l'atmosfera en els ecosistemes terrestres. Com mesurem l'intercanvi de CO₂ de la superfície de l'atmosfera en ecosistemes terrestres? A continuació em submergiré en temes molt específics i intentaré explicar com efectuem aquestes mesures, que són una mica difícils d'obtenir. El nostre mètode utilitza torres elevades en diversos ecosistemes, en les quals instal·lem sensors al capdamunt a diferents alçades, i mesurem el CO₂ quan es mou entre l'ecosistema i l'atmosfera. Fem aquesta mesura deu vegades per segon —per als físics, ho mesurem a 10 Hz de freqüència. Només pensant en el temps necessari per tenir dades significatives podem entendre que pels nostres ordinadors circula una

gran quantitat d'informació, unes xifres enormes, que hem d'organitzar i analitzar.

Actualment, en tot el món es fa un esforç per mesurar els fluxos de carboni; el projecte s'anomena FluxNet, i inclou més de dues-centes torres a tot el món: CarboEurope (cinquanta o seixanta torres), Ameriflux (cinquanta o seixanta torres), OzFlux (Austràlia), ChinaFlux, AsiaFlux i també KiwiLux (Nova Zelanda). Aquestes torres informen de les seves dades —deu vegades per segon des de dues-centes torres— a una central: FluxNet, un petit laboratori situat a Berkeley, a la Universitat de Califòrnia. Dennis Baldock s'encarrega d'ordenar totes aquestes dades i fer que siguin útils. Gràcies a Internet es pot obtenir informació dels fluxos de CO_2 de la majoria d'aquestes dues-centes torres i provar teories sobre l'intercanvi del carboni. Per tant, aquest és un exemple d'un esforç global organitzat a escala local.

A continuació, desenvoluparé en què consisteix la nostra tècnica de mesura. Mesurem mitjançant una tècnica anomenada *intercanvi net de CO_2 en els ecosistemes* (NEE, *net ecosystem CO_2 exchange*), que pretén determinar l'intercanvi de CO_2 entre la superfície i l'atmosfera; entre els ecosistemes i l'atmosfera, d'una manera molt simple. Es mesura W_a , que és la velocitat del vent en una direcció ascendent, i W_d que és la velocitat dels corrents descendents. El vent es mou en remolins circulars i, naturalment, s'ha de conservar el moment i la massa; així, el vent que es mou ascendentment sempre torna a baixar. La turbulència que transporta el CO_2 és circular. El que fem és mesurar la velocitat dels corrents ascendents i dels descendents i, a la vegada, mesurem la concentració de CO_2 d'ambdós corrents i les restem —el resultat del corrent descendent es resta del resultat del corrent ascendent i s'obté l'intercanvi net, i, per tant, quant CO_2 queda a l'atmosfera o quant n'entra a l'ecosistema.

El principi, doncs, és molt simple, però a la pràctica és

força complex. Què passa respecte dels fluxos laterals? El que fem, a la pràctica, és imaginar-nos una capsa al voltant de la torre. I aquesta capsa imaginària és el nostre volum. També suposem que el CO_2 que entra per un costat de la capsa és el mateix CO_2 que surt per l'altre costat de la capsa. Estem suposant, doncs, que el gradient del CO_2 horitzontal és zero. Sempre que es fa això se suposa un bosc molt homogeni i pla, on la vegetació sempre és semblant fins allà on es pot veure. Si el vent es mou horitzontalment, aleshores canvia una parcel·la d'aire d'aquí amb una altra parcel·la d'aire d'allà de manera que no altera la concentració de CO_2 . Si per les característiques del terreny té sentit fer aquesta suposició, aleshores l'únic que hem de fer és mesurar els fluxos verticals, a dalt i a baix.

El problema apareix quan intentem fer aquesta mesura en un terreny que no és totalment pla. Si el terreny té pendents i l'aire baixa pel pendent, i després arriba a terreny pla, la velocitat de l'aire canvia. També si el terreny és pla però es troba en una depressió petita, aleshores no hi ha concentracions de CO_2 homogènies al voltant. I, llavors, la teoria comença a fallar. Es compleix en terrenys plans, però no en terrenys amb pendents o de topografia complexa. Per exemple, si la torre es troba en una cota més baixa que el seu entorn pot passar que els fluxos nocturns del drenatge de l'aire fred facin mesurar concentracions i acumulacions de CO_2 més elevades. La topografia complexa —no plana— complica la mesura de les concentracions de CO_2 de tota la superfície.

Bé, això té una solució fàcil: no instal·lar les torres en zones muntanyoses. Millor posar-les sobre un terreny pla, i aleshores la teoria funciona, les mesures són correctes i tot és més fàcil. I això és el que molta gent ha fet.

De fet, en les reunions de FluxNet, quan es parla amb algú que vol construir una nova torre ràpidament es detecta la preocupació per la topografia complexa, la qual cosa fa deri-

var a cercar llocs plans on es pugui instal·lar la torre amb una teoria que funcioni. Hi ha un problema, però, en aquesta manera de pensar.

ELS TERRENYS COMPLEXOS

Si es mira un mapa i s'observa els indrets on es produeix la major part d'absorció de CO₂, es veu que no es dona en àrees planes. La major part d'absorció succeeix a les àrees muntanyoses, on hi ha boscos amb molta fusta per emmagatzemar el carboni. Als Estats Units els Great Plains que ocupen el centre el país són una àrea plana, i hi ha una absorció de carboni molt petita. Però, a les muntanyes costaneres, com Sierra Nevada, serra costanera que arriba des d'Oregon i Washington fins a Califòrnia, o els Apalatxes, al nord-est; els Ozark, al sud, o les muntanyes Rocalloses a la part central, és on es dirigeix el carboni. Això és el que es veu a partir dels resultats de Steve Running, de la Universitat de Montana, que ha efectuat càlculs per convertir la imatge del satèl·lit Modus de l'àrea de les fulles i extensió de boscos en índexs d'assimilació de carboni.

Per tant, l'opinió convencional que expressa la convenció de posar les torres en els llocs més plans no ajuda, si estem intentant entendre on es dirigeix el carboni. Hem d'aprendre a fer mesures en un terreny complex, en llocs amb pendents. I aquest és el tipus d'àrea que hem intentat estudiar durant els últims anys. Per tant, varem oblidar-nos de l'opinió convencional i varem posar la nostra torre en el terreny ple de pendents més complex que varem trobar: a les muntanyes Rocalloses. Per poder tenir en compte la complexitat del terreny varem haver de situar set torres en el nostre emplaçament. Al voltant de les torres hi ha boscos d'avets del Colorado amb alguns pins anomenats *pi de Murray* (*Pinus contorta*). De mitjana, és un bosc d'uns onze metres d'altura, mentre que una

de les torres és d'uns trenta-cinc metres, a la qual es poden instal·lar instruments i des de la qual es poden obtenir vistes meravelloses dels Great Plains.

Amb aquest dispositiu es pot veure un exemple de transició d'una escala local a una escala global. Tenim, des de fa sis anys, una torre instal·lada en un indret que anomenem Niwot Ridge AmeriFlux, que està situat a les muntanyes Rocalloses, a Colorado, als Estats Units. Aquesta zona està caracteritzada per un bosc subalpí amb avets subalpins, avets d'Engelman i altres espècies, a 3.050 m d'altitud.

La topografia de la zona on està instal·lada la torre és força complexa. De fet, vàrem construir set torres per tractar aquesta complexitat, ja que vàrem suposar que necessitaríem una bona cobertura del terreny per valorar amb precisió els gradients complexos de CO_2 . Les set torres estan situades entre uns dos-cents i tres-cents metres l'una de l'altra. Per tant, estan relativament a prop, i són elevades.

Aquest conjunt de torres ens ha servit per entendre el gradient de la concentració de CO_2 a la superfície. De nit, l'aire flueix en sentit descendent fins a arribar a la part més baixa de la topografia —el rierol— portant CO_2 .

Hem mesurat la concentració de CO_2 a un metre d'alçada, en cada una de les set torres. Tenim sensors a set alçades diferents, però només tenim en compte la d'un metre d'alçada, una distància raonable respecte del terra. L'observació de les dades ens permet copsar que a mesura que es fa de nit, la concentració de CO_2 és més irregular. Durant el dia al bosc es dona una gran mescla, fins i tot per sota d'un metre. Però a mesura que es va fent de nit, el CO_2 es comença a acumular a la part inferior de la topografia.

Esmento això per remarcar que la concentració de CO_2 és molt irregular i que la teoria per als fluxos de remolins és molt complicada. El que els nostres experiments proven —que la topografia marca diferències— ho posa tot difícil. El

que hem fet és, utilitzant les dades de les torres i un model matemàtic força elegant —en els detalls del qual no vull entrar en aquest escrit—, calcular el flux de CO_2 que baixa pel pendent per sota dels nostres sensors situats sobre la torre. Les mesures d'aquests gradients complexos de CO_2 les utilitzem per corregir els fluxos de remolins causats pel terreny. Si hi ha prou torres per caracteritzar el camp de CO_2 , es poden calcular els gradients i fer correccions en les mesures dels fluxos causats pels remolins. I d'aquí s'obtenen les dades que apareixen a la figura 3, referides a l'índex del segrest de carboni experimentat per aquest bosc, a Niwot Ridge, Colorado.

A la figura es representa l'intercanvi net de CO_2 acumulat a l'ecosistema, o carboni acumulat que és absorbit per cada metre quadrat del bosc. Què es vol dir quan s'utilitza el terme *acumulat*? El comptador es posa a zero, el primer dia de mesures, l'1 de novembre de 1998, en el moment en què

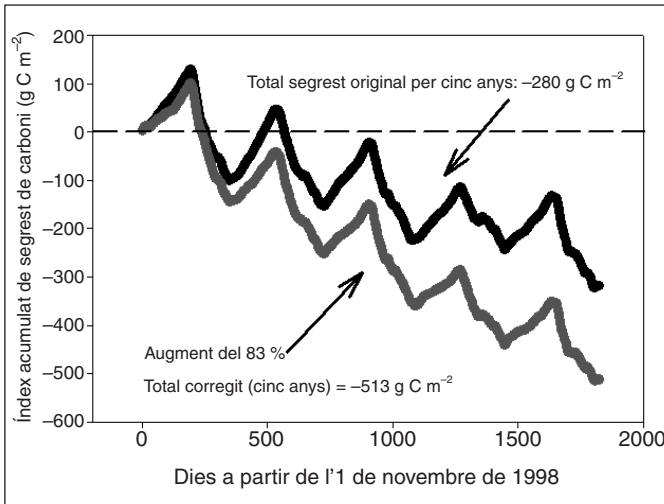


FIGURA 3. Ritme de segrest de carboni a Niwot Ridge, Colorado.

encenem tots els interruptors, en què la nostra primera torre comença a mesurar. Aleshores, afegim l'intercanvi de carboni de cada dia a la quantitat total acumulada anteriorment. A l'inici, vàrem posar en marxa el sistema de mesura l'1 de novembre, al principi de l'hivern, i durant l'hivern l'ecosistema perd carboni que va a l'atmosfera per respiració ja que durant aquest període no es produeix la fotosíntesi. Així, a la figura 3 els números positius corresponen a la respiració —el carboni es perd a l'atmosfera— i els números negatius volen dir que l'ecosistema fixa carboni de l'atmosfera.

Tal com es veu a la figura 3, durant el primer hivern es perd carboni de l'ecosistema, cada dia fins a l'1 de maig, que és quan el balanç de carboni de l'ecosistema canvia el comportament. A la primavera s'activa la fotosíntesi i es comença a extreure carboni de l'atmosfera. També durant l'estiu veiem com l'ecosistema absorbeix carboni de l'atmosfera. Per tant, l'atmosfera dóna carboni a l'ecosistema. Després d'un any sencer, de l'1 de novembre al 31 d'octubre, la diferència entre aquests és la quantitat neta de carboni que l'ecosistema ha extret de l'atmosfera durant tot l'any. Si es calcula la quantitat total acumulada en cinc anys, l'ecosistema ha extret uns 280 g de carboni de l'atmosfera. Això representa uns 56 g de carboni anuals de mitjana. Ara, aquestes xifres canvien una mica quan hi afegim la complexitat del terreny. El càlcul anterior s'ha obtingut suposant que era un emplaçament pla —però, en realitat, no ho és i, per tant, hem d'afegir la complexitat dels fluxos de CO_2 . Quan es tenen en compte la complexitat del terreny i el drenatge de CO_2 , el bosc esdevé encara més un embornal de carboni de l'atmosfera. En cinc anys, hi ha hagut un augment del 83 % de la quantitat de carboni que s'extreu de l'atmosfera.

Cal, doncs, remarcar que necessitem entendre el terreny complex, i necessitem entendre'l bé, per poder fer aquestes correccions.

Per acabar, m'agradaria dedicar uns paràgrafs a explicar una cosa molt nova que vàrem fer l'estiu passat. Intentem pensar a una escala una mica més petita, a escala regional. Tenim un bon càlcul del flux de CO₂ a escala local —el nivell de la base forestal—, i la pregunta és com traslladem les nostres observacions i connectem amb escales regionals? Ens ho vàrem plantejar associant-nos amb un grup del Center for Atmospheric Research, que també es troba a Boulder, i, a més, vàrem tenir l'oportunitat de poder utilitzar un avió C-130 que pertany al centre mencionat. L'estiu passat vàrem fer dues campanyes diferents: una de dues setmanes, al maig, i una altra també de dues setmanes, al juliol. Per dur a terme aquestes campanyes, es va necessitar un any i mig per endavant de preparació. Primer vàrem instal·lar els instruments a l'avió, després vàrem aconseguir que tots funcionessin correctament per fer mesures cada cinc o deu segons i, finalment, es van definir els recorreguts de l'avió per l'estat de Colorado.

La metodologia que hi ha al darrere de l'ús de l'avió per mesurar els balanços de carboni en zones més grans és força senzilla. Simplement, consisteix a fer volar l'avió fent passades pels contorns d'una mena de caixa rectangular que limita la zona d'estudi. La teoria, aleshores, és força senzilla: només es mesura la concentració de CO₂ que entra a la capsa, i s'utilitza un model per calcular el moment en què l'aire que mesurem en un extrem de la capsa *arriba a l'altre*, i aleshores volem per mesurar-ho *allà*. A la zona de l'estat de Colorado que vàrem elegir, el vol durava tres hores, des d'un extrem de la capsa a l'altre. Quan anàvem d'un costat a l'altre de la capsa sabíem que estàvem mesurant la mateixa massa d'aire, quan entra a la capsa i quan en surt. Calcular aleshores quant CO₂ s'ha absorbit és fàcil, simplement és la diferència entre el CO₂ entrant i el CO₂ mesurat que surt. Aquesta diferència

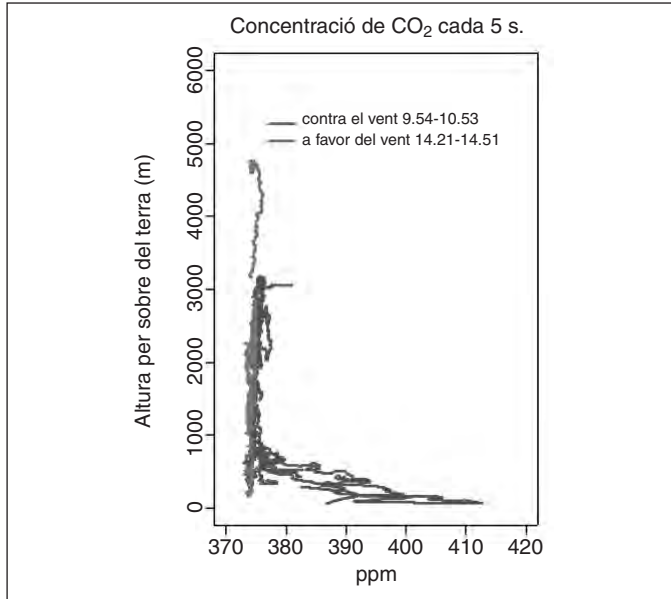


FIGURA 4. Concentració de CO₂ dels vols del 29 de juliol de 2004.

ha de coincidir amb el CO₂ que ha estat absorbit pels diferents ecosistemes de l'interior de la capsa.

A la figura 4 es poden veure els dos perfils d'un vol del mes de juliol. D'una banda vàrem volar durant una hora, entre les 9.54 i les 10.53 h del matí, per la part superior de la capsa i, tres o quatre hores més tard, entre les 14.21 i les 14.51 h, vàrem volar per l'altre extrem. A la figura 4 es representen també les concentracions de CO₂ segons l'altitud. Podem observar com, a baixa altura i al matí, les concentracions de CO₂ són relativament altes. Però quan l'aire ha passat per sobre de les muntanyes la concentració de CO₂ és molt baixa. Això significa que els ecosistemes de les muntanyes han absorbit molt CO₂. Com a primer pas, el resultat sembla relati-

vament força esperançador. El següent pas és comparar els fluxos de CO₂ de la torre local amb els fluxos regionals de CO₂ obtinguts mitjançant l'avió. Quan es fa aquesta comparació s'obté que els fluxos regionals obtinguts amb l'experiment amb l'avió són lleugerament més negatius que els fluxos mesurats amb la torre. I això sembla que vol indicar que els boscos de nivells més baixos tenen uns índexs de fotosíntesi més elevats i contribueixen més als fluxos regionals de CO₂ que el bosc on es troba la nostra torre. Per verificar-ho cal poder fer més experiments, i, com qualsevol científic astut faria, ens proposem recopilar aquesta informació i formular una proposta al nostre Govern en què demanem més torres, en altituds més baixes.

CONCLUSIONS FINALS

Per acabar i a manera de resum, es pot dir que el que entenem actualment del cicle global del carboni conté grans incerteses. Costa respondre a un polític quan pregunta: «Quant CO₂ extreuen de l'atmosfera cada any els Estats Units?» Costa molt explicar-los que la incertesa en una determinada xifra és d'un cent per cent!

Per tant, per a què serveix això? Nosaltres, com a científics, hem rebut molta pressió per aquesta raó en el passat; els polítics sovint no es fien de la nostra ciència perquè no els podem donar les respostes que pensen que la ciència els hauria de donar. Les incerteses són immenses, causades per les diferències en els plantejaments experimentals que s'utilitzen, però també per la falta de bona informació sobre l'intercanvi de CO₂ entre la superfície terrestre i l'atmosfera, la qual és essencial per poder acotar millor els models globals. Si hi ha dos-cents emplaçaments experimentals, els models ajusten les seves prediccions a aquests emplaçaments. Però convindria

tenir una xarxa de torres més densa, ja que això ens proporcionaria prediccions més precises dels models. La xarxa de torres s'han estès per tot el globus, amb l'objectiu de quantificar millor els fluxos de CO₂ entre els ecosistemes i l'atmosfera: dues-cents torres, i això va en augment —qualsevol que pugui convèncer el seu Govern perquè li atorgui una ajuda de cent mil a cinc-cents mil dòlars americans per construir una torre es pot unir a la xarxa. Hi pot participar qualsevol que vulgui construir una torre i fer mesures, tot i que és molt important que totes les torres mesurin el mateix. La qualitat de les dades que ha de sorgir de les torres està molt regulada, ja que els mètodes experimentals són molt exigents, en concret en els terrenys muntanyosos, on hi ha molts ecosistemes forestals. Pel que fa als cicles de carboni dels ecosistemes, també sorgeixen força incerteses; no obstant això, estem progressant força i mirem el futur amb optimisme.

PUBLICACIONS DE LA PRESIDÈNCIA

Títols publicats

- 1 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Sessió inaugural del curs 1999-2000* (1999)
- 2 *Debat sobre humanitats* (2000) [exhaurit]
- 3 *Els premis Nobel de l'any 1999: Cicle de conferències* (2000)
- 4 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Restauració de la Casa de Convalescència: Octubre 2000, acte inaugural* (2001) [exhaurit]
- 5 *Els premis Nobel de l'any 2000: Cicle de conferències* (2001)
- 6 *Homenatge als nostres pobles i a la seua gent: Segon cicle de conferències al nord del País Valencià* (2001) [exhaurit]
- 7 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Seu de Castelló de la Plana: Juny de 2001, acte inaugural* (2001)
- 8 *Debat sobre les plantes transgèniques* (2002)
- 9 Pendent de publicació
- 10 *Any Mossèn Alcover: Presentació de la Lletra de convit 2001* (2003)
- 11 *L'aigua i el medi: Cicle de conferències* (2003)
- 12 *La ciència en la història dels Països Catalans: Presentació del projecte* (2002)
- 13 *Els premis Nobel de l'any 2001: Cicle de conferències* (2002)
- 14 Joan MARTÍ I CASTELL, *Institut d'Estudis Catalans: Del Dictamen acord de 1907 als Estatuts de 2001* (2002)
- 15 *Atlas lingüístic del domini català: Presentació del primer volum* (2002)

- 16 *Homenatge als nostres pobles i a la seua gent: Primer cicle de conferències al sud del País Valencià* (2004)
- 17 *La terra i el medi: Cicle de conferències* (2005)
- 18 Josefina SALORD RIPOLL, *Els filòlegs menorquins i l'Institut d'Estudis Catalans* (2003)
- 19 *Educar en la política: Dotze raons per a la participació en la vida pública: Presentació del llibre* (2003)
- 20 *Els premis Nobel de l'any 2002: Cicle de conferències* (2004)
- 21 *Els premis Nobel de l'any 2003: Cicle de conferències* (2004)
- 22 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Declaracions institucionals sobre la llengua catalana* (2004)
- 23 INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS, *Perspectives del segle XXI: Recerca i país : declaració institucional* (2004)
- 24 *Perspectives del segle XXI: recerca i país: Cicle de conferències* (2006)
- 25 *Els premis Nobel de l'any 2004* (2006)
- 26 *Sessió sobre el dèficit fiscal* (2005)
- 27 *El foc i el medi: Cicle de conferències* (2007)
- 28 *L'aire i el medi: Cicle de conferències* (2008)



ISBN: 978-84-7283-974-8



9 788472 839748