



I Jornades de **Meteorologia** Eduard Fontserè

24-25-26 de novembre de 1995

SOCIETATS CATALANES DE
FÍSICA, QUÍMICA, MATEMÀTIQUES I TECNOLOGIA

BUTLLETÍ

DE LES
SOCIETATS CATALANES DE
FÍSICA, QUÍMICA, MATEMÀTIQUES
I TECNOLOGIA

Filials de l'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

[Butll. Soc. Catalanes Fís. Quím. Mat. Tecnol.]

BSCMDI

ISSN: 1130-4758

Segona època: Volum XV, Núm. 1 (p. 1-160)

I JORNADES DE METEOROLOGIA EDUARD FONTSERÈ
(24, 25 i 26 de novembre de 1995)

BARCELONA
Novembre 1995
INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

BUTLLETÍ

DE LES
SOCIETATS CATALANES DE
FÍSICA, QUÍMICA, MATEMÀTIQUES
I TECNOLOGIA

Filials de l'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

[Butll. Soc. Catalanes Fís. Quím. Mat. Tecnol.]

BSCMDI

ISSN: 1130-4758

Segona època: Volum XV, Núm. 1 (p. 1-160)

I JORNADES DE METEOROLOGIA EDUARD FONTSERÈ
(24, 25 i 26 de novembre de 1995)

BARCELONA
Novembre 1995
INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

Amb el suport de
L'ASSOCIACIÓ CATALANA DE METEOROLOGIA
LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

Agraïm a l'Ateneu Barcelonès l'autorització que ens ha concedit
per a la reproducció del discurs del Dr. Eduard Fontserè
El cel de Catalunya.

BUTLLETÍ de les Societats Catalanes de
Física, Química, Matemàtiques i Tecnologia
(filials de l'Institut d'Estudis Catalans)
Carrer del Carme, 47 – 08001 Barcelona

Director de Publicacions: DAMIÀ BARCELÓ i CULLERES
Vocals: JOSEP PLA i CARRERA, ANTONI ROCA i ROSELL
JAUME ROSELL i COLOMINA i MIQUEL ÀNGEL SECO i GARCÍA

© Els autors dels treballs

Editat per les Societats Catalanes de Física, Química, Matemàtiques i Tecnologia
(societats filials de l'Institut d'Estudis Catalans)
Carrer del Carme, 47 – 08001 Barcelona

Disseny de la sobrecoberta: Pallí: Disseny i Comunicació

Compost i imprès a Romagraf, SA
Joventut, 55 – 08904 L'Hospitalet de Llobregat

ISSN: 1130-4758
Dipòsit Legal: B. 27277 - 1977

Comitè organitzador

Associació Catalana de Meteorologia

J. Arús, Centre Meteorològic de Catalunya - INM

J. M. López, Centre Meteorològic de Catalunya - INM

S. Parés, TVE

A. Mestres, BCN-TV

Coorganitzen

Ajuntament  de Barcelona



Diputació de Barcelona



Generalitat de Catalunya



Ministerio de Obras Públicas, Transportes
y Medio Ambiente

Instituto Nacional de Meteorología

Centre Meteorològic Territorial de Catalunya



Fundació "la Caixa"
Museu de la Ciència



UNIVERSITAT DE BARCELONA

MESA PER AL CURS 1995-1996

Societat Catalana de Física:

ANTONI GIRÓ I ROCA, president
RAMON VILASECA I ALAVEDRA, vicepresident
IGNASI JUVELLS I PRADES, tresorer
AGUSTÍ POCH I PARÉS, secretari
JOSEP LLOSA, vocal
JOSEP CALDERER I CARDONA, vocal
DAMIÀ BARCELÓ I CULLERES, vocal
ANTONI ROCA I ROSSELL, vocal
NÚRIA FERRER I ANGLADA, vocal
FRANCESC COMELLAS I PADRÓ, vocal
ANTONI MÉNDEZ VILASECA, vocal

Societat Catalana de Matemàtiques:

SEBASTIÀ XAMBÓ I DESCAMPS, president
JOAQUIM ORTEGA I ARAMBURU, vicepresident
JOSEP PLA I CARRERA, tresorer
ANTONI GOMÀ I NASARRE, secretari
JOSEP GRANÉ I MANLLEU, vocal
PELEGRÍ VIADER I CANALS, vocal
CLAUDI AGUADÉ I BRUIX, vocal
ANNA POL I MASJOAN, vocal

Societat Catalana de Química:

PILAR GONZÁLEZ I DUARTE, presidenta
JOAN SOLÀ I CASADEVALL, tresorer
JOAN SUADES I ORTUÑO, secretari
MIQUEL SECO I GARCÍA, encarregat de publicacions
JOSEP ARMENGOL I ROCASPANA, vocal
JOSEP M. BAYONA I TÉRMENS, vocal
JOAN FERRÉ I BALDRICH, vocal
LLUÏSA MATAS I JORDI, vocal
JAUME PUY I LLORENS, vocal
JOSEP M. RIBÓ I TRUJILLO, vocal
OLGA SANTAELULARIA I LOZANO, vocal
LÍDIA RODRIGO I LLOPIS, vocal

Societat Catalana de Tecnologia:

ESTANISLAU TOMÀS I MORERA, president
JOSEP ARNALDOS I VIGUER, tresorer
MARC BARRACÓ I SERRA, secretari
JOSEP AMAT I GIRBAU, vocal
M. CLARA TORRENTS I MAZZEI, vocal
JOAQUIM CASAL I FÀBREGA, vocal

AGRAÏMENT

Edició en homenatge al

Dr. Eduard Fontserè i Riba

en motiu del 125è aniversari del seu naixement i el 25è de la seva mort

L'Associació Catalana de Meteorologia ha volgut celebrar aquesta efemèride, tot dirigint i organitzant les I Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè.

L'edició d'aquest llibre és perquè quedi constància escrita d'aquest homenatge, però sobretot perquè les ponències que s'exposen siguin útils a la comunitat d'estudiosos del país. D'aquesta manera, l'Associació vol reprendre, ni que sigui molt modestament, un dels principals objectius del nostre homenatge: intentar que l'estudi rigorós de la meteorologia i climatologia, el seu coneixement i la seva divulgació sigui compartida, dintre de les possibilitats de cadascun, pel major nombre possible de ciutadans, tant universitaris com aficionats.

Volem mostrar el nostre agraïment a totes les institucions que de manera molt positiva han contribuït a fer realitat aquestes Jornades: l'Ajuntament de Barcelona, la Diputació de Barcelona, la Generalitat de Catalunya, l'Institut Nacional de Meteorologia, la Universitat de Barcelona i, especialment, a l'Institut d'Estudis Catalans i el Museu de la Ciència-Fundació "la Caixa", on es porten a terme els actes de les Jornades, i també pel fet de costejar, juntament amb la Universitat de Barcelona, aquest llibre.

També cal agrair a l'Ateneu Barcelonès la cessió del discurs que el 20 de març de 1935 va llegir el Dr. Eduard Fontserè a l'Ateneu Barcelonès, quan era el seu president. Malgrat els anys, aquesta obra continua essent una explicació fresca, interessant i plenament vigent del cel de Catalunya.

Barcelona, tardor de 1995

EDUARD FONTSERÈ I RIBA
(1870 - 1970)



El doctor Eduard Fontserè als 63 anys.



El doctor Eduard Fontserè als 72 anys.

E. Fontserè



El doctor Eduard Fontserè als 90 anys.



El doctor Eduard Fontserè als 100 anys.

Reproduïm a continuació, en facsímil, el discurs que va llegir Eduard Fontserè, com a president de l'Ateneu Barcelonès, el dia 20 de març de 1935 en la sessió inaugural de curs d'aquesta entitat.

ATENEU BARCELONÈS

EL CEL DE CATALUNYA

DISCURS LLEGIT PEL PRESIDENT

EDUARD FONTSERÈ

en la sessió inaugural de curs

el 20 de març de 1935

BARCELONA

1935

Durant la lectura d'aquest discurs, foren projectades diverses fotografies de celatges catalans, pertanyents a l'arxiu de la Fundació Concepció Rabell. És amb l'amable autorització d'aquesta Fundació que n'acompanyen algunes el present opuscle.



CLIXÉ J. PONS

La mar de núvols vista des del cim del Montseny. Una inversió superior de temperatura impedeix a les masses cumuloses d'assolir un gran gruix. Com a celatge superior, hi ha bancs lenticulars d'altocúmulus



CLIXÉ J. PONS

La mar de núvols vista des de Barcelona. Els núvols de bon temps s'han soldat en un sostre rimat, que per a l'observador d'en terra té l'aspecte d'estratocúmulus

DINS l'obra de recobriment de la nostra personalitat col·lectiva i de les nostres coses pairals, que entre frontolls, errades i dificultats de tota mena segueix aquell curs fatal i inevitable de tots els processos biològics que estan per damunt de la voluntat dels homes, els problemes que més de prop toquen el cor han estat sempre els que el poble ha posat en el primer pla de les seves preocupacions. És aquesta, potser, una qualitat que des de fa temps desconcerta els qui no ens coneixen, que no s'expliquen com una gent que ells qualifiquen de mercaders alça bandera, abans que tot, en nom de les valors immaterials.

La passió amb què ha estat empresa aquesta renaixença espiritual ha donat tremp a l'ànima catalana, i sovint l'ha conduïda pel camí dels ideals més purs; però no ha estat pas sense detriment de moltes de les realitats que ens envolten, i àdhuc en molts aspectes ha produït un veritable col·lapse d'altres afanys que no haurien d'ésser desatesos, com és ara l'aprofitament de la part de patrimoni físic que la Natura ha reservat a Catalunya.

La terra que trepitgem, la mar i l'atmosfera no tenen per a una part del nostre públic sinó una significació primària. Errada gran, que no són tan migrades les possibilitats que hi ha distribuïdes al nostre entorn, ni és amb una concepció superficial i simplista com podem valoritzar-les, moralment i materialment, fins a les darreres conseqüències.

Prou que n'esteu convençuts els qui avui teniu la gentilesa d'acompanyar-nos en la inauguració del curs de l'Ateneu. D'entre vosaltres, molts breguen en la lluita diària per la ciència pàtria, i alguns, des dels llocs dirigits, sostenen l'esforç i l'entusiasme dels treballadors més modestos. Però ja que ha estat

8

un d'aquests darrers el que el mandat dels socis de l'Ateneu posa avui en el deure de dirigir-vos la paraula, permeteu-me que us ocupi uns moments d'aquesta vetlla parlant-vos d'una part petita, però no la més insignificant, del tresor que el nostre món físic enclou.

Em refereixo al nostre cel, que és un dels aspectes del nostre clima. Més exactament hauria de dir «dels nostres climes»; de la multiplicitat de climes que ens han fet com som, que han donat un caient peculiar a les nostres activitats i al nostre caràcter, i que, fins en el que de tant en tant tenen d'adversos, han acabat per afavorir-nos, elevant en el nostre poble l'esperit d'empresa i de treball.

Si bé és una veritat universalment acceptada que els fenòmens elementals de l'atmosfera són idèntics a tot arreu, és a dir, que no hi ha diferència essencial, per exemple, entre una gota de les nostres rosades i una gota de rosada dels països molt més càlids o molt més freds que el nostre, o entre un núvol dels tròpics i un núvol de la mateixa classe de les regions polars, també és molt cert que la manera d'actuar i les diferents proporcions en què actuen les circumstàncies pròpies de cada país, fan que aquells fenòmens elementals esdevinguin amb una freqüència o amb una intensitat que varien moltíssim d'uns llocs als altres i que donen origen a tipus de clima i a aspectes del cel i del paisatge totalment distints.

Del clima i del paisatge se'n parla sovint. Del cel, no tant. A la vetllada d'avui en podrem parlar, doncs, un xic, d'aquest cel nostre, que és una meravella, i que és una de les nostres reserves que ningú no ens podrà arrabassar mentre les mutacions geològiques no vinguin a canviar la topografia del planeta.

La influència dels corrents atmosfèrics generals.

Seria difícil fer-se ben bé càrrec de com és aquest cel, si no es parés esment a les circumstàncies externes que li donen la seva fesomia.

Una particularitat que abans de tot cal remarcar, és que l'acció d'aquestes influències exòtiques no es fa sentir amb intensitat sinó durant les dues primaveres, que és quan les irrupcions de l'aire fred precedent de l'Àrtic prenen a les nostres latituds un ritme oscil·lant que recorda el dels països nòrdics d'Europa. En canvi, a l'estiu i al pic de l'hivern, són principalment causes locals les que dominen, i aleshores s'estableixen règims comarcals ben diferenciats, tant durant les altes pressions de desembre i gener, amb les seves calmes esplèndides, com en els mesos de calor, amb les seves alternàncies de brises, de cops de sol i de tempestes.

Aquesta diferència de comportament de l'atmosfera segons les estacions de l'any, que fa que Catalunya es trobi ja com a l'avantguardia dels climes subtropicals, no és privativa nostra, sinó que és comuna a totes les terres europees banyades per la mar Mediterrània. Potser és degut a això, un fet curiós que ha estat comentat per més d'un meteoròleg del nord, i és que les llengües llatines no tenen sinó un sol mot—temps—per designar dues coses tan aparentment inconnexes com són el temps astronòmic i el temps meteorològic, com indicant que els canvis atmosfèrics i la successió cronològica dels mesos són una mateixa cosa, mentre als països septentrionals, on les grans pertorbacions de l'aire estan repartides durant tot l'any, aquells dos conceptes són designats amb dos mots distints.

Però, a més de les seves característiques mediterrànies, el nostre recó de la Península en té d'altres que donen al seu cel una personalitat fortament acusada, filla principalment de la facilitat amb què s'hi estableixen calmes de llarga durada, o amb què hi compareixen i s'hi modifiquen els corrents atmosfèrics més discordants. Prou proper de l'Atlàntic per a rebre'n una escombrada del vent en poques hores, n'està, però, separat per accidents geogràfics tan importants com són els Pirineus i l'alt planell de Castella, que alteren essencialment les propietats físiques de l'aire oceànic quan passa damunt d'ells. Per la banda de mar, els llevants que vénen de les regions alpines, si és cert que no troben veritable obstacle material en venir fins a les nostres

10

platges, hi arriben amb un excés d'humitat recollida pel camí, i en atacar com una falca freda i de poc gruix les comarques de la costa, les cobreixen de núvols baixos, i gairebé sempre van a deixar en els pendissos de la segona serralada litoral l'excedent de vapor aquós que no ha estat ja garbellat per les muntanyes de marina. De la banda d'Àfrica, ens n'arriben xalocs calents, carregats d'una polsina impalpable.

Aquestes causes, i altres que resideixen al país mateix, no actuen a tot arreu de la mateixa manera, perquè llevat de quan es presenten amb violència, que aleshores ho envaïxen tot i creen una situació de temps general per a tot Catalunya, cada accident del terreny serveix de barrera per a deturar-ne unes, o bé de canal per a endegar-ne d'altres; i això, juntament amb les diferències d'altitud, d'exposició o de distància a la mar, determina una rica varietat de condicions atmosfèriques locals.

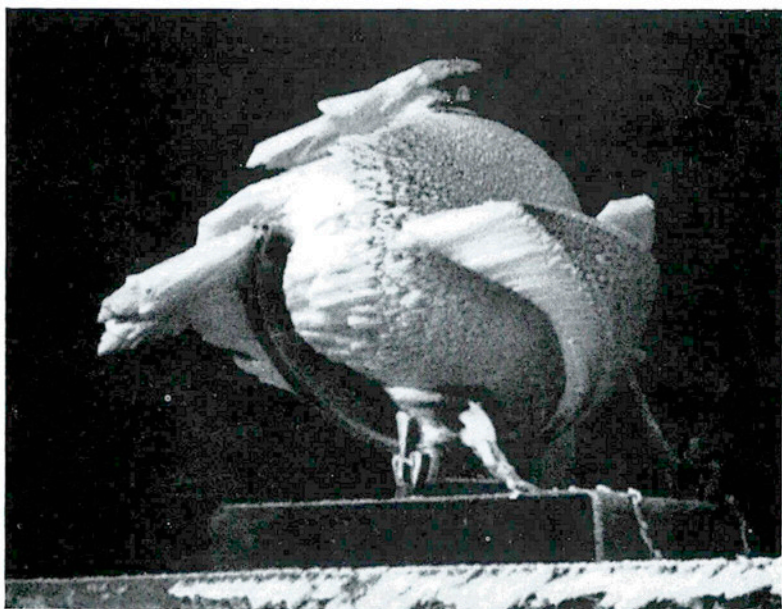
D'una tan gran diversitat, potser l'aforística popular n'és la demostració millor. Difícilment es trobaria una dita referent al temps, que convingués per igual a més d'una comarca catalana. Ni la successió dels vents, els noms dels quals van sovint acompanyats d'alguna designació topogràfica local, ni els senyals dels núvols, ni les prediccions de pluges, de bufaruts o de glaçades, no són aplicables a territoris gaire dilatats.

Al Servei Meteorològic de Catalunya, on uns quants anys d'experiència i de tanteigs havien acabat per ensenyar moltes coses, ho sabem bé prou. L'anàlisi de la situació atmosfèrica del dia, que ha de precedir tota previsió del temps, donava sovint força què pensar; cada indret de Catalunya es presenta amb probabilitats oposades, i moltes són les vegades que en predir el temps cal fer alguna reserva d'ordre comarcal. Una previsió general per a tot el país no és sempre possible, i quan a més a més es fa amb les regles que s'han portat apreses d'unes altres terres, els presagis de la meteorologia poden resultar freqüent a freqüent de l'humorisme.



CLIXÉ J., PONS

Cúmulus animat de forta convecció, travessant la mar de núvols



CLIXÉ R., JARDI

Gebre depositat damunt l'heliògraf del Turó de l'Home per un núvol que pujava de la vall de la Tordera (situada a la banda esquerra de la fotografia). Les gotes que formaven el núvol es trobaven en estat de sobrefusió, sota zero

La serenor del cel català

En parlar del nostre cel, cal començar per remarcar una de les seves propietats més notables, i és un promedi gran de dies serens. Del cel d'Espanya, tan vanat pels escriptors i pels cartells del turisme, ens en toca la part del lleó. La costa en la seva totalitat, i a l'interior tot el curs català de l'Ebre i les planúries de l'Urgell, es troben dins la faixa privilegiada de la conca mediterrània on més del 60 per cent de les hores del dia, són hores de sol. Des de l'Algèria fins a la Provença és com una canal per on circulen dos vents igualment portadors de serenor: el mistral del Roine, que amb la nostra tramuntana marca una zona clara fins a les Balears, i el llebeig africà, que com un tornaveu d'aquell s'encarrega d'escombrar el sud-est de la Península.

La carta de la nuvolositat ens mostra clarament aquesta distribució, des de la costa del moro, on en promedi no hi ha sinó un 30 per cent de cel nuvolós, fins al país basc, on la nuvolositat passa del 60 per cent. La serenor és més accentuada a les contrades marítimes: a l'alta muntanya, i sobretot a la Ribagorça i al Pallars, la nuvolositat mitjana augmenta fins al 50 per cent, en molta part per la influència de les tempestes d'estiu.

La distribució de la nuvolositat és paral·lela a la de la freqüència i de la quantitat de les precipitacions aquoses, i gairebé en vista de la segona s'hauria pogut deduir la primera. A Catalunya tenim sobre la pluviositat una bella col·lecció de dades, proporcionades per una xarxa pluviomètrica en la qual teníem posat tot el cor ⁽¹⁾, i que és la més densa d'Espanya i una de les més denses d'Europa. El primer volum de les memòries Patxot en dóna una visió prou precisa. D'aquelles dades, resulta una distribució geogràfica anàloga a la de la nuvolositat, de manera que a l'Alt Pirineu es compten més de 120 dies de precipitació

(1) En el moment d'ésser llegit aquest discurs, el Servei Meteorològic de Catalunya tenia interdicta tota actuació externa.

12

per any, mentre a marina no n'hi ha sinó de 60 a 80, i al Baix Ebre i a alguns llocs del Pla d'Urgell queda reduït a menys de 40 dies, amb gran escassetat a l'estiu i no massa abundància a l'hivern.

Prou que aquesta serenor l'hem de pagar cara algunes vegades, amb llargues tongades d'eixut, que arriben a més de dos mesos seguits sense una sola pluja aprofitable, i que el segle XVI, segons es pot veure en algunes cròniques d'aquell temps, arribaren a durar mig any. Són principalment eixuts d'estiu; però també al fort de l'hivern la puresa del cel té la seva contrapartida en la sequedat dels camps, a l'època de les grans calmes, quan l'estabilitat de l'aire arriba al màxim.

Les capes baixes de l'aire

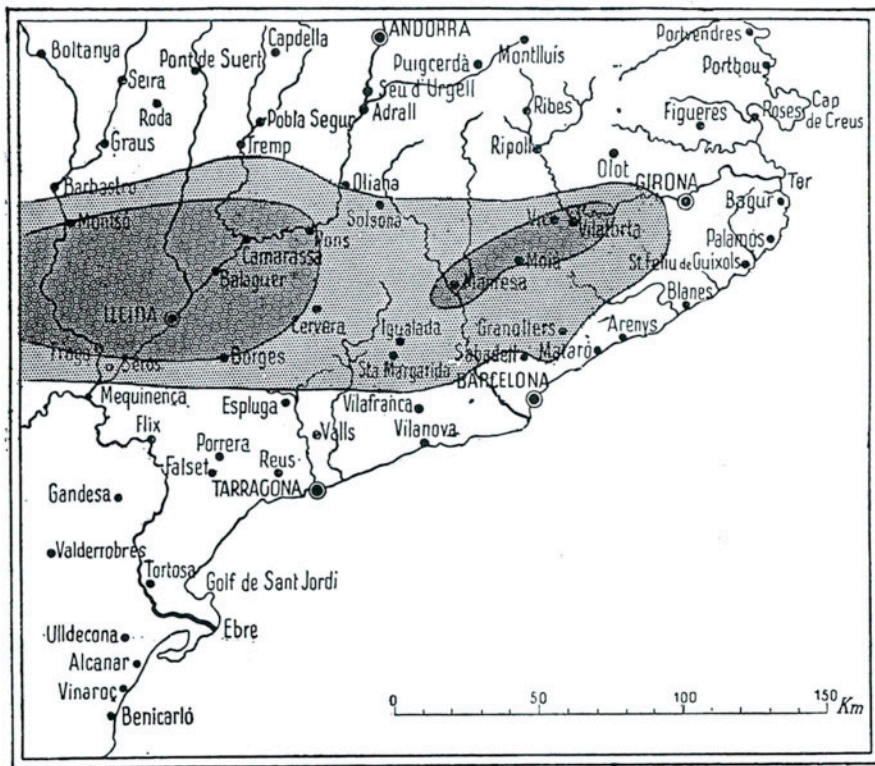
En realitat, la suma de la nuvolositat total és una integral molt complicada de tots els fenòmens que es produeixen des del nivell de terra fins als 8 ó 9 quilòmetres d'altura.

A fi de cenyirnos d'una manera més precisa al nostre tema, potser serà millor considerar per separat les diferents capes de l'aire, començant per les més baixes, és a dir, les que es troben per sota dels mil metres, dins les quals vivim la majoria dels catalans.

L'hivern, tan bon punt l'estabilitat atmosfèrica s'aferma i el baròmetre marca durant dies i dies el seu punt més alt, la transparència de l'aire, que és extraordinària les primeres hores de la nit, és causa d'una forta irradiació de la calor del terreny cap a l'espai, amb el seu seguici de refredaments nocturns, que són suficients per a depositar rosades i gebrades intenses. A les valls closes i a les planúries de l'interior, la humitat produïda pel refredament nocturn es condensa a punta d'alba en forma de boires baixes i espesses, que poden durar fins ben entrat el matí. Els plans de Lleida en són particularment perjudicats, i els encontorns de Vic altre tant. I si la calma hivernal és de llarga durada, les condensacions matinals en forma de boira baixa, ja no solament envaeixen gairebé tota la depressió central catalana, sinó

que s'estenen per les planes més properes al litoral, o fan un seguit de llenques boiroses al llarg de les rieres.

El gruix de les nostres boires anticiclòniques no és, però, molt gran. Llevat de les regions on és màxima la seva intensitat, no impideixen del tot la visualitat en direcció vertical, i



Distribució típica de les boires anticiclòniques d'hivern a Catalunya

observades des d'una certa altura presenten sovint l'aspecte d'un mer enteranyinament del paisatge, que és característic de certes comarques de relleu ondulat. La boira, llavors, accentua el relleu dels turons, més a més els dies que a nivell més alt s'estén una capa de núvols que fa desaparèixer les ombres del panorama.

Arran de costa, la condensació que es produeix durant les matinades de l'anticicló hivernal presenta caràcters de cosa

14

poruga i efímera, amb detalls que depenen principalment de les circumstàncies locals. Al pla de Barcelona, les nombroses impureses de l'aire provinents de la vida ciutadana i de l'activitat industrial actuen com a nuclis de condensació i són la causa d'una calitja que des de la sortida del Sol s'escampa per tot el pla i àdhuc arriba un bon xic mar endins, i fa perdre a la baixa atmosfera la seva transparència habitual, fins ben entrat el matí. Els carrers en resulten mullats, sense que en realitat es tracti d'un fenomen de veritable rosada, i vista des dels turons veïns, la ciutat apar com negada en una mar de boirina que arriba fins a la base de la serra litoral i per fora de la qual treuen sovint el cap algunes xemeneies i campanars, que donen testimoni del poc gruix de la nostra calitja matinera. L'estabilitat de la baixa atmosfera, deguda a la major densitat que el refredament produeix a les capes inferiors, és aleshores un màxim, i la manca de vent, com no sigui algun terral fluix, fa que no hi hagi una barreja efectiva amb les capes sobrestants, de les quals queda separada la massa de calitja per una superfície d'aspecte nuvolós que ondula majestuosament i que en una fotografia mal interpretada es podria fer valer per un mantell d'estratocúmulus.

A l'arxiu de fotografies de la Fundació Concepció Rabell se'n poden trobar moltes que donen aquesta impressió de la boira barcelonina, limitada per un tènue mantell de núvols estratiformes.

Generalment, el Sol, a les dues o tres hores d'haver sortit, ja ha donat compte de la nostra calitja. Aquesta és tan poc consistent, que un augment de temperatura d'un parell de graus, produït per una causa qualsevol, provoca la seva desaparició completa. No cal, com a mostra, sinó esmentar un fet que es revela a l'estadística diària de boires que portem a l'Observatori Fabra. Els dies de calitja matinal, per poc que es giri una mica de terral dalt de la serra, immediatament es forma com un oasi perfectament clar a la zona compresa entre Pedralbes i la part baixa de les Corts. La causa n'és la devallada del terral que passa pel coll de Vallvidrera, terral que, ja sigui perquè d'origen és més calent, ja perquè en baixar de nivell i augmentar de pressió baromètrica

augmenta també de temperatura per efecte de la compressió, dissol la calitja.

És una cosa curiosa, veure com un mateix fet, en circumstàncies diferents, dóna lloc a conseqüències oposades. El terral, en abatre's a Barcelona damunt la plana, desfà la calitja. El mateix terral, a la Costa Brava, fa néixer la boira. És, com dic, qüestió de diferències de temperatura. El vent descendent barceloní, davallant cap a una plana refredada per la irradiació nocturna, hi determina un petit augment de temperatura: conseqüència, una aclarida. El terral que a la Costa Brava surt pels afraus, ve amb la temperatura de les valls gebrades, i en estendre's damunt la mar, que conserva temperatures molt superiors, determina la condensació del vapor d'aigua, gairebé saturat, que s'aixeca de la superfície líquida; conseqüència, una boira. Tota la Costa Brava ens en dóna exemples. El més conspicu és, potser, el de la mar fumant de la badia de Blanes, que es produeix algunes matinales molt fredes de l'hivern quan el terral procedent de la petita conca de la riera de Blanes, que és una de les més fredes de la costa, s'escampa damunt la mar entre la punta de Santa Anna i la platja de Sabanell. Arran de la superfície de l'aigua, la temperatura és aleshores de 12 o 13 graus, mentre el terral que s'hi posa en contacte ve a temperatures properes a zero, o àdhuc per sota de zero. Si només és la riera el lloc per on s'encaixona el terral fred, la boira es forma just davant les edificacions de la vila; però si és tota la platja la que hi pren part, la zona de boires s'estén des de la punta de Santa Anna fins prop del cap de la Tordera.

Tampoc aquesta boira és gaire alta. Per altra banda, com que afecta una zona on les temperatures són invertides en relació amb les boires terrestres: a la part alta l'aire més fred, i per consegüent més dens, i a la part baixa l'aire més calent i més humit, i per consegüent més lleuger, esdevé que aquest darrer ascendeix a glops, i es produeix una forta turbulència, que fa que la boira, en lloc d'ésser tranquil·la com la de les valls, prengui l'aspecte de flamarades que s'aixequen de la superfície de l'aigua fins a alçàries d'uns quants metres, i que no duren sinó uns

16

segons, perden-se tot seguit. Són moltes les cales d'aquella costa on pot ésser contemplat aquest fenomen a sortida de Sol. En cada cas, la major o menor extensió de les fumeres depèn del refredament del «hinterland» d'on procedeix el terral, i de la massa més gran o més petita d'aire que s'escoli per l'afrau cap a mar.

Els factors d'enterboliment i de diafanitat

Totes aquestes boires i calitges són pròpies de les capes més baixes. A alguns metres d'alçària ja no afecten ni poc ni molt la transparència general de l'aire, i llevat d'alguns dies a l'interior del país, a Catalunya no és freqüent que arribin a comprometre la visibilitat en direcció vertical en termes que facin perillosa l'aviació o que representin un factor sensible en les despeses de llum de les poblacions.

En direcció horitzontal ja és altra cosa, i la visibilitat llunyana se'n ressent sovint. Per tal de determinar-la, al Servei Meteorològic de Catalunya s'anota, de dues en dues hores, la distància a la qual són visibles els objectes. Un estudi d'aquestes observacions fa veure que a les 7 del matí, o sigui a l'hora que la calitja ciutadana és més intensa, els objectes situats a 3 quilòmetres de distància són visibles un 60 per cent de les vegades, i a 2 quilòmetres la visibilitat arriba a un 80 per cent, més per la part de muntanya que per la de mar. Les observacions de tarda donen una visibilitat molt més gran, i són pocs els dies que no es distingeix l'horitzó marí amb alguna claredat.

No sabem—¡són tantes les coses que no sabem!—quines són les partícules que ens enterboleixen l'aire. A l'hivern semblen ésser-ne principalment responsables els nuclis de condensació del vapor d'aigua; però a l'estiu hi prenen part amb molta freqüència els corpuscles sòlids, entre els quals ocupen lloc preferent la pols dels camins, ressecats per l'eixut, i el pol·len de les plantes aeròfiles, que en quantitats enormes s'aixeca dels boscos i dels camps. D'aquest darrer, n'ha començat l'estudi el doctor Darder i Rodés, en col·laboració amb el doctor Duran. Entre els arbres

que contribueixen a enterbolir l'atmosfera inferior, cal esmentar en un dels primers llocs els pins de les nostres serres, que a les darreries de març o començament d'abril llencen al vent llur pol·len en prou abundor per a formar damunt del bosc una veritable calitja. Quan plou, la pluja el precipita, i se'l reconeix en forma d'una impuresa groguenca a l'aigua dels pluviòmetres instal·lats prop de les pinedes. Menys inofensives que les del pi són altres espècies de pol·len que la primavera i l'estiu envaeixen les capes baixes de l'aire en quantitats també considerables i produeixen en l'organisme humà malalties de procés encara poc conegut, però d'origen pol·línic indubtable. D'aquests pol·lens patògens, els prats i els camps en desprenen a dojo, i no cal dir si tindria interès extraordinari seguir-ne un estudi sistemàtic, que amb el temps podria arribar a constituir una de les branques més fructíferes de la ciència de l'aire.

Pel que fa referència a les partícules minerals que es troben en suspensió en l'atmosfera, no han estat estudiades a Catalunya sinó quan les pluges les han precipitades en quantitat extraordinària, en forma de pluges de fang. El professor Pardillo ha fet preparacions microscòpiques dels materials recollits pels nostres col·laboradors i ha aconseguit establir-ne la procedència. El resultat ha estat que es tractava de pols arrabassada pels vents al desert africà en quantitat d'alguns milions de tones, i escampada després damunt l'occident d'Europa, des de la nostra península fins a les illes Britàniques. Les fotografies mostren cristalls de substàncies prou dures i de caires prou vius perquè hagin d'ésser considerats com hostes poc desitjables; cal tenir en compte, però, el gran augment que l'autor ha emprat en aquestes ampliacions, que en realitat donen aparença de grans exemplars de museu a minerals minúsculs, que no tenen sinó unes mil·lèsimes de mil·límetre.

Sense que les irrupcions de pols sahàrica siguin una cosa desacostumada els dies que el vent ve de migjorn, cal considerar-les, però, com un fet secundari pel que fa referència a la diafanitat habitual del nostre cel. El més freqüent és que no la disminueixin precisament les partícules grosses, veritables gegants

18

del món microscòpic, sinó aquelles altres de dimensions prou petites per no ésser ja visibles a l'ull nu, però prou nombroses per a influir d'una manera notable en la quantitat de llum i de calor que procedent del Sol, arriba fins a nosaltres. Heus ací un altre dels problemes que semblen reservats a les noves promocions de meteoròlegs.

Però si el coeficient de transparència del nostre cel no ha estat determinat encara, i si no en tenim sinó una idea intuitiva, podem, en canvi, afirmar que l'enterboliment no és mai tan gran que arribi a influir en la durada eficaç de l'acció del Sol. Les dades que en posseïm són principalment de Tortosa, Barcelona i Vilatorrada, on han funcionat heliògrafs ben instal·lats. Si comparem per a Barcelona, per exemple, el nombre d'hores de Sol efectiu amb la durada astronòmica del dia, és a dir, amb el nombre d'hores que el Sol, visible o tapat, ha estat damunt de l'horitzó, s'arriba a aquest resultat esplèndid: que un 63 per cent del temps, el Sol lluu a Catalunya amb prou intensitat per a cremar les fulles de cartulina de l'heliògraf. La resta no és obra de l'opacitat, sinó dels núvols; d'aquelles quatre dècimes de núvols que en promedi ens corresponen.

No ens en podem queixar, i és certament a aquesta eficàcia de la insolació, juntament amb la proximitat d'una mar Mediterrània que no baixa sinó rarament dels 13 graus de temperatura, que la nostra regió costanera deu el seu clima admirable.

La serenor del cel encara augmenta generalment quan es fa nit, és a dir, quan els darrers núvols de convecció diürna s'esvaeixen. L'estiu, no en segueix sinó un refredament discret de la terra, que ens dona vetlles tolerables després d'una diada de foc. L'hivern, en canvi, la calor que durant el dia ha trobat camí franc fins a terra, a la nit troba camí franc per a tornar-se'n a l'espai, i la irradiació pot prendre caràcters imposants en els llocs serens i encalmats, on produeixen freds glacials prop de terra, tot deixant una relativa escalfor en altitud. Un sondatge nocturn amb globus captius, com els que el Servei Meteorològic de Catalunya va fer anys enrera per estudiar les glaçades de la Plana de Vic, proporciona dades que no deixen dubte sobre la realitat



CLIXÉ J. PONS

En arribar al plom de la costa, els núvols de la marinada es desfan, després de passar per la fase final de fractocúmulus



CLIXÉ J. PONS

El corrent ascendent de la marinada es assenyalat per un banc de cúmulus que camina cap a mar, arrossegat per la contrabrisa. Al fort de l'estiu, la marinada penetra més de 60 Km. terra endins

d'aquestes inversions. És, potser, en les glaçades nocturnes, on les diversitats locals de què abans parlava es posen més en evidència, i on les condicions orogràfiques i les de proximitat o allunyament de la mar es fan sentir amb més intensitat. Així les glaçades de temps d'anticicló, rares prop de la mar, són abundants a la part meridional dels plans d'Urgell i a les valls closes, on durant les nits rases i encalmades de l'hivern s'estaciona prop de terra una capa d'aire a temperatura molt inferior a zero. Això explica, per exemple, que la possibilitat de glaçada quedi reduïda a un període de 80 dies a Mataró, que és un dels llocs més privilegiats de Catalunya en aquest sentit, amb un promedi de 2 a 3 nits de glaçada efectiva per any, i en canvi el període de perill arribi a 230 dies a Vic, amb un promedi anyal de 98 nits de glaçada efectiva. No cal dir que en aquestes dades comparatives hi entren només les terres de gran conreu, i no l'alta muntanya, que per ara ha estat molt poc estudiada meteorològicament.

Les capes altes de l'aire

Els fets als quals acabo de referir-me deixen entreveure què és el nostre cel des del punt de vista estàtic, és a dir, tal com el descriuen els climatòlegs. Potser seria més interessant dir que ens el presenten des d'un punt de vista econòmic, perquè en l'actualitat, en tractar-se d'un clima, comença ja a cotitzar-se el seu element «transparència», que és el mateix que dir quantitat de Sol, de radiacions i d'energia còsmica.

Però no tot és estàtic a l'atmosfera, sinó que més amunt de la regió on nosaltres vivim tenen lloc a cada moment mutacions que ultrapassen el camp dels números i dels promedis, per donar ample espai a les formes més vistoses del celatge. D'aquestes n'hi ha d'universals, que es troben a tot arreu; són generalment formes viatgeres i cosmopolites, hostes rodamons de tots els cels i de totes les latituds. A més d'elles, cada país en té de pròpies, filles de la seva situació i de la seva topografia, i són les que dins del nostre tema ofereixen un interès més gran. Potser

20

és una il·lusió; però em sembla que malgrat aquell aforisme que abans he recordat, que els fets meteorològics elementals són els mateixos a tot arreu, un observador pràctic reconeixeria tot seguit certs celatges com genuïnament catalans.

Per massa locals, no inclouré en aquesta categoria aquells celatges imprecisos formats de bromes rossegueres que semblen rebutjades alhora per la terra i pel cel; parracs de núvols vergonyants, generalment paràsits dels vessants de les muntanyes, i que són comuns a totes les terres mitjanament accidentades. Aquestes bromes són poc freqüents a les nostres planes, i és per això que les formes clàssiques dels estrats i dels fractostrats les trobem sovint arrapades als pendissos, subordinades a la humitat de les valls properes.

Es pot dir que les formes típiques de la nuvolositat local comencen d'aparèixer, àdhuc en les temporades que passen per damunt nostre les pertorbacions viatgeres, tan bon punt se n'ha anat la part amorfa i nimbiforme del celatge. Quan després d'uns dies emplujats el vent de mestral asserena l'aire i la coloració del paisatge comença a pujar de to, a les altures resta encara, com a record del mal temps passat, una estratificació amb alternàncies d'humitat; una mena d'estructura fullada de l'atmosfera, que al més petit moviment d'ascens dóna lloc a rimes de núvols laminars superposats. És aleshores que les grans línies de la topografia del país són com retratades dalt del cel. Allí on el vent no pot contornejar una muntanya i es veu obligat a tramuntar-ne la carena, empeny per sota aquella massa estratiforme, l'abonyega cap amunt, i un apilonament de fulls nuvolosos se situa damunt de cada una d'aquelles prominències. Quan n'és el temps, des de Barcelona ja sabem on hem de cercar aquest espectacle, que és gairebé immòbil malgrat la velocitat del vent. L'altiplà de Begues, els cims de la serralada interior catalana són assenyalats a dalt del cel per aquesta mena de corones.

També, quan esdevé la darrera fase de les pertorbacions generals, i en particular dels secundaris mediterranis, prenen un aspecte ben localitzat i ben nostre algunes nuvolasses dels fronts freds, les quals en nombre de dos o tres, l'una darrera l'altra,

vénen ràpidament del primer o segon quadrant. Llur altura és molt escassa, i per llur aspecte i per llur estriació revelen l'existència d'amples remolins d'eix horitzontal. Quan passen pel zènit, el cel s'ennegreix i una ventada freda alça enorme polseguera durant uns quants minuts. Fora de la nostra costa aquesta forma de torb és poc freqüent, i en alguna publicació l'hem vist citada amb el nom de *roleu barceloní*.

Els celatges convectius

Però si prescindim d'aquestes acomodacions de fenòmens errants i forasters a la topografia local, es pot dir que els nostres celatges típics—que són també els més freqüents—neixen quan es fa sentir la convecció diürna produïda per l'escalfor del Sol. Depenen sobretot de dos factors decisius: de les condicions de temperatura i d'humitat de les capes baixes, que determinen l'energia ascensional de l'aire, i de que a les proximitats del nivell on pot formar-se el núvol hi hagi o no una capa d'inversió, és a dir, a temperatura més alta que la de les capes subjacents. Quan una d'aquestes inversions es troba poc per damunt del nivell on segons les lleis de la termodinàmica ha de formar-se un núvol, aquest queda com aclofat, i presenta l'aspecte que els meteoròlegs han anomenat *cúmulus humil*.

Prop de la costa catalana, és molt freqüent trobar aquestes inversions a mil o mil cinc-cents metres d'alçària, per sota dels quals els *cúmulus humils* fan llargs rosaris compostos d'elements escanyolits, que no poden travessar la massa d'aire tebi que tenen al damunt.

Si la convecció té lloc simultàniament en molts de punts, i si l'inversió és molt pronunciada, el cel s'omple d'aquesta mena de núvols, que sovint són arrossegats pel vent i amb gran facilitat adquireixen formes equinçades, tornant-se *fractocúmulus*. Tots ells neixen a un mateix nivell, i després d'una curta peregrinació es desfan, i desapareixen en arribar el plom de qualsevol detall topogràfic que inflecti cap avall la direcció del vent.

Són moltes les vegades que és el núvol mateix el qui crea la

22

capa inversora que el deté en la seva creixença vertical. L'augment de temperatura, en aquest cas, no és sinó l'efecte de la calor latent que desprenen les gotes d'aigua en l'acte de formar-se. El gruix del núvol, que així es fa ell mateix d'obstacle, és encara més reduït, i si l'atmosfera no és agitada per vents forts, la seva superfície es va estenent més i més, i adopta una figura ondulada on els productes de la condensació es disposen en corrons o rengleres paral·leles. Per llur direcció, les ondulacions donen un indicatiu de la del vent superior, que els és perpendicular.

D'aquesta forma de rengleres discontinues a la més ferma d'un cel totalment cobert per una cortina ondulada, no hi ha sinó un pas. Els dies encalmats i tristos d'hivern i de tardor, i àdhuc molts de la primavera, uns celatges així són freqüents. Solen cobrir tot el firmament i són l'espant dels qui pateixen por de la pluja. En el fons no porten més malícia que els petits cúmulus humils, dels quals no es diferencien sinó per llur extensió. D'ells no sol caure ni una gota d'aigua; els meteoròlegs saben prou bé que dels núvols primis no en plou si no estan animats d'un fort moviment de lliscament cap amunt.

Vistos per sobre, formen les mars de núvols. La inversió tèrmica s'hi fa prou visible per la manca de força ascensional de les masses boiroses, que només ací i allà presenten alguna sumitat cúpuliforme, i en conjunt semblen la mar en dia de tràngol. És un celatge freqüentíssim a Catalunya quan les pressions són altes i s'ha establert un règim de bon temps durador. En tals condicions, els mantells d'estratocúmulus poden adquirir extensions de molts quilòmetres i persistir hores i hores sense la més petita variació.

Als esborancs per on el sistema es veu de cantell, el pla superior i l'inferior resulten tan poc distants l'un de l'altre, és a dir, el gruix del núvol resulta ésser tan petit, que tot d'una s'endevina que no s'hi ha de produir precipitació de cap classe. De tant en tant, però, una convecció local més enèrgica travessa la capa estable, i si la velocitat vertical és suficient, en poden caure quatre gotes, o quan més un petit xàfec escaducer, difícil



CLIXÉ G. CAMPO

Quan la convecció local s'exagera, els cúmulus es tornen núvols de tempesta. Pot produir-ne la marinada; però més freqüentment formen tempestes les conveccions a muntanya

d'ésser previst per un observador de la plana, perquè les bases de la mar de núvols i del cúmulus penetrant es troben inferiorment en un mateix plafó.

Tots aquests cúmulus, àdhuc a l'hivern, i tant si són estratificats com no, són formats d'aigua líquida. A Catalunya, a l'hivern, les temperatures inferiors a zero es troben, en l'atmosfera lliure, a poc més d'un miler de metres d'altura, i per consegüent les gotes líquides hi estan en estat de sobrefusió. Mentre continuen en suspensió dins de l'aire, poden continuar molt de temps en aquest estat; però n'hi ha prou amb què topin contra un objecte sòlid qualsevol perquè instantàniament quedin congelades. D'aquests canvis d'estat n'és un testimoni una bella fotografia de l'heliògraf del cim del Montseny, obtinguda pel doctor Jardí. Aquell dia, ens hi trobàvem envoltats per un mantell d'estratocúmulus que el vent feia pujar pels pendents de la muntanya, i la congelació de les gotes, en topar contra l'instrument, el cobria de veritables radiacions de glaç, orientades cap a barlovent. Més d'un aviador ha vist el seu aparell desequilibrat per dipòsits de glaç deguts al mateix fenomen.

El cel de la marinada

Potser de tots els celatges del nostre país, els més típics són els de la nostra marinada, del vent benefactor que durant els mesos de calor penetra fins a més d'una seixantena de quilòmetres de la costa, refresca el nostre clima i en fa un dels més suportables dels estius mediterranis. Per més que he cercat no he trobat dades de cap país d'Europa on la marinada tingués ni el gruix ni l'extensió que té a Catalunya, on, entre la brisa del mar i la contrabrisa superior, remou l'aire fins a prop de dos mil metres d'altura. És per això que durant les hores de sol el corrent ascendent fa néixer a tot el llarg de la costa una barrera de núvols, que es dissolen en tornar cap a mar sota l'acció de la contrabrisa que regna a les altures.

L'aspecte dels fractocúmulus de brisa és inconfusible, i per la raó que he exposat abans, bé podrem dir-ne núvols característics

24

de la costa catalana. Formats damunt la depressió interior mediterrània, i fins més enllà de la segona serralada, vénen de ponent, arrossegats per la contrabrisa, i es desfan en formes fracturades en arribar a plom de la platja.

En el moment de formar-se, el seu aspecte és el dels cúmulus ordinaris. A primeres hores del matí neixen prop de mar; però tant com avança el dia el seu límit s'allunya terra endins, i augmenten en quantitat i en potència. Al fort de l'estiu, grans claps de núvols esparracats alternen amb un cel perfectament blau. Amb llur ombra intermitent ajuden a la frescor del vent, i als que vivim a marina ens fan oblidar ben sovint que en aquells moments regna una temperatura tòrrida a les planúries lleidatanes, on la brisa ja no es fa sentir.

No és rar que els núvols de marinada s'exagerin i adoptin una fesomia imposant. Això esdevé en dies de gran inestabilitat de l'aire, ja perquè el gradient tèrmic sigui naturalment excessiu, ja perquè el caldeig del terreny sobrepassi la valor normal. Els rostolls, els erms, els pendissos on la vestidura de gramínies o de falgueres ha estat rostida pel Sol d'agost, són els llocs preferits per a començar-hi corrents ascendents impetuoses que aviat es propaguen a una àrea molt més gran. A les hores de més calor, en lloc de les cúpules arrodonides i quietes dels cúmulus de bon temps, la força de la convecció determina expansions exagerades cap amunt, i comença de caure alguna gotellada.

Els celatges de tempesta

A Catalunya, però, les grans conveccions productores de ruixats no són exclusivament les que van associades amb els vents de mar. Simultàniament amb elles, la calor en fa néixer a totes les valls assolellades, i cada massís de muntanyes n'és un niu.

Si la inestabilitat de l'aire és gran, l'amuntegament de núvols no triga a adquirir l'aspecte d'immenses coliflors que s'enfilen fins a alguns milers de metres i acaben generalment en tempestes aparatoses. És difícil, quan ja les coses prenen aquestes pro-

porcions, distingir si la tempesta és autòctona o si forma part d'una pertorbació general; cal haver seguit la seva evolució per a decidir fins a quin punt és un producte de la terra, o fins a quin punt prové d'algun fenomen de més gran envergadura, que tant pot ésser el front fred d'un canvi general del temps, com el residu de tempestes originades a centenars de quilòmetres de nosaltres.

L'història del dia, la carta del temps, les variacions del baròmetre i del termòmetre, poden ajudar a resoldre la dificultat amb una seguretat relativa. La textura mateixa del núvol tempestuós porta sovint pintada la seva procedència, i un observador pràctic no confondrà les formes originades per una convecció local i viva, amb les d'una tempesta que ve de lluny i es troba en període de declinació, o amb les produïdes per l'empenta mecànica d'un front depressionari.

A més, una de les característiques de les tempestes catalanes és la facilitat amb què el núvol tempestuós adopta la forma clàssica d'enclusa. De les gruixes d'inversió tèrmica que a poc més d'un miler de metres d'alçada aclofen els cúmulus humils, els nostres núvols de tempesta en troben fins als quatre o cinc mil metres. En arribar-hi, cessa llur creixença i s'expandeixen en un pla horitzontal, del qual ja no poden passar. Vistos de lluny, la semblança amb una enclusa és gran, i si són molts els focus convectius, s'aixequen damunt d'una base comuna veritables famílies d'encluses, totes elles limitades a una mateixa altura per una mateixa capa d'inversió.

És molt freqüent que aquest pla limitant coincideixi amb la zona de turbulència on es formen els núvols globulars, que en la nomenclatura internacional s'anomenen altocúmulus; allí es detura un moment el núvol principal, i, o bé s'hi estén horitzontalment d'una manera definitiva, o bé el sobrepassa, després d'haver format, ell mateix i a les seves expenses, un mantell d'altocúmulus que no triga a envair una part del cel. A les fotografies que la Fundació Rabell té dipositades al Servei Meteorològic n'hi ha alguns centenars en les quals aquesta expansió globular és evident.

És en la fantasmagoria de les tempestes muntanyenques on una paraula més galana que la meva us faria sentir tota la bellesa del nostre cel meridional. En la seva ascensió vertiginosa cap a les altures, la tempesta travessa decidida tots els obstacles que troba pel camí. A cada nivell on se li ha barrat el pas, ella hi deixa un rastre de la lluita, però continua amunt. Tantost és un sostre d'estrats negrosos el que a mitja altura marca el nivell de la primera batalla guanyada. Tantost és un capell de nuvolets blancs i escalonats el que marca una zona de saturació abans ignorada, i que ha estat feta visible per l'empenta del núvol tempestuós que puja. Tantost, al cim de tot, cirrus escabellats es desprendran del càdric conjunt, i portats pel vent més ràpid que allí regna, aniran a servir de precursors del pas de la tempesta.

Noves orientacions a seguir

Sobre el cel de Catalunya, trigarà molts anys a dir-se la darrera paraula. Tot just ara comencem de saber-ne alguna cosa. De fora estant ens n'arriben lloances. Comparant-lo amb el de la Riviera, no fa gaires dies que un membre distingit de la Comissió internacional de la Radiació solar, que se n'ha dut a Niça un gran munt d'observacions catalanes per a compulsar-les amb les d'aquella regió privilegiada, m'escrivia aquests mots: «al cap de l'any el vostre cel compta amb més hores de sol que el de Nissa; però és doblement millor, perquè té més sol a l'hivern i un xic més de núvols a l'estiu».

Què és en realitat aquest cel, quina és la seva valor pràctica i biològica, com en treurem el màxim partit, és cosa que entra en el nombre de les coses que estan per fer. És, potser, un detall mínim dins de l'enorme tasca que està preparada per a les reserves intel·lectuals del país, moltes d'elles encara improvisades, i pel que es refereix a certes disciplines, més plenes d'embranchida i de bona voluntat que de formació tècnica i d'escola. Perquè sigui portada a terme aquesta tasca tan complexa, caldrà desvetllar de pressa moltes iniciatives que continuen mancades o adormides, i inclinar més que no s'ha fet fins ara una part

27

selecta del nostre jovent a l'estudi dels nostres recursos naturals. I si no fos per por de caure en l'esterilitat de les coses descomunals i fantasioses encara seria potser interessant veure si és possible desenrotllar un pla d'exploració integral i sistematitzada de la nostra terra i del nostre cel, on trobessin cabuda tots aquells fets i tots aquells fenòmens que en el camp de les ciències de la Natura tenen, de prop o de lluny, alguna transcendència en la vida humana.

PRÒLEG

Enguany celebrem el cent vint-i-cinquè aniversari del naixement del doctor Eduard Fontserè i també el vint-i-cinquè aniversari de la seva mort. Bona part de la llarga vida d'aquest eminent científic, mort a cent anys, transcorre dedicada a l'estudi de l'atmosfera. De la categoria professional i del rigor científic del doctor Fontserè, n'és un bon exponent la seva gran obra meteorològica, feta a la Granja Agrícola Experimental, la Junta de Ciències Naturals del Parc, la Universitat, la Societat Astronòmica, l'Estació Aerològica, la Reial Acadèmia de Ciències i Arts, en la qual fou director del Servei Horari i de la Secció de Meteorologia i Sismologia de l'Observatori Fabra, l'Institut d'Estudis Catalans, el Centre Excursionista de Catalunya, l'Ateneu Barcelonès, del qual fou president, i, especialment, del Servei Meteorològic de Catalunya que creà i dirigí.

Quan el març d'enguany uns quants meteoròlegs ens adonàrem que l'aniversari del doctor Fontserè podia passar completament desapercbut, ens férem el ferm propòsit d'aconseguir retre-li un homenatge i, cosa que creiem més important, de projectar la seva obra i l'esperit científic que li va permetre de realitzar-la. És a dir, ser els catalitzadors d'un acte que tingués el ressò que aquest prohom es mereix.

Per això ens posàrem en contacte amb algunes de les institucions catalanes més representatives per mirar de coorganitzar un homenatge tots plegats: l'Ajuntament de Barcelona, l'Ateneu Barcelonès, la Diputació de Barcelona, la Generalitat de Catalunya, l'Institut d'Estudis Catalans, l'Institut Nacional de Meteorologia, el Museu de la Ciència, la Reial Acadèmia de Ciències i Arts i la Universitat de Barcelona. Tot i el poc temps de què disposàvem per emprendre una acció d'aquesta envergadura, el bon acolliment obtingut de la majoria d'aquestes institucions ens animà a tirar endavant ambdós objectius, ben clars: retre un homenatge institucional a qui ha estat el pare de la meteorologia catalana i organitzar les primeres jornades meteorològiques sota el seu nom.

Per portar a terme aquestes Jornades, s'ha constituït l'Associació Catalana de Meteorologia, que és oberta tant als professionals, estudiants i científics com als aficionats a la meteorologia i a la climatologia. El seu principal objectiu és aconseguir un punt de trobada que propiciï als qui es mouen en aquests camps d'intercanviar-se informació de la millor manera possible, a fi de conèixer i donar a conèixer més bé l'atmosfera i els fenòmens meteorològics que ens afecten més.

La targeta de presentació de l'Associació Catalana de Meteorologia són aquestes Jornades. Per això ens plau agrair la col·laboració a totes les institucions que han

volgut coorganitzar-les amb nosaltres. També manifestem el nostre agraïment als ponents i als qui signen escrits laudatoris.

Aquest llibre, resum de les Jornades, és una prova evident que la tasca feta fins ara va per bon camí. A més, ja hi ha interessants propostes, com per exemple fer una exposició sobre el Servei Meteorològic de Catalunya (1921-1939).

L'Associació Catalana de Meteorologia també celebra l'homenatge al doctor Fontserè que paral·lelament fa el Centre Excursionista de Catalunya. Entre altres actes, hi ha la col·locació d'una placa a l'observatori del turó de l'Home, al Montseny, per deixar constància que va ser una iniciativa d'ell.

Per fi, l'Associació també desitja que aquestes Jornades tinguin continuïtat i una transcendència profitosa al si de la petita comunitat dels qui viuen la meteorologia com a professionals o aficionats.

ACTE INSTITUCIONAL

PRESENTACIÓ

En un any de rellevants aniversaris –Àngel Guimerà, Enric Prat de la Riba, Ferran Soldevila– emergeix la figura d'Eduard Fontserè i Riba, i no només perquè en ell coincideixen els aniversaris del naixement i de la mort –esdeveniments separats exactament per cent anys–, sinó, i sobretot, per la figura del científic eminent que fou. Eduard Fontserè fou físic i matemàtic, però destacà principalment com a meteoròleg i sismòleg. Membre de l'Institut d'Estudis Catalans des de 1921, del qual fou president, participà activament en la Secció de Ciències i en la creació i l'enfortiment de la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques –de la qual també fou president en moments bons i en altres de difícils–, una eina que s'ha mostrat extraordinàriament fecunda en el desenvolupament científic del nostre país.

Abans, Fontserè ja havia destacat per la seva capacitat científica i de gestió: organitzà el Servei Horari, que fixava l'hora oficial de la ciutat de Barcelona, i creà el 1921, amb l'ajuda de l'Institut, el Servei Meteorològic de Catalunya. La xarxa –inicialment pluviomètrica– que creà a tot Catalunya arribà a tenir 350 estacions, i les dades recollides per ell i els seus col·laboradors foren publicades en la sèrie *Notes d'Estudi*, formada per opuscles perfectament documentats, que han esdevingut amb el temps una referència fonamental per a l'estudi de la meteorologia i la climatologia del Principat.

L'Institut d'Estudis Catalans s'honora a retre homenatge a qui fou president de la Secció de Ciències des de 1942 i que hi restà des del 1958 com a president honorari. No hi podria haver res millor per a una ocasió com aquesta que el present recull d'articles de recerca en el camp de la meteorologia, presentats en les I Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè.

Manuel Castellet
President de l'Institut d'Estudis Catalans

EDUARD FONTSERÈ I RIBA, O LO QUE SE PUEDE LLEGAR A HACER VIVIENDO UN SIGLO

J. WAGENSBERG

Director del Museu de la Ciència. Fundació "la Caixa"

Un científico es siempre un pionero. Por lo menos en un aspecto: pionero es el que abre camino, no hay ciencia sin investigación e investigar es justamente eso, abrir camino. Pero la ciencia, además de producirse, también se transmite y se aplica y Eduard Fontserè nació en el lugar justo y en el momento adecuado y vivió lo suficiente como para ser un pionero en todos los aspectos. Barcelona es una ciudad con buena suerte y, en una época en la que todo estaba por hacer en ciencia, nació el físico Fontserè para trabajar, investigar, enseñar, crear escuela, inventar infraestructura y dirigir toda clase de nuevas instituciones de interés ciudadano. No está mal el pedazo de física que se ha escrito, transmitido y aplicado en Barcelona entre 1870 y 1970, y no está mal el pedazo de ese pedazo estimulado directa o indirectamente por Fontserè.

La parte consciente de una vida de cien años dedicada a la ciencia da para mucho: 68 años dirigiendo el Servicio Horario de Barcelona, proyectó y dio vida al Observatori Fabra, inaugurado en 1907, director del Observatori de l'Escola Provincial d'Agricultura y subdirector de la Xarxa Meteorològica de Catalunya i Balears, presidente de la Societat Astronòmica de Barcelona y creador de la primera red de pluviómetros por toda Cataluña, miembro del Institut d'Estudis Catalans, ... y un sinnúmero de iniciativas científicas imprescindibles. Pero su obra culminante fue sin duda la creación y dirección del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Gracias a esta institución y a un ingenioso pluviómetro inventado por uno de sus meteorólogos, el Dr. Jardí, Barcelona dispone de una de las series de intensidad de lluvia más largas del mundo.

En aquella época se hacía una meteorología sin satélites, por lo que lo más importante era mirar las nubes. La fotografía sistemática del cielo de Barcelona ha proporcionado también una de las colecciones de imágenes de nubes más valiosa, bella y sorprendente de la historia.

La huella de Fontserè es visible por todas partes, como la de todos aquellos hombres que han disfrutado contemplando el cambio que provocaban en su entorno y que han sido testigos y protagonistas de grandes logros científicos y técnicos. A los que quieran respirar un poco del aroma de tales huellas, una buena

recomendación: aproximarse al observatorio Fabra, un delicioso y entrañable elemento arquitectónico en la falda del Tibidabo y, si se lo permiten, asistir a su todavía incansable labor de escudriñar el espacio y auscultar las entrañas del planeta. Por su obra intensa, extensa, diversa, comprometida y musculosa, Fontserè es todavía el físico más importante e influyente del país y está claro que si no hubiera existido, hubiera habido que inventarlo con toda urgencia.

LABOR CIENTÍFICA DEL DOCTOR EDUARD FONTSERÈ A LA REIAL ACADÈMIA DE CIÈNCIES I ARTS I A L'OBSERVATORI FABRA

J. M. CODINA I VIDAL
Director de l'Observatori Fabra
i del Servei Horari de l'Acadèmia

D'acord amb el títol i l'esperit d'aquestes Jornades, ens hem de referir en primer lloc a l'activitat del doctor Fontserè pel que fa a la meteorologia. Com és ben patent, aquesta activitat va sobrepassar amb molt l'àmbit de l'Observatori i altres participants l'exposaran o ja se n'han ocupat amb detall; jo em limitaré a comentar els aspectes bàsics de la seva labor a l'Observatori Fabra.

El doctor Fontserè va assumir la direcció de la Secció Meteorològica i Sísmica del Centre l'any 1912 i immediatament va reorganitzar el treball d'aquesta Secció, per conferir-li un caràcter regular i sistemàtic. Respecte a la meteorologia, el seu objectiu va ser l'estudi detallat i en el possible complet de la climatologia local: feia la mesura diària i el registre continu de les principals variables meteorològiques. Inicia ja la publicació d'aquestes observacions diàries l'últim trimestre de l'any 1913, dins de les *Memòries de la Reial Acadèmia*. Des de llavors, la realització i la publicació de les observacions meteorològiques no s'han interromput mai, publicació que molt aviat es va presentar com a pròpia (*Butlletí Anual*) de l'Observatori.

La qualitat més rellevant d'aquesta tasca és la regularitat i la continuïtat, tasca feta diàriament sense cap interrupció durant més de cinquanta anys sota la direcció del doctor Fontserè, sempre amb una reconeguda meticulositat i en el mateix lloc, emplaçament que, a més, no ha experimentat canvis significatius en els seus factors circumdants durant tot aquest interval de temps. (Aquí he de fer constar la intervenció permanent i l'exemplar dedicació, tant en la realització de les observacions com en l'elaboració del *Butlletí*, del senyor Gabriel Campo).

Una sèrie d'observacions que reuneixi totes aquestes característiques (i que ara comprèn ja vuitanta anys) és poc freqüent i presenta un especial valor per al coneixement de les característiques climàtiques de la zona; a més, es pot constituir moltes vegades en un punt de referència.

L'interès i la inquietud del doctor Fontserè es va estendre fins i tot al domini de l'instrumental, fins al punt d'aconseguir la col·laboració del doctor Ramon

Jardí per a la millora substancial de l'anemòmetre Bourdon (Jardí) i per al projecte del pluviògraf d'intensitats (Jardí).

Al mateix temps, gràcies a la publicació anual del *Butlletí*, posava tots els valors obtinguts a la plena disposició dels investigadors i dels estudiosos de la matèria.

Així, doncs, va desenvolupar a l'Observatori, juntament amb els seus col·laboradors, una anàlisi detallada i precisa de la climatologia local.

* * *

D'altra banda, el doctor Fontserè va tenir també al seu càrrec la tasca sísmica que es desenvolupava a l'Observatori. Per començar, va substituir l'any 1912, en ser nomenat per la Reial Acadèmia director de la Secció Meteorològica i Sísmica, els primitius sismògrafs instal·lats poc després de la inauguració del centre per uns altres (Mainka) de més sensibles (dins les possibilitats econòmiques del moment). Encara avui funcionen, ja que per les seves característiques (període llarg) són complementaris dels més moderns i molt més sensibles que els adquirits últimament, a més de tenir en compte que no convé interrompre la sèrie de registres.

Amb l'esmentat instrumental l'Observatori Fabra, sota la seva direcció, intervenia en la sismologia mundial; però sempre va conferir una especial atenció a l'estudi de la sismicitat regional. En el cas de terratrèmols sentits directament pel públic, el doctor Fontserè en feia el corresponent estudi macrosísmic (obtenció del mapa d'isosistes, localització de l'epicentre) mitjançant una enquesta que dirigia a una xarxa d'observadors voluntaris, que ell mateix havia preparat, estesa per tot Catalunya. Els principals col·laboradors del doctor Fontserè en aquesta labor foren també el senyor Gabriel Campo i el doctor Manuel Álvarez-Castrillón. Tots els resultats obtinguts eren publicats, amb detall, al *Butlletí Anual* de l'Observatori.

Paral·lelament es va ocupar de l'història sísmica del nostre país, des dels temps antics fins a la fundació de l'Observatori, rebuscant nombroses fonts escrites.

Amb tot això va aconseguir un primer coneixement, notablement precís, del comportament sísmic de la nostra regió.

El doctor Fontserè es pot considerar veritablement com l'introduïdor de la sismologia científica a Catalunya.

* * *

Coherent amb el títol que encapçala aquestes línies, em vull referir per últim a una altra activitat del doctor Fontserè dintre de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts: la de director, des de 1894 i durant més de setanta anys, del Servei Horari de l'Acadèmia (i que molt aviat va ser Servei Horari Municipal confiat a l'Acadèmia).

L'Acadèmia havia fundat el 1886 el seu Servei Horari per corregir l'anarquia horària que regnava a Barcelona. En aquella època, sense radiodifusió, era molt difícil obtenir l'hora i difondre-la entre el públic. Tal com deia el mateix doctor Fontserè, a Barcelona cada barri tenia la seva hora, la qual cosa significava que la ciutat no en tenia cap.

L'obtenció precisa de l'hora exigia la realització d'observacions astronòmiques acurades, que tan sols estaven a l'abast d'una institució científica. L'any 1891, l'Ajuntament declarava hora legal a Barcelona la determinada per la Reial Acadèmia de Ciències i Arts.

A partir del 1894, el doctor Fontserè es responsabilitzà d'aquest servei. Determinava l'hora quasi diàriament mitjançant observacions astronòmiques fetes des de les cúpules que coronen l'edifici de l'Acadèmia a les Rambles (superant, no poques vegades, dificultats de tots tipus, tant naturals com d'altra mena). A partir de 1922, les observacions astronòmiques varen ser substituïdes per la recepció per ràdio de senyals horaris.

Es pot dir del doctor Fontserè el que ell atribuïa modestament al Servei Horari de l'Acadèmia: «Haver ajudat durant més de mig segle a sostenir el ritme de la vida de la ciutat i a sincronitzar les seves activitats industrials i econòmiques.»

En acabar aquestes consideracions, i en la commemoració del 125è aniversari de la seva naixença, desitjo retre homenatge d'admiració i de reconeixement al doctor Eduard Fontserè per tota la seva labor feta a l'Observatori i a l'Acadèmia, amb tan exemplar dedicació, de manera altament desinteressada pel que fa a benefici personal i amb resultats que constitueixen valuosíssimes aportacions a aquells camps en els quals va desenvolupar la seva activitat.

SERVEI CIENTÍFIC, INVESTIGACIÓ BÀSICA. EDUARD FONTSERÈ I RIBA (1870-1970) I L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

A. ROCA

President de la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica

La vida científica d'Eduard Fontserè i Riba fou especialment llarga i plena de realitzacions, gràcies al fet que gaudí de bona salut física i mental fins gairebé la mort als cent anys. Presento a continuació una aproximació a la seva trajectòria, centrada en la seva vinculació amb l'Institut d'Estudis Catalans, del qual fou membre des del 1921, tot i que la seva col·laboració havia començat uns anys abans.

Fora de l'etapa actual, un dels períodes més actius en iniciatives científiques i tècniques fou el que culminà amb la creació de la Mancomunitat de Catalunya el 1914, però que podem dir que s'havia iniciat set anys abans, el 1907, amb l'arribada d'Enric Prat de la Riba a la presidència de la Diputació de Barcelona. La «comissió de nous serveis» que creà a la Diputació només arribar a la presidència, incloïa al mateix temps la creació d'una càtedra d'automobilisme a l'Escola d'Arts i Oficis i la de l'Institut d'Estudis Catalans; però també es plantejava un pla de ferrocarrils secundaris i la convocatòria de beques per a estudis sobre l'organització de l'ensenyament secundari, tècnic i universitari a diversos països del món.

Com és sabut, l'Institut d'Estudis Catalans inicià els seus treballs el 1907, centrat en estudis sobre l'art, la història i la literatura catalanes. Quatre anys més tard, el 1911, s'amplià amb dues noves seccions, una dedicada específicament als estudis i treballs filològics, que s'havia de constituir en acadèmia de la llengua catalana, i la de ciències, que tenia per missió aclimatar els avenços internacionals de la recerca i promoure'n el desenvolupament a Catalunya.

Eduard Fontserè i Riba entrà en relació amb l'Institut d'Estudis Catalans el 1913, poc després que aquest hagués organitzat la seva Secció de Ciències. Tanmateix, comptava amb coneixences i amistats antigues en la Secció: d'una banda, el sociòleg Pere Corominas, amic de joventut, la vida del qual havia contribuït a salvar amb les seves gestions davant del tribunal militar que l'havia jutjat el 1896, en el conegut procés de Montjuïc; d'altra banda, Esteve Terradas, que no solament era col·lega de Fontserè a la Facultat de Ciències, sinó que havia estat alumne seu en la llicenciatura de físiques i a la càtedra d'astronomia de l'Acadèmia.

En dirigir-se a l'Institut, tractava d'obtenir suport per una iniciativa científica singular: estudiar l'atmosfera en altura, mitjançant el llançament de globus,

dins d'un programa internacional que havia plantejat la Comissió Internacional d'Aerostació Científica. Vist en retrospectiva, és fàcil dir que aquest programa d'observacions havia de renovar les teories meteorològiques, que, segons que havien vist clar els membres del grup de Bergen, a Noruega, encapçalats per Vilhelm Bjerknes, havien de basar-se en models tridimensionals.

La proposta de Fontserè fou ben acollida per l'Institut i el 1914 començà les seves observacions l'anomenada Estació Aerològica de Barcelona, que l'Institut sostenia pel que fa al material; la intervenció de personal havia de ser voluntària.

Veiem, doncs, que el Fontserè que s'adreçà a l'Institut el 1913 estava plenament involucrat en la recerca meteorològica. Tot i que ja era una persona madura —tenia quaranta-tres anys—, la seva implicació en aquest camp era, però, força recent. Revisem breument a continuació la seva trajectòria fins aquell moment.

Eduard Fontserè i Riba havia nascut a Barcelona el març del 1870 en una família de tècnics barcelonins molt destacats. El seu avi, Josep Fontserè i Domènech, havia estat l'arquitecte municipal de Barcelona que havia dirigit l'enderrocament de les muralles. El seu oncle Josep Fontserè i Mestres era igualment arquitecte municipal i urbanitzà la Ciutadella i el seu entorn. El seu pare, Eduard Fontserè i Mestres, fou separat dels seus càrrecs a l'Ajuntament de Barcelona relacionats amb la conducció d'aigües pel fet que es negà a jurar la constitució de la Restauració. El jove Eduard cresqué, doncs, enmig d'algunes dificultats econòmiques. Després del batxillerat, estudià comerç —probablement per tenir un ofici i poder guanyar-se la vida— i, a continuació, estudià a la Facultat de Ciències de Barcelona, on es llicencià el 1891. El 1891, després dels consegüents cursos a Madrid, obtingué el doctorat en ciències físiques.

Tornat a Barcelona, aconseguí una sèrie d'ocupacions, algunes modestament remunerades, mentre esperava una càtedra a la Universitat, cosa que no arribà fins el 1899. D'una banda, guanyà la plaça d'auxiliar *gratuït* de la Secció de Físiques de la Facultat de Ciències de Barcelona. D'altra banda, fou contractat per la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona per fer-se càrrec dels observatoris que s'havien instal·lat a les cúpules de les torres de la seu social acabada de remodelar. Un d'ells era un observatori meteorològic força modest, que responia a un antic projecte de l'Acadèmia de muntar un servei meteorològic català. L'altre observatori era astronòmic i era la base del servei de l'hora oficial que s'havia organitzat a partir d'un acord amb l'Ajuntament de la ciutat. El servei tenia cura de mantenir en hora una sèrie de rellotges públics de Barcelona.

A la mateixa Acadèmia de Ciències, amb el patrocini de la llavors acabada de fundar Societat Espanyola Protectora de la Ciència, Fontserè es féu càrrec el mateix 1893 d'una càtedra d'astronomia, matèria que no era explicada a la Universitat. De fet, en aquest període, el centre d'interès científic de Fontserè era aquesta ciència, l'astronomia i, dins d'ella, alguns vessants del que anomenem *astrofísica*. La participació destacada de Fontserè el gener-febrer de 1896 en el grup de físics que reproduí a Barcelona les experiències de Röntgen d'obtenció de raigs X ens mostra que tenia inclinacions decidides cap a la investigació física.

Ara bé, de totes aquestes ocupacions, la que hauria de resultar més decisiva fou la seva incorporació el 1898 com a professor de l'Escola de Capatassos de la

Granja Agrícola Experimental de la Diputació de Barcelona, en la qual hi havia un observatori meteorològic, a partir del qual el director de la Granja havia organitzat una xarxa. La tasca de Fontserè consistí a millorar la coordinació de la cinquantena de col·laboradors voluntaris de Catalunya i Balears que arribaren a compondre la xarxa que se centrà, per raons de disponibilitat de diners, en la pluviometria, una qüestió, d'altra banda, ben important. Durant el poc més d'un any que hi estigué, Fontserè tingué la iniciativa de portar a terme alguns estudis, entre els quals cal destacar el seguiment de tempestes, una experiència de meteorologia dinàmica pionera a Catalunya i, probablement a Espanya. Aquest fou el seu primer contacte seriós amb la meteorologia.

Els primers anys de segle foren difícils per a Fontserè. L'Acadèmia de Ciències rebé el 1902 una important donació del marquès d'Alella, Camil Fabra i Fontanills, per establir un observatori al Tibidabo. Els treballs de construcció començaren tot seguit, a partir del projecte que Eduard Fontserè havia preparat, per encàrrec de l'Acadèmia, el 1894. Tot i així, ell quedà al marge del nou observatori, la direcció del qual fou atorgada a Josep Comas i Solà, amb el qual Fontserè havia mantingut una amistat estreta fins poc temps abans, amistat que s'havia refredat bruscament quan Comas fou elegit acadèmic el 1900.

Aquesta situació de marginació es prolongà fins el 1909, any en què Fontserè fou escollit acadèmic. Tres anys més tard, era nomenat director de la Secció meteorològica i Sísmica de l'Observatori Fabra, en el qual Comas mantenia la direcció de la Secció Astronòmica.

Aquest període havia estat decisiu per al decantament de Fontserè cap a la geofísica, principalment, cap a la meteorologia. El gener de 1910 s'havia creat la Societat Astronòmica de Barcelona, el primer president de la qual va ser Esteve Terradas Illa. Amb la nova societat astronòmica es volia reunir tots els amants de l'astronomia, professionals i aficionats, en una entitat equiparable a d'altres del món, per coordinar i potenciar les seves activitats. El paper moderador de Terradas no va poder impedir, però, que un any més tard Comas i Solà sortís de la Societat i fundés la Societat Astronòmica d'Espanya i Amèrica.

El 1911 Fontserè succeí Terradas com a president de la Societat Astronòmica i va rebre, poc després, una proposta de l'enginyer geògraf José Galbis, que acabava d'assumir la direcció de l'Observatori central meteorològic, per incorporar els observadors voluntaris catalans en la xarxa del servei espanyol. De fet, Fontserè recuperà els contactes de l'antiga xarxa de la Granja i aconseguí en poc temps reprendre les seves activitats. El suport dels serveis centrals, que facilitaren les comunicacions telegràfiques per a la recepció de la informació de la resta d'Espanya i de l'estranger, i disposar, a partir del 1912, com hem dit, de l'Observatori Fabra, es materialitzaren en una xarxa renovada, centrada, com abans, en la pluviometria, que arribà a comptar amb més de dues-centes estacions. Amb les dades recollides es formaven cartes del temps que eren exposades a diferents edificis públics.

Fins aproximadament el 1918, la xarxa de la Societat Astronòmica anà funcionant gairebé com un servei meteorològic, però es basava en el treball voluntari no solament de la major part dels observadors, sinó també de les persones que elaboraven les dades. L'Estació Aerològica de Barcelona, per la seva banda, continuava

dependent de la generositat dels que feien les observacions, el mateix Fontserè, Gabriel Campo i Ramon Jardí, entre d'altres. L'Estació de l'Institut d'Estudis Catalans *no podia* limitar-se als dies programats per la comissió internacional, atès que rebia peticions força sovintejades de les companyies aèries que operaven a Barcelona perquè els indiqués dades sobre els vents locals.

Aquesta situació esdevingué insostenible i la xarxa de la Societat es paralizà. El 1919, però, la Mancomunitat acordà crear un servei català de meteorologia, que no inicià efectivament les seves tasques fins al 1921.

La creació del Servei Meteorològic de Catalunya estava emmarcada en l'objectiu dels dirigents de la Mancomunitat de crear infraestructures de recerca i de servei científic a la societat. Poc després de constituir-se, la Mancomunitat havia creat diversos serveis científicotècnics, com el Servei del Mapa Geogràfic i el Servei del mapa geològic, ambdós amb objectius ben clars d'identificació del territori i d'aprofitament dels recursos minerals. D'altra banda, la Mancomunitat tenia un fort interès en la modernització de l'ensenyament a tots els nivells. En aquest sentit, cal destacar el suport de la Mancomunitat a l'Escola Industrial a Barcelona, on s'aplegaven centres de formació i de recerca tècnica de nivell secundari i superior. Al mateix temps, per afavorir la recerca, la Mancomunitat es proposà la creació de *laboratoris* en diversos camps (psicologia, pedagogia, agricultura, química, tèxtil, mecànica i electricitat, fisiologia, meteorologia), cosa que posava de manifest la concepció dels seus dirigents, partidaris de la investigació amb base experimental i amb vocació de ser aplicada.

El 1919, la Mancomunitat s'apressà a aprovar el servei de meteorologia a partir d'un projecte redactat per Fontserè, tement que el servei espanyol creés un centre regional a Barcelona. Tanmateix, el funcionament efectiu del Servei no arribà fins el 1921, després de rebre finalment els traspassos de competències de les diputacions provincials i després que la Mancomunitat emetés l'emprèstit dels cinquanta milions, que li permeté de formular un programa molt ambiciós d'activitats.

El Servei Meteorològic de Catalunya, posat sota la dependència científica de l'Institut d'Estudis Catalans, consistia en una oficina central professionalitzada, encarregada de coordinar les dades procedents, d'una banda, de la xarxa d'observadors voluntaris, recuperats de les experiències anteriors, que passà de tres-cents components; entre aquests col·laboradors voluntaris hi havia estacions professionals, com l'Observatori Fabra o l'Observatori de l'Ebre, estacions privades d'empresa, com les que havien organitzat les companyies hidroelèctriques, estacions en escoles secundàries, moltes d'elles a càrrec d'ordes religiosos, com els salesians, i, finalment, observadors privats i aficionats a les ciències d'observació, alguns d'ells «professionals», com ara Josep Pratdesaba, de Vic. D'altra banda, l'oficina aplegava les informacions espanyoles i internacionals rebudes a través de telegrafia sense fils. Amb aquestes dades, els dos meteoròlegs del Servei, junt amb el seu director, Fontserè, elaboraren ja des del 1922 una previsió diària del temps que es donava a conèixer en els edificis públics de Barcelona, però també als locutors de la xarxa telefònica de la Mancomunitat.

El Servei dirigit per Fontserè es mostrà molt obert a les noves tecnologies. El 1927, dos anys després de la seva inauguració, l'emissora pionera a Espanya,

Ràdio Barcelona, emetia la previsió diària del temps. Poc després, es feren proves d'emissió de les cartes del temps per telefotografia, utilitzant l'aparell tipus Belin patentat el 1930 pel tècnic sabadellenc Pau Abad.

El Servei era, a més, un centre promotor de la recerca climatològica de Catalunya. Aquesta recerca ha quedat reflectida en les publicacions del Servei i, principalment, en les *Notes d'Estudi*, seixanta-nou de les quals n'aparegueren entre 1921 i 1938. Hi podem trobar desenvolupaments instrumentals, com el pluviòmetre d'intensitats de Ramon Jardí, estudis monogràfics sobre aspectes del clima de Catalunya, com el dels vents costaners, o monografies locals, com ara l'estudi del clima d'Olot, que constitueix el darrer volum de la sèrie, a càrrec d'Antoni Quintana i Marí, aparegut el 1938 i que no va poder ser difós en el seu moment. Tot i que el projecte de 1919 preveia que el Servei portés endavant treballs de sismologia, aquests van ser una tasca personal de Fontserè, basada en l'Observatori Fabra.

Recerca científica bàsica i servei dirigit a una demanda social es complementen i s'enriqueixen en el cas de la geofísica i, en particular, en la meteorologia. Desenvolupar i gestionar amb cura aquest binomi fou un dels principals reeiximents de Fontserè.

El model de servei meteorològic que Fontserè desenvolupà contrasta amb el que en aquella mateixa època adoptà la institució que acabà essent «rival», tot i que ambdues tenien llaços antics molt profunds, l'Institut Central de Meteorologia. En l'aspecte laboral, els empleats del servei català tenien un contracte *anual*, que cada any s'havia de prorrogar a proposta de la Secció de Ciències de l'Institut d'Estudis Catalans. El servei espanyol, en canvi, estava format per *funcionaris*. La qualificació teòrica dels dos serveis, en aquest sentit, contrastava molt: una persona com Gabriel Campo, un dels meteoròlegs del servei català, que desenvolupà els seus coneixements meteorològics en la pràctica i que no tenia cap titulació universitària, era impensable en el mateix nivell en el servei espanyol. Tanmateix, la comparació dels resultats, tot i que caldria fer-la rigorosament, es decanta clarament cap al servei català, que aconseguí un important prestigi públic i acadèmic i lligams consolidats amb les organitzacions internacionals. Segons l'opinió del professor Vidal, la clau de l'èxit del Servei Meteorològic de Catalunya era la disciplina de la seva estructura. Hi hauríem d'afegir el fet d'haver reeixit en aplegar centenars d'observadors i de col·laboradors voluntaris arreu de Catalunya, amb els quals podia emprendre estudis i projectes científics que, sense ells, no haurien estat possibles.

Durant la Guerra Civil, Fontserè va romandre a Barcelona i continuà la seva activitat científica fins allà on va poder, tal com ho testimonien, per exemple, els registres de l'Observatori Fabra i les actes de sessions de la Secció de Ciències de l'Institut i de la Junta de l'Acadèmia, de la secretaria de la qual es féu càrrec, per absència dels titulars. Val a dir que Fontserè tingué un paper destacat en salvar l'edifici i el patrimoni de l'Acadèmia davant de circumstàncies molt delicades, com l'ocupació de la seva seu a la Rambla durant els fets de maig del 1937.

Pocs dies després de l'ocupació de Barcelona per les tropes franquistes, el Servei Meteorològic de Catalunya fou suprimit i el seu arxiu i la seva biblioteca, requisats. Fontserè, que tenia seixanta anys, a punt de jubilar-se, se'n sortí dels

expedients de depuració com a col·laborador de la Diputació i com a catedràtic universitari probablement per l'edat. La seva activitat científica i professional havia rebut un cop molt fort, que s'atenuà gràcies a l'Observatori Fabra, on va poder continuar el treball científic pràcticament fins a la seva mort a l'any 1970. El seu compromís amb la cultura catalana i amb la democràcia, però, el portà a participar el 1942 en la represa d'activitats de l'Institut d'Estudis Catalans. De fet, en aquell moment era l'únic membre de la Secció de Ciències que estava a Barcelona. Pocs anys després estimulà la represa d'activitats de les societats filials de l'Institut i, en particular, de les dues que ell havia ajudat a fundar, la Societat Catalana de Ciències Físiques, Químiques i Matemàtiques i la Societat Catalana de Geografia. Els homenatges que rebé, algun en la semiclandestinitat, el 1950, el 1960 i el 1970, esdevingueren actes de clar significat catalanista i democràtic.

L'aportació de Fontserè havia estat desenvolupar una col·laboració estreta entre el món acadèmic i la societat civil per desenvolupar al mateix temps un servei i una investigació científica bàsica, ambdós interdependents. En el cas de la geofísica i, principalment, en la meteorologia, la col·laboració d'observadors voluntaris és essencial, tant pel fet d'augmentar el nombre de dades disponibles, com perquè aquests observadors poden aportar uns coneixements empírics qualitius de valor inestimable. D'altra banda, no és possible un servei meteorològic sense aprofundir en el coneixement de la climatologia i en el de la dinàmica atmosfèrica en general. Al mateix temps, la recerca meteorològica bàsica pot estar molt més motivada si està en relació amb un servei que ha de complir una missió de gran valor social.

El Servei Meteorològic de Catalunya, dependent de l'Institut d'Estudis Catalans, arribà a situar-se en aquests terrenys: connectava les inquietuds científiques amb el món acadèmic i desenvolupava la investigació al mateix temps que proporcionava un servei a la societat del seu temps.

BIBLIOGRAFIA

Per conèixer el context del canvi en la meteorologia del principi del nostre segle:

FRIEDMAN, R. M. *Appropriating the Weather. Vilhelm Bjerknes and the construction of a modern meteorology*. Ithaca i Londres, Cornell University Press, 1989.

Escrits i estudis biogràfics:

IGLÉSIES, J. *Eduard Fontserè. Relació de fets*. Barcelona: Fundació Salvador Vives Casajuana, 1983.

JARDÍ, R.; ORTS, J. M.; FONTSERÈ, E. Sesión en homenaje al Dr. D. Eduardo Fontserè con motivo de sus bodas de oro como académico. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, tercera època, vol. 33, núm. 18, 1961, p. 477-516.

ROCA ROSELL, A. Eduard Fontserè i Riba (1870-1970). La meteorologia professional. Dins: CAMARASA, J. M.; ROCA ROSELL, A. *Ciència i Tècnica als Països Catalans als darrers 150 anys*. Barcelona: Fundació Catalana per a la Recerca, 1995, p. 859-908.

ALGUNS RECORDS I ALGUNES VIVÈNCIES AMB EL DOCTOR EDUARD FONTSERÈ

A. QUINTANA

Químic, col·laborador del Servei de Meteorologia de Catalunya (1921-1939)

No voldria deixar passar aquesta oportunitat, sense aportar la meua modesta col·laboració en el present homenatge, tan ben merescut, al doctor Fontserè, en rememoració dels cent vint-i-cinc anys de la seva naixença i dels vint-i-cinc de la seva mort.

La meua coneixença del doctor Fontserè ve de lluny. Fou pels anys trenta quan vaig tenir el plaer de tractar-lo per primer cop com a professor a la nostra Universitat. I, des del primer moment, veié en ell la persona amable, senzilla i cordial, darrere de la qual s'amagava de manera molt discreta l'home de ciència, l'investigador i el meticulós observador de tot allò que constituïen fenòmens de la natura.

Poc temps més tard ja havia nascut una certa amistat amb motiu dels meus treballs de recerca de la personalitat científica d'Antoni de Martí i Franquès. He dit molts cops que la biografia d'aquest català del temps de la Il·lustració, que en la meua joventut vaig gosar escriure i que posteriorment va publicar l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona l'any 1935, no hauria estat possible si no haguessin existit, al marge de moltes altres ajudes i col·laboracions rebudes, dos factors que foren determinants. D'una banda, l'amistat que el meu pare tenia amb la família Martí d'Ardenya, que posà tot seguit al meu abast el seu valuós arxiu secular, alguns aparells i la biblioteca que fou del seu il·lustre avantpassat, i, de l'altra, l'acolliment, els valuosos consells i les encertades orientacions que des del primer moment vaig rebre del doctor Fontserè, tant com a membre de l'Institut d'Estudis Catalans com de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, a la qual Antoni de Martí i Franquès havia pertangut des de l'any 1791. Cal tenir present que el doctor Fontserè, juntament amb els també acadèmics doctor Font i Quer i doctor Casimir Bruguès, foren els delegats que nomenà l'Acadèmia i que jo vaig tenir el plaer d'acompanyar als Arxius de l'Ajuntament de Tarragona i de la família Martí a Altafulla, a fi de poder examinar amb detall i donar la seva valuosa opinió respecte al nombrós material científic –inèdit gairebé tot ell– que jo havia descobert i amb el qual feia més d'una centúria que havia treballat el científic acadèmic altafullenc.

Amb motiu d'aquesta biografia, la meua amistat amb el doctor Fontserè anà a més. Probablement, fruit de l'estudi en comú d'aquest personatge polifacètic en el seu aspecte com a meteoròleg, amb l'examen i l'avaluació de les seves nombroses

observacions de pressions i temperatures, polzades de pluja, vents, tempestes i pedregades, com la que tingué lloc l'any 1828, que desolà bona part de la ciutat de Tarragona, amb observacions tan curioses com la de l'existència d'un pèl dins el nucli de moltes de les pedres caigudes, fet que ha estat motiu de no poques llegendes i refranys populars. Bona part d'aquestes observacions, aportades per la petita xarxa meteorològica que Martí i Franquès havia organitzat valent-se dels pagesos que cuidaven les seves nombroses propietats repartides en més de divuit termes municipals i de rectors de diversos pobles, amics seus. Amb aquest motiu, les meves visites al Servei Meteorològic de Catalunya del carrer d'Urgell sovintejaren encara més.

Així passaren els mesos, i no puc recordar com fou que, un bon dia em cridà el doctor Fontserè al seu despatx per suggerir-me –i no cal dir que tot seguit em va convèncer– d'emprendre un estudi del clima d'Olot, partint de les observacions iniciades pel farmacèutic olotí Francesc Bolòs l'any 1798, seguides i curiosament conservades pels seus successors fins al 1920 i que comptaven, a partir de 1907, amb les recollides pels pares Caputxins d'aquesta població. Per portar a cap aquest treball, disposàvem de la respectable quantitat de 41.738 observacions, després d'haver-ne desestimat alguns milers més, com a conseqüència de la tria i selecció prèvia que férem abans d'utilitzar-les. No cal dir que, en aquest cas, fou gràcies a l'assessorament i als suggeriments del doctor Fontserè que l'*Assaig sobre el clima d'Olot* acabà essent una realitat. Dissortadament, fou l'última de les *Notes d'Estudi* publicades pel Servei Meteorològic de Catalunya. Succé això l'any 1938.

La meua col·laboració no acabà pas aquí. Ben a pesar de no ésser jo meteoròleg, el doctor Fontserè coneixia prou bé com m'agradava tot el que estigués relacionat amb la recerca, fos del tipus que fos, i tot just acabat l'estudi del clima d'Olot, emprenguérem un nou projecte, aquest cop per portar a terme un estudi experimental, a base d'una sèrie d'observacions sistemàtiques, en les diverses estacions de l'any, de les constants físiques i químiques dels gasos despresos pels «bufadors» existents prop els volcans d'Olot, estudi que, ja mig planejat, no arribà a realitzar-se a causa de les dificultats polítiques i militars dels anys 1937 i 1938. Conservo, encara, un *Salvoconducto*, indispensable en aquells temps, per poder viatjar de Barcelona a Olot sense dificultats.

Anys més tard, recordo encara, amb certa nostàlgia, haver anat a visitar el doctor Fontserè més d'un cop a casa seva, al carrer Major de Gràcia, gairebé enfront mateix d'on jo tenia un laboratori d'investigació cerealista. No podré oblidar mai la seva claredat mental i la seva conversa, sempre interessant, poc abans encara de complir els cent anys.

Després d'aquesta breu exposició dels meus ja llunyans records i de les grates vivències compartides en el curs de moltes hores amb el doctor Eduard Fontserè, he de reconèixer que aconseguírem una certa compenetració i coincidència d'afanys científics, encaminats tots ells a la consecució d'un millor coneixement de la nostra terra catalana. Afanys científics i de col·laboració que, si no hi hagués hagut contratemps, haurien acabat molt probablement amb una entrega total per part meua, ben a pesar d'ésser químic i no meteoròleg, al Servei Meteorològic de Catalunya. Tant per part del doctor Fontserè, com per la meua, idees i projectes no en mancaven!

PONÈNCIES

I

METEOROLOGIA MEDITERRÀNIA

En unes jornades d'homenatge a l'eximi doctor Fontserè, no hi podia faltar, i en primer lloc, una sessió on es parlés de meteorologia mediterrània. El nostre homenatjat va ser qui primer va donar explicacions prou rigoroses sobre alguns dels fets meteorològics que defineixen la meteorologia del Mediterrani occidental: les fortes ventades, els grans aiguats, les seixes, les pluges de fang, etc. A més a més, podem considerar que el seu treball *Climatologia de la Mediterrània occidental*, publicat el 1932 a Ciutat de Mallorca, és el primer que tracta globalment el tema i on, entre altres coses molt interessants, ja deixa entreveure la tropicalitat mediterrània.

No obstant això, la mediterraneïtat meteorològica no existeix com a tal fins al final dels anys cinquanta, quan Pettersen, Radinovic, Jansà, etc., publiquen interessants treballs en els quals es confirma que la Mediterrània és el racó més ciclogènic del món i quan apareixen les primeres teories sobre la ciclogènesi.

Cal deixar palesa la gran visió de futur del doctor Fontserè en un camp gairebé verge, en el qual va marcar unes pautes, malgrat l'escassetat de mitjans d'aquella època.

El 1927 publica *Els llevants de la costa catalana*, en alemany i en castellà, i n'és el primer estudi seriós, on no només classifica perfectament els llevants d'acord amb els mapes de superfície, sinó que reivindica una anàlisi més fina, com a molt de dos en dos hectopascals, tal com actualment se sol fer.

El 1932 publica *Les seixes de la costa catalana*, en francès i en català, que aporta la primera llum sobre el tema, tot relacionant les sobtades oscil·lacions de la mar al port de Barcelona amb les oscil·lacions de la pressió atmosfèrica i del vent registrades a l'Observatori Fabra.

Al treball *Les inundacions d'octubre del 1937 a l'alt Pirineu*, publicat el 1938, suggereix com una de les causes de les inundacions l'estagnació d'aire fred de l'interior de Catalunya. L'alta intensitat que assoleixen els aiguats tardorals no li passa per alt, i encomana al doctor Jardí el disseny d'un pluviòmetre que registri les intensitats de la precipitació en períodes molt curts de temps; així neix el *pluviògraf Jardí*, que va tenir difusió internacional. Aquest aparell, gràcies a la ininterrompuda activitat de l'Observatori Fabra, ha donat com a fruit que Barcelona disposi de la sèrie d'intensitats quasi instantànies de pluja més llarga del món, amb la qual s'han fet estudis notables sobre els aiguats de la costa catalana.

L'obra *La tramuntana i el mestral de la costa catalana*, la publica l'any 1948 en alemany, en francès i en anglès (i posteriorment també en català). És una de les primeres explicacions científiques d'aquests vents i el resultat de molts anys de feina. Es considera la millor descripció d'aquests clàssics vents de la costa catalana.

Meteorològicament parlant, la Mediterrània continua estant de moda; tant és així que l'Organització Meteorològica Mundial ha decidit de realitzar un simposi internacional el primer semestre de 1997 a Ciutat de Mallorca, on s'estudiaran els fenòmens adversos que afecten la conca Mediterrània, que sembla que cada vegada són més freqüents.

DE FONTSERÈ FINS A L'ACTUALITAT

V. SUREDA

Diputació de Barcelona

D'ençà que el metge Francesc Salvà, membre destacat de l'Acadèmia de Ciències i Arts, inicià l'observació diària i sistemàtica de la temperatura a Barcelona han passat dos-cents quinze anys. Podem considerar, doncs, que aquesta és l'edat de la meteorologia científica a Catalunya. Sens dubte, una dilatada història, que al llarg de la seva evolució, ha estat marcada per fites singulars i esplèndides que l'arribaren a situar entre les més avançades d'Europa del seu temps. Al darrere d'aquesta història, hi ha el nom i l'impuls creatiu d'un conjunt de persones que la feren avançar, unes organitzacions que potenciaren l'eficiència dels esforços individuals, i unes institucions que canalitzaren el retorn a la societat dels resultats aconseguits. Tots aquests elements mereixen ésser valorats i recordats, per incorporar-los al bagatge cultural i científic que ha de permetre enfocar amb més eficàcia tant els treballs actuals com els de l'immediat esdevenidor.

Dels èxits, i també dels fracassos, que ofereixen aquests més de dos segles de meteorologia catalana es poden fer, almenys, dos tipus de lectures: una presidida per la nostàlgia i la idea que «aquell temps passat fou millor», i, una segona, crec jo que més rica i fructífera, que ens porti a reformar i a reorientar en allò que calgui el camí de la meteorologia dels últims anys a la llum de l'experiència del passat, fent, és clar, els necessaris trasllats temporals i conceptuals que ens permetin adaptar a la realitat actual, tan diferent a la de fa trenta, cinquanta o cent anys.

Efectivament, molt ha canviat la meteorologia des que un altre científic destacat, Agustí Yáñez, en analitzar el 1835 les temperatures de cinquanta-cinc anys, entre les quals es comptaven els registres de Salvà, escrivia: «Recollim dades sense parar. Els nostres successors, més avançats que nosaltres, podran coordinar els fets, conèixer les seves causes, i deduir-ne conseqüències que avui no ens trobem en estat d'apreciar.»

Entre aquests successors, Eduard Fontserè fou un element decisiu per a la meteorologia catalana durant més de setanta-cinc anys, que començaren amb la seva incorporació com a encarregat de la Xarxa Meteorològica de la Granja Experimental de la Diputació de Barcelona, continuaren a la Secció Meteorològica de l'Observatori Fabra, a la Societat Astronòmica de la qual fou ànima en tot moment, així com de l'Estació Aerològica de Barcelona, i, culminaren, a partir dels anys vint, amb la seva millor obra: el Servei Meteorològic de Catalunya.

La creació de l'SMC feta per la Mancomunitat, que presidia Puig i Cadafalch, representa l'autèntica institucionalització de la meteorologia catalana, després de mig segle d'intents de coordinació i de racionalització de les tasques meteorològiques desenvolupades pels observadors i pels científics catalans. Intents que, amb grans dificultats, havien anat formant a Catalunya un cos realment peculiar i autòcton sobre les ciències de l'atmosfera. L'SMC, dissenyat quant a l'estructura per Fontserè, encara avui sorprèn per l'actualitat d'algunes de les seves propostes, sobretot per dos fets: d'una banda, l'equilibri que s'intenta entre les tasques de recerca i d'aprofundiment en el coneixement de la dinàmica atmosfèrica i el pragmatisme a l'hora de donar servei als sectors claus de l'economia catalana, i, de l'altra, per la plena consciència que només una integració intensa en les estructures internacionals permetria avançar científicament i socialment a la meteorologia catalana, superant una certa tendència al localisme, comú en aquella època. Sembla com si la voluntat de «pensar globalment i actuar localment», avui tan d'actualitat, fos ja un dels eixos que dirigia l'actuació dels homes del Servei Meteorològic.

De les sis branques que formaren el Pla de l'SMC (climatologia general de Catalunya, meteorologia agrícola, aerologia, pluviometria i anemometria, predicció del temps i serveis especials marítims), mereixen remarcar-se els esforços per completar una visió climatològica integral del territori (intent que no es va poder assolir totalment, en gran manera per la destrucció del Servei el 1939), i l'organització i la consolidació dels serveis de predicció del temps, que ja s'havien iniciat al si de la Societat Astronòmica.

La contribució a l'establiment d'una climatologia general de Catalunya fou notable, tant des del punt de vista del manteniment en plena operativitat del major nombre possible d'estacions d'observació, sobre les quals en gran part es basa avui la xarxa bàsica de l'Institut de Meteorologia, com pels estudis sectorials i territorials endegats: l'*Atlas pluviomètric*, de Febrer; la sèrie de monografies climàtiques locals i regionals recollides en les *Notes d'Estudi*, i, sobretot, les recerques sobre climatologia dinàmica, que transcendeixen el caràcter descriptiu per endinsar-se en el coneixement de les claus termodinàmiques que expliquen el comportament de l'aire, i de les quals els valors enregistrats de temperatura, vent, humitat, precipitacions, etc., en són només manifestacions en cada lloc concret. En aquest camp, eren decisius els sondatges verticals sistemàtics de les capes baixes, que, començats per l'Estació Aerològica de Barcelona, foren continuats per l'SMC.

La predicció del temps i la seva difusió fou, aleshores, com encara ho és avui, l'aparador públic que posava a prova diàriament el bon funcionament del Servei Meteorològic. En aquells anys, era imprescindible comptar amb una xarxa de comunicacions que permetés accedir puntualment a un nombre suficient d'observatoris europeus i nord-africans per poder compondre les cartes sinòptiques corresponents. L'SMC va aconseguir disposar diàriament d'un mínim d'observacions d'un centenar d'estacions que cobrien des del Sàhara fins a Escandinàvia i des de les illes Açores fins a Polònia. A Catalunya, s'arribà a comptar amb una xarxa d'uns 40 km de malla, que a banda de possibilitar una anàlisi meteorològica mesoscalar més fina per a la predicció, oferia un sistema d'avisos especials per a l'agricultura sobre tempestes, avingudes i riuades, etc. Fontserè

sempre va creure amb una meteorologia descentralitzada «sense els tràmits de l'Oficina Central de Barcelona», fonamentada en l'agrupació d'observatoris units per interessos comuns que es poguessin intercomunicar per aconseguir que «dins de l'obra de conjunt, no passin desapercbudes les característiques particulars de les comarques».

La carta d'Europa i la de Catalunya, acompanyades d'un comentari general i d'una predicció per a les pròximes hores, amb avisos especials si era necessari, estigueren diàriament disponibles a partir d'octubre de 1922 i s'exposaren a la Diputació, a Correus, a la seu de l'SMC, i a totes les centrals telefòniques comarcals de la Mancomunitat. Pel gener de 1927, per primer cop a Espanya, es començaren a emetre informacions i comentaris meteorològics a través de Ràdio Barcelona. També n'informava a diferents diaris de la ciutat. *La Publicitat*, de Barcelona, reproduïa, diàriament, el mapa del temps.

La perspectiva actual remarca com d'ençà de la desaparició de l'SMC un immens salt tecnològic ha anat transformant les possibilitats operatives de la meteorologia. Les xarxes d'observació científica coordinades a escala mundial, integrades a l'àmbit de l'Organització Meteorològica Mundial (OMM), i amb el suport d'un potent sistema de telecomunicació (així mateix d'abast mundial), i de processament de dades; els avenços espectaculars de la informàtica des de mitjan de segle, que permeten ara treballar amb un sistema de més de 5.000.000. d'equacions simultànies, com en el cas del model operatiu de predicció de l'European Centre for Medium Range Weather Forecast; les imatges i la ingent informació subministrada pels satèl·lits meteorològics; la utilització de xarxes de radar en superfície per al seguiment de fenòmens a escala regional, ens obren la possibilitat de desenvolupar, amb totes les seves conseqüències, les teories dels grans meteoròlegs d'aquest segle, com la del noruec Bjerknes, de l'anglès Richardson, del suec Rossby, de l'americà Charney, etc., i aplicar-les al servei de la societat. Tanmateix, com en tants d'altres camps, es troben davant d'un fenomen dual: mentre la internacionalització i la tecnificació continuen marcant la pauta lògica de l'evolució de la meteorologia, i fan necessària la superació de les visions territorialment limitades, tant per aspectes d'eficàcia organitzativa i tècnica com d'economia d'escala, a l'altre extrem adquireix una especial rellevància l'atenció als fenòmens atmosfèrics que es manifesten en àmbits reduïts, i que són objecte d'una intensificació creixent de la demanda social.

La micrometeorologia i la mesometeorologia, en efecte, se situen a prop de les causes de particulars inquietuds i necessitats col·lectives de caràcter ambiental i econòmic, tot i que aquests problemes tinguin després en molts casos una especial repercussió a l'escala global. Les disfuncions dels ecosistemes urbanoindustrial, els riscos derivats de les tempestes puntuals, les riuades mediterrànies, la protecció del medi natural, els requeriments del lleure i del turisme, l'explotació dels recursos locals, demanen informacions molt precises i de detall, només assolibles a partir de denses xarxes regionals d'informació meteorològica i del desenvolupament de metodologies i de recerques específiques ajustades a aquesta escala de treball. I és, malauradament en aquest esglaió, on hem trobat, i encara hi trobem, les més importants llacunes, tant d'equipament com de recerca.

Aquest, és, des del meu punt de vista, un resum del panorama, en el mateix moment en què al si de les XXV Jornades Científiques de l'Associació Meteorològica Espanyola (AME), fetes a Vila-seca, el conseller de Medi Ambient de la Generalitat ha anunciat la intenció de recuperar el Servei Meteorològic de Catalunya. Crec que hem de saludar amb esperança la iniciativa, que ha de fer possible superar les mancances a què em referia fa un moment, però emfatitzant el respecte a les realitats que el progrés tecnològic i el consens i la cooperació internacionals han consolidat, en aquestes dècades, afortunadament de manera irreversible.

El nou Servei Meteorològic ha d'ésser un digne successor de l'antic, adaptat fidelment a les circumstàncies d'aquest final de segle.

TRAMUNTANA Y MESTRAL EN CATALUÑA

L. A. VÁZQUEZ

Centre Meteorològic Territorial de Catalunya - INM

Al presentar estas consideraciones sobre un aspecto de la meteorología catalana como son los vientos regionales, la *tramuntana* y el *mestral*, deseo evocar en primer lugar, algo sentimentalmente quizás, la figura número 1, que el doctor Eduard Fontserè i Riba publicó en su libro *La tramuntana empordanesa i el mestral del golf de Sant Jordi*, en 1950, por acuerdo del Institut d'Estudis Catalans y con el apoyo económico de la Institució Patxot.

Al llegar destinado a Cataluña como meteorólogo del entonces Servicio Meteorológico Nacional, merced a este tipo de trabajos se podía modular una formación meteorológica general, digamos universal, con una aproximación más realista, más matizada, a una meteorología, a una geografía y a un país concretos.

La figura del doctor Fontserè sintetiza el dominio geográfico de la *tramuntana* y del *mestral*, con la indicación de las zonas de máxima violencia, sus límites normales y la dirección predominante de estos vientos junto al suelo y en altitud cuando soplan vientos del cuarto cuadrante.

La obra citada fue realizada, como el mismo doctor Fontserè indica, con lo que quedó (*aprofitalles*) después de la desaparición de un conjunto de numerosos datos, estudios monográficos de algunas *tramuntanes* interesantes, mapas diarios del tiempo, observaciones del observatorio Patxot en Sant Feliu de Guíxols y datos meteorológicos obtenidos a bordo del guardacostas Xauen en campañas oceanográficas relacionadas con este tema. Desaparecieron también ([...] *en data que ara no ens seria possible de precisar* [...]) los textos de una biblioteca orientada hacia los problemas meteorológicos regionales. El estudio, que tiene un carácter descriptivo, es fruto de un esfuerzo de concordia entre los diversos hechos locales y puntos de vista anotados por observadores privados y por las compañías de aviación civil que cubrían regularmente las rutas aéreas desde Francia hasta Alicante y con los que el doctor Fontserè mantenía correspondencia.

Fuera quizás esta circunstancia la que dió al trabajo de Fontserè una extraordinaria calidad descriptiva, de la que se puede disfrutar con su lectura por la conjunción de un gran cuidado y rigor al considerar los datos, la erudición y el conocimiento geográfico con que son localizados, los acompañamientos gráficos y el orden expositivo, donde se detallan las diferentes denominaciones de estos vientos del cuarto cuadrante según las zonas geográficas, sus consecuencias en la vida eco-

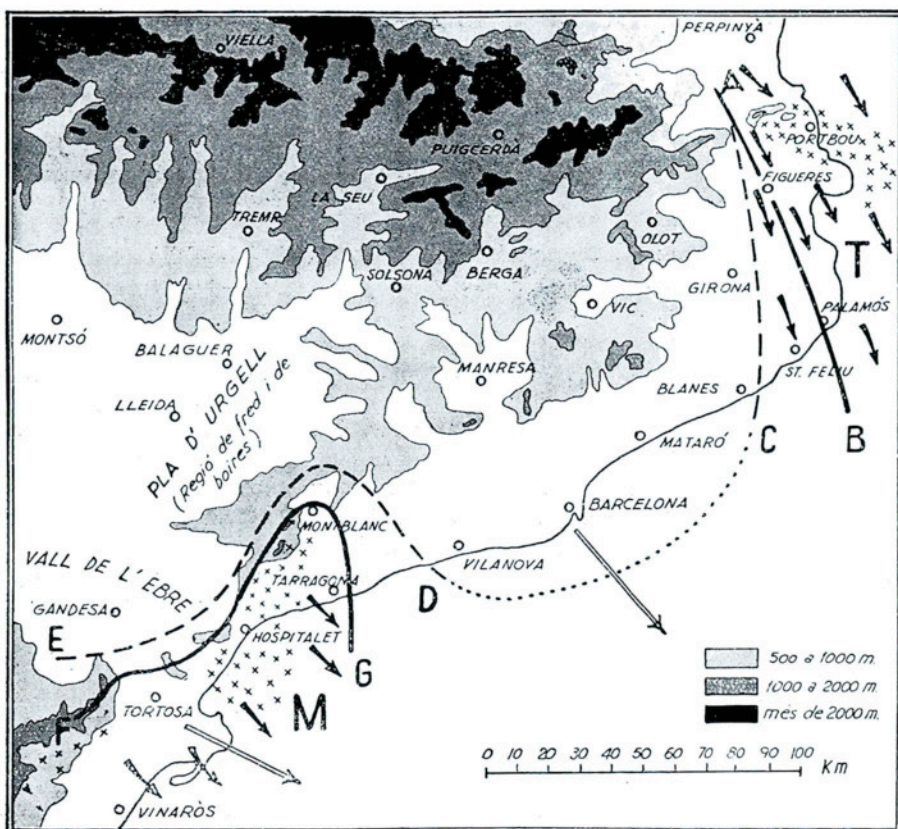


FIGURA 1. Dominis de la tramuntana (T) i del mestral (M) a la costa catalana. AB, límit occidental normal de la tramuntana; AC, límit eventual; FG, límit normal del mestral; ED, límit eventual. Les creus indiquen les regions on el vent adquireix la màxima violència. Les sagetes negres marquen la direcció ordinària del vent inferior; les de doble ratlla, el vent en altitud a Barcelona i a Tortosa els dies que fa vent fort del quart quadrant arran de terra.

nómica y social (pesca, aviación...), los límites en tierra y en mar, las nubes asociadas, los signos locales de llegada y finalización, así como los signos precursores de estos vientos y su distribución horaria y estacional. En fin, al abordar los mecanismos de la *tramuntana* y del *mestral*, señalando que mistral de Provenza, *tramuntana* pirenaica y *mestral* del golfo de Sant Jordi pueden ser coetáneos o presentarse de forma independiente, destaca la llegada de vientos fuertes de cuarto cuadrante que han de provocar la aparición de una depresión mediterránea, generalmente como «secundaria» de una más potente al NW de Europa y se acoge a las nuevas teorías meteorológicas del momento como las que propone el doctor Bergeron, quien considera el efecto orográfico de los Pirineos y de los Alpes sobre una masa de aire frío que viene desde el Atlántico a través de Francia, como una base de razona-

miento para la interpretación de estos vientos. La irrupción de la masa fría de poniente se extiende a todas las tierras del norte, de forma que produce simultáneamente la tramontana, el mistral y el *bora* en las regiones mediterráneas y determina la localización del mínimo barométrico en el valle del Pó. Haciendo suya la opinión de Patxot, para que comience una *tramuntana* tiene que haber una depresión en el golfo de León o en el de Génova.

Precisamente para avanzar en el conocimiento de los factores dinámicos que conforman estos vientos, el doctor Fontserè plantea en el epílogo de su trabajo la necesidad de llevar a efecto un tratamiento experimental y dinámico de los mismos, para lo cual, entre otros datos observacionales, no habrían de faltar:

- Sondeos de viento, temperatura y humedad hasta altitudes de unos 3.000 m, sobre puntos del interior de Cataluña
- Nubosidad en las cimas montañosas y sobre el mar
- Componente vertical del viento en los lugares de máxima intensidad, aprovechando las informaciones de los aviadores
- Observaciones simultáneas en el sur de Francia.

Es notable como, al cabo de medio siglo después de estas proposiciones o sugerencias, las bases experimentales del proyecto meteorológico francoespañol PYREX (1990), el más ambicioso hasta la fecha para el estudio de la influencia de los Pirineos en la meteorología y el clima de las regiones circundantes, se atienen a estas pautas sugeridas por Fontserè, si bien con la comprensible mayor sofisticación conceptual y tecnológica que el paso del tiempo había de proporcionar.

EL SISTEMA MISTRAL-TRAMUNTANA

La *tramuntana* ampurdanesa y el *mestral* del golfo de Sant Jordi, como vientos regionales de Cataluña, forman parte de una problemática más general de vientos en el Mediterráneo occidental, el denominado *sistema mistral-tramuntana*, que constituye uno de los más importantes y característicos elementos de la meteorología de este área. Este sistema de vientos está fuertemente condicionado por la orografía y desde este punto de vista constituye una manifestación entre otras, aunque muy relevante, de la influencia que los complejos montañosos ejercen sobre las circulaciones atmosféricas en la totalidad de las escalas significativas que puedan considerarse, tanto planetaria, como sinóptica o mesoescalar. Está frecuentemente relacionado con la ciclogénesis a sotavento de los Alpes, pero no necesariamente. Las distribuciones espacial y temporal de estos vientos muestran una notable constancia y se manifiestan de forma parecida y bajo condiciones similares. Son altamente frecuentes e intensos. En este sistema de vientos destacan el mistral de Provenza, que sopla entre N y NNW; la *tramuntana de l'Empordà*, que sopla del NNW; la *tramontane de Roussillon*, que sopla del NW o del WNW; el *mestral* del golfo de Sant Jordi, en la desembocadura del Ebro, relacionado con el cierzo en el valle del Ebro, que sopla del NW y también la *tramuntana* en

Menorca, que sopla muy frecuentemente del N. Estos vientos se presentan simultáneamente, aunque no siempre ocurre así. Para considerar que estamos en una situación de *mistral-tramuntana* será necesaria la presencia del *mistral* de Provenza o *tramontane de Roussillon*.

EL EXPERIMENTO PIRENAICO: PYREX

Con el objetivo de alcanzar una comprensión sobre la naturaleza y las condiciones de formación de estos vientos, se han realizado un conjunto de experimentos durante las últimas décadas. El problema general que se plantea es el de la interacción del flujo atmosférico con las montañas, que da lugar a una desviación horizontal y vertical del aire, a la disipación de energía por rozamiento y a aportes de calor sensible y latente.

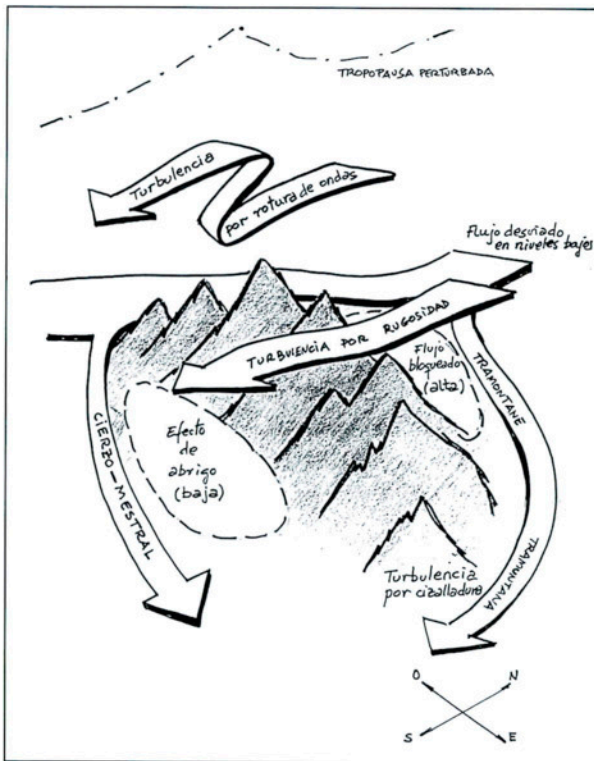
Entre las alteraciones producidas por la orografía, está la modificación del campo de presiones, lo cual influye a su vez en los procesos de ciclogénesis, en la formación de vientos regionales como los que consideramos y en la creación de zonas de convergencia que pueden actuar como mecanismos de disparo de la convección.

Un flujo aéreo, al encontrar a su paso un obstáculo orográfico, experimenta un frenado (*drag*), una pérdida de cantidad de movimiento o momento como consecuencia del rozamiento con la montaña al intentar recorrerla y cruzarla. La contribución a este frenado puede adoptar diversas formas, que se presentan como fenómenos con una cierta simultaneidad y con carácter universal en todas las montañas del mundo con características semejantes a las de los Pirineos. Este conjunto de modalidades configura un cuadro más o menos integrado, en el que destacan:

- Acumulación de aire, aumento de la presión y disminución del viento a barlovento; enrarecimiento relativo con baja presión a sotavento
- Parte del flujo es desviado hacia arriba y forma ondas de relieve que transmiten cantidad de movimiento verticalmente
- A barlovento el flujo incidente se desvía en dos ramas a bajos niveles. En los bordes laterales montañosos el aire contornea la orografía, con perfiles abruptos de velocidad y de turbulencia
- Con estabilidad vertical, el flujo a bajos niveles puede experimentar aceleraciones típicas de los vientos locales (*mistral*, *cierzo*, *tramuntana*, *mestral*...).

Este conjunto de fenómenos se manifiesta como una anomalía positiva de presión a barlovento de los Pirineos y una anomalía negativa a sotavento, dando lugar a un dipolo orográfico. Este dipolo o diferencia de presión a ambos lados de la montaña es una medida del frenado ejercido por la misma. Cualitativamente, este frenado será tanto más intenso cuanto mayor sea la velocidad del flujo incidente; tanto más alto, ancho y empinado cuanto mayor sea el obstáculo y más estable el aire incidente.

La «linearización» de las ecuaciones del movimiento del aire permite prever



teóricamente la intensidad y la forma aproximadas del dipolo orográfico, pero de hecho hay factores dinámicos y térmicos, no lineales, que limitan la validez de los resultados de la teoría lineal.

El frenado de la montaña tiene un componente dinámico relacionado con la formación de ondas a sotavento, es el *drag* de onda al que históricamente se le ha adjudicado la mayor contribución al frenado. No obstante, el *föhn*, que da lugar al calentamiento del aire a sotavento por liberación de calor latente en la precipitación orográfica a barlovento, contribuye a una disimetría o dipolo térmico, que es otra componente del dipolo orográfico, y por tanto contribuye al frenado global. Es el dipolo hidrostático.

La integración de la ecuación dinámica del balance de cantidad de movimiento en un volumen que contenga a la montaña, permite expresar el *drag* como promedio bidimensional de la integral de superficie de la presión en superficie multiplicada por el módulo del gradiente de la altitud del terreno.

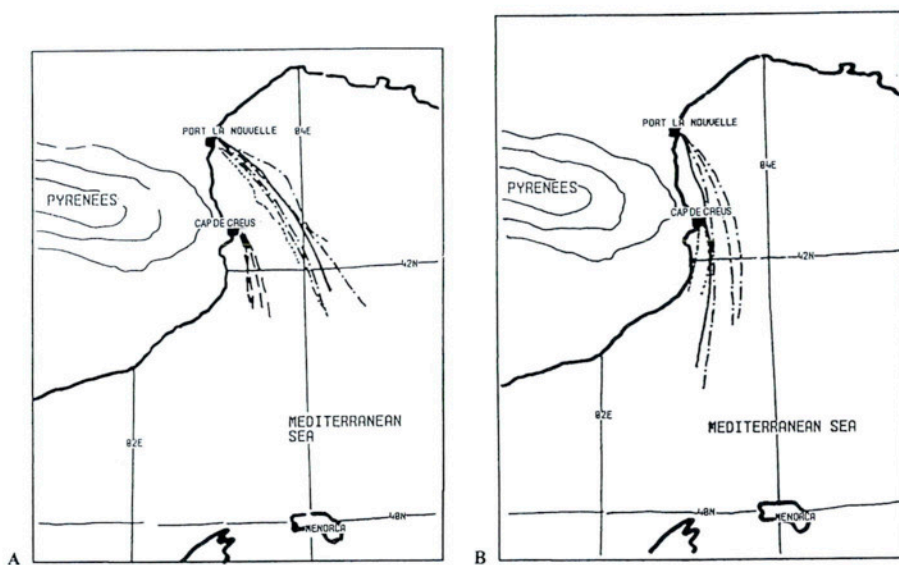
El PYREX (octubre-noviembre de 1990) desplegó un denso y complejo sistema de observación, entre el cual ahora destacamos una cadena de catorce estaciones meteorológicas automáticas en un eje perpendicular a la cordillera, a ambos

lados de la misma, que cubrían altitudes de 200 a 2.400 m, lo cual permitió el cálculo continuo del *drag*.

Se ha comprobado que los Pirineos son de momento un sumidero importante y también la estrecha relación entre el frenado (*drag*) y el dipolo orográfico. Los datos de temperatura de las estaciones de la cadena transversal pirenaica han permitido reconstruir el *drag* hidrostático, que ha resultado ser el responsable de un 50 % del *drag* total, dependiendo de si la situación es del sur o del norte, siendo netamente menor en el primer caso, o cuando las situaciones son muy dinámicas y tiene más peso el *drag* asociado a las ondas orográficas.

DIPOLO OROGRÁFICO Y VIENTOS REGIONALES

La *tramuntana* y el *cierzo* se han revelado como chorros de aire frío de bajo nivel, organizados e intensificados por la influencia del dipolo orográfico. La parte negativa del dipolo intensifica el gradiente de presión en el valle del Ebro, y contribuye al *cierzo*. La fuerza del gradiente de presión, reforzada por la anomalía de presión a barlovento de los Pirineos, se confirma como la principal responsable de la intensidad y localización del máximo de velocidad de la *tramuntana*. La alta correlación comprobada entre la velocidad del viento en la *tramuntana* y el *drag* observado en el transecto central pirenaico, confirma que el flujo de *tramuntana* está altamente dirigido por la anomalía de presión. El máximo de velocidad se encuentra normalmente en el golfo de León. La dirección de este flujo es depen-



Trayectorias de nivel constante en dos tipos de situaciones de *tramuntana* (PYREX, 1990).

diente de la situación sinóptica, de la cual derivan dos prototipos: uno, del NW que gira al NNW, y otro con un componente norte más definido.

La distribución horizontal de este viento muestra una intensa línea de cizalladura desde el Cabo de Creus, hacia el sur. Al rotar el viento, también lo hace la línea de cizalladura desde NNW en los casos del primer tipo y a NNE en las del segundo.

Este flujo del norte es normalmente más frío que la superficie del mar (unos 5 °C en otoño, por ejemplo), y ocasiona una capa límite atmosférica inestable, viento fuerte y condiciones para el desarrollo de estructuras coherentes de viento, como vértices helicoidales, que con frecuencia se hacen visibles en las imágenes de satélite con el aspecto de calles de nubes.

La correcta representación del dipolo orográfico es por tanto de gran interés en todas las fases de un sistema operativo meteorológico: el análisis, el diagnóstico y la predicción propiamente dicha.

Si un modelo utiliza una orografía media, muy suavizada y poco elevada y una resolución baja, la señal del *drag* resultante será muy débil y subvalorará la interacción orográfica y las características de los vientos orográficos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alpex Experiment Desing GARP-ALPEX núm. 1, WMO, Ginebra, 1982.
- BOUGEAULT, P.; JANSÀ, A.; CLAR, A.; BENECH, B.; CARISSIMO, B.; PELON, J.; RICHARD, E. «Momentum budget over the Pyénées: The PYREX experiment». *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, núm. 71, (1990), p. 806-818.
- FONTSERÈ, E. «La Tramontane et le Mestral de la côte catalane». *Archive. Met. Geo. Bio.*, (1948), p. 127-137.
- JANSÀ, A. «Distribution of the mistral: A satellite observation». *Meteorol. Atmos. Phys.*, núm. 36, (1987), p. 201-214.
- RIOSALIDO, R.; VÁZQUEZ, L.; GORDO, A.; JANSÀ, A. «Cierzo: northwesterly wind along the Ebro valley as a mesoscale effect...». A: *Scientific results of the alpine experiment (ALPEX)*, vol. 2, OMM, 1987.

EL MAREÒGRAF DE L'ESTARTIT I LES SEIXES

J. PASCUAL

Col·laborador del Centre Meteorològic de Catalunya - INM

L'absència d'informació sobre les mareas a la nostra costa em va fer pensar amb la possibilitat de construir algun aparell que, encara que fos de manera casolana, pogués registrar les variacions del nivell del mar. La idea, la vaig tenir al meu cap durant temps, però les dificultats, especialment d'instal·lació de l'aparell, van fer retardar el projecte. L'ocasió va venir, però, quan el bon amic –i director de l'Institut de Batxillerat de Torroella de Montgrí– en Josep Pujol, em va demanar precisament si tenia algun projecte, ja que aquest institut havia de participar en un popular programa que es feia aleshores al canal de TV3 (*Dit i fet*, any 1988).

L'hi vaig donar la còpia d'un esquema que havia fet temps enrere i van ser els mateixos alumnes qui es van encarregar de fer l'aparell. El mecanisme no podia ser més senzill: un braç de palanca que tindria en un extrem una boia suspesa gràcies a una cadena i a l'altre extrem, un contrapès. La boia descansaria sobre el mar; els moviments d'aquest farien oscil·lar-ne la palanca, la qual tindria un plomí que enregistraria el moviment en un paper que envoltaria un tambor registrador.

Finalment, aquest aparell va quedar definitivament instal·lat al port de l'Estartit al començament de l'any 1990, amb un funcionament pràcticament ininterromput fins a la data.

Aquest aparell, malgrat la seva senzillesa, enregistra les dades amb una precisió fins i tot superior a l'esperada, calculada en ± 2 mm; això sí, gràcies al fet de contrastar periòdicament els resultats del registre amb una regla graduada per a fer les correccions pertinents. També cal tenir en compte que, per esmorteir l'onatge que hi ha constantment al mar, va ser necessari col·locar un bidó de protecció a la boia comunicat amb l'aigua per un petit forat situat a la zona inferior.

Després d'aquests cinc anys llargs de funcionament, s'ha arribat a determinar el nivell mitjà del mar a la zona amb una certa precisió; a més, ha permès de conèixer el cicle de mareas, que sense ser molt ampli, existeix.

A causa de la seva reduïda amplitud, a més dels moviments produïts per l'atracció de la Lluna i del Sol, el nivell del mar es veu afectat per altres motius: un molt important a la Mediterrània és la pressió atmosfèrica: quan hi ha altes pressions, l'aire empeny l'aigua del mar cap avall; de manera semblant, quan la pressió atmosfèrica és baixa, succiona l'aigua cap amunt. De manera aproximada, l'equiva-

lència de la força és d'1 cm d'altura d'aigua per cada mil·libar de pressió atmosfèrica, fet que s'ajusta al que caldria esperar fent els corresponents càlculs de física. Aquest moviment no és previsible a llarg termini, ja que depèn de la situació isobàrica del moment. Els moviments causats per la pressió són més notables des de la tardor fins a la primavera, que és quan té una variabilitat més gran; en canvi, la seva importància és més petita a l'estiu. Tot i que més poc, els vents hi influeixen també: quan aquests van de mar cap a terra tenen tendència a fer pujar el nivell del mar prop de la costa; el contrari passa quan el vent és terral.

Una causa estacional de variació de nivell són els canvis de densitat de l'aigua del mar. A partir d'un centenar de metres de fondària, la temperatura de l'aigua del mar oscil·la poc al llarg de l'any; però a la capa de les primeres desenes de metres més propera a la superfície del mar, la temperatura varia apreciablement al llarg de l'any, de manera que els canvis de densitat afecten el gruix de la columna d'aigua necessària per a equilibrar el nivell d'aigua en altres zones del mar. Tanmateix, la presència d'aigua dolça en èpoques de pluges persistents també afecta la densitat de l'aigua. Tot plegat explica que quan hi ha llevantades (vent de mar cap a terra), amb presència de baixes pressions; pluges abundants (aigua dolça de baixa densitat), si això té lloc a la tardor (època durant la qual sol haver encara un gruix considerable d'aigua temperada a la zona més propera a la superfície del mar), el nivell del mar pugui arribar a mides màximes.

Contràriament, nivells més baixos s'assoleixen quan persisteixen les altes pressions atmosfèriques durant l'hivern, època en què la densitat de l'aigua és màxima a causa dels valors termomètrics mínims, circumstància que té lloc amb més freqüència pel mes de gener i que és coneguda popularment com *les minves de gener*. Una baixada relativa de nivell sol tenir lloc durant l'estiu, especialment pel mes de juliol, fenomen explicable per la manca de pluges a la Mediterrània i per l'elevada evaporació, fet que provocaria un reforçament del corrent superficial a la zona de l'estret de Gibraltar de l'Atlàntic cap a la Mediterrània.

Referent a les marees degudes a l'atracció de la Lluna i del Sol, observem, en general, dos màxims i dos mínims diaris. Contràriament al que sol passar als oceans, la plenamar té lloc durant la sortida i la posta de la Lluna, amb un retard d'unes dues hores a causa de la inèrcia. La baixamar es dona després del pas de la Lluna pel meridià local i pel meridià oposat. L'amplitud de marea és d'entre 25 i 30 cm durant la lluna plena i la lluna nova, quan se sumen les forces d'atracció de la Lluna i del Sol, i de 10 a 12 cm durant les quartes. La irregularitat de la conca mediterrània fa que, a causa de la diferent zona geogràfica per on surten i es ponen tant la Lluna, com el Sol, durant tot l'any, la marea tipus sigui diferent al llarg dels mesos de l'any, tot i conservar una similitud.

Una de les dificultats a l'hora d'instal·lar el mareògraf era la de determinar un nivell de referència; amb aquesta finalitat es varen aprofitar unes dades de nivell obtingudes gràcies a una regla graduada que havíem clavat a la riba del moll i que una vegada al dia llegíem al llarg de l'any 1978. Vam agafar-ne les dades de tot aquest any, en vam fer mitja i al resultat que ens va donar, hi vam aplicar una correcció més o menys encertada, ja que totes les lectures les havíem fetes a primera hora del matí i el fet de llegir la regla graduada poc després de la sortida del Sol

de ben segur que no seria igual a un hipotètic nivell mitjà del mar al llarg del dia; per contra, la no coincidència del dia llunar amb el dia solar faria que els errors deguts a l'atracció de la Lluna es compensessin. Per aquesta raó, el zero adoptat l'hem anomenat *N-78* (*nivell 1978*).

A continuació exposarem les dades mitjanes observades entre el gener de 1990 i l'agost de 1995:

Nivell mitjà del mar observat per mesos i referit al zero provisional (N-78, cm):

G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANY
-9,6	-8,2	-10,2	-3,3	-0,7	1,5	1,2	3,3	5,1	12,9	5,7	-0,6	-0,2

Nivell màxim de marea observat:

G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANY
29	26	32	30	26	28	26	26	35	45	47	26	47

Nivell mínim de marea observat:

G	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	ANY
-46	-40	-41	-32	-25	-19	-18	-14	-16	-13	-26	-40	-46

L'amplitud mitjana diària de marea és força constant al llarg de l'any i oscil·la entre els 17 cm del mes d'agost i els 21 cm del mes de gener.

L'evolució del nivell mitjà al llarg dels darrers cinc anys ha estat la següent:

Any	1990	1991	1992	1993	1994
Nivell (cm)	-0,9	-0,8	-1,0	0,4	0,9

A continuació em referiré a un fenomen marí poc freqüent però que no va passar desapercebut al nostre homenatjat, el doctor Eduard Fontserè:¹ les seixes. Va ser ell mateix qui a l'*Assaig d'un vocabulari meteorològic català* (Barcelona, 1948) va definir la seixa com l'«Oscil·lació del nivell dels llacs i de les aigües costaneres, semblant a la de les mareas, però de període més curt i que no té relació amb el moviment del Sol ni de la Lluna». Aquest fenomen sol aparèixer alguns anys durant els mesos d'estiu; generalment ho fa amb una situació atmosfèrica força ben definida: un front atlàntic avança lentament cap a l'est i, en xocar amb la massa d'aire càlid que hi ha sobre la Mediterrània, provoca alteracions en la força i en la direcció del vent i canvis sobtats en la pressió atmosfèrica d'alguns mil·libars en pocs minuts. Se suposa que aquests canvis són els que causen una fluctuació a la superfície del mar, que és ampliada a les cales i als ports, a l'entrada dels quals es formen corrents alternativament d'entrada i de sortida que fan que les embarcacions que naveguen a la bocana tinguin dificultat a l'hora de ser governades. Sovint les seixes van acompanyades amb pluja de fang.

¹ FONTSERÈ, E. «Les "seixes" de la costa catalana. Servei Meteorològic de Catalunya». *Notes d'Estudi* [Barcelona], núm. 58 (1934).

Aquest fenomen és prou conegut a les Balears,² on és anomenat *rissaga*; concretament a Ciutadella (Menorca) algunes vegades ha assolit dimensions catastròfiques.

Algunes seixes, ja les havíem mesurades abans de la instal·lació del mareògraf amb una regla graduada que prenia referències des de la riba del moll; però és des de llavors quan tenim registres més acurats. Cal, no obstant això, fer petites modificacions al mecanisme: s'han de canviar uns engranatges del tambor registrador a fi que passi de revolució setmanal a diària i allargar el braç que sosté la boia per disminuir l'amplitud i poder posar la boia fora el bidó de protecció, ja que el petit forat d'aquest és insuficient per deixar-hi passar l'aigua necessària a causa del curt període de les seixes, que és, al nostre port, d'uns 10 minuts.

Les seixes més destacables observades han estat les següents:

Data	Amplitud màxima observada (cm)
16 de setembre de 1975	90
2 de juliol de 1981	120
11 de juny de 1990	70
10 de juliol de 1993	75
2 de juny de 1994	115

BIBLIOGRAFIA

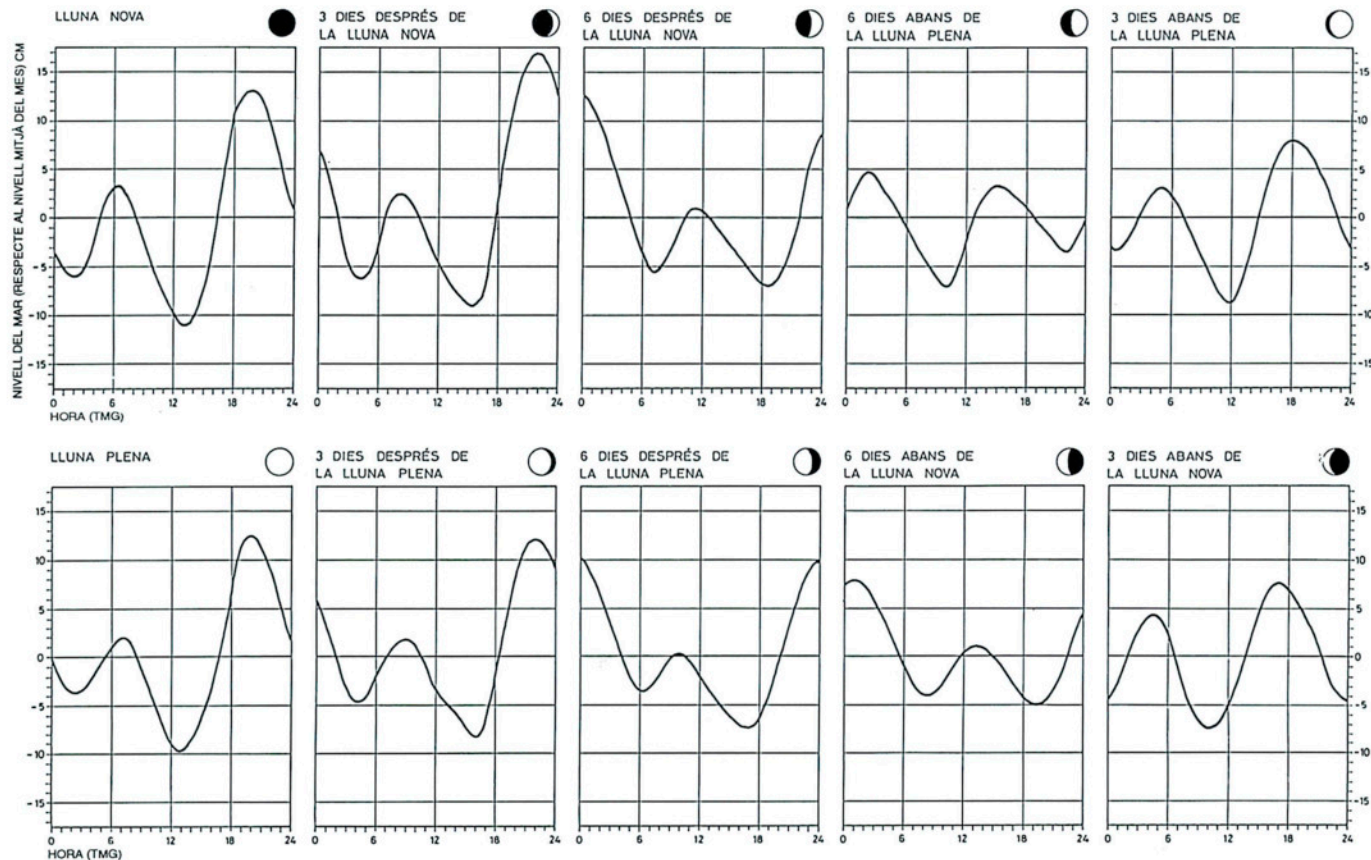
GOMIS, D.; MONSERRAT, S.; TINTORÉ, J. «Pressure-forced seiches of large amplitude in inlets of the Balearic Islands», 1993.

José Luis Monsó de Prat. INHA, Instituto de Hidrodinámica Aplicada, i Fco. Javier Escartín García. EUROPRINCIPIA, Parque Tecnológico del Vallès (Cerdanyola). Efectos por resonancia de ondas largas producidos por cambios en planta del puerto de Ciutadella (Menorca).

² Les rissagues de Ciutadella i altres oscil·lacions de nivell de la mar, de gran amplitud a la Mediterrània. Diversos autors. Textos de les I Jornades coordinades per Agustí Jansà i publicats per l'Institut Menorquí d'Estudis.

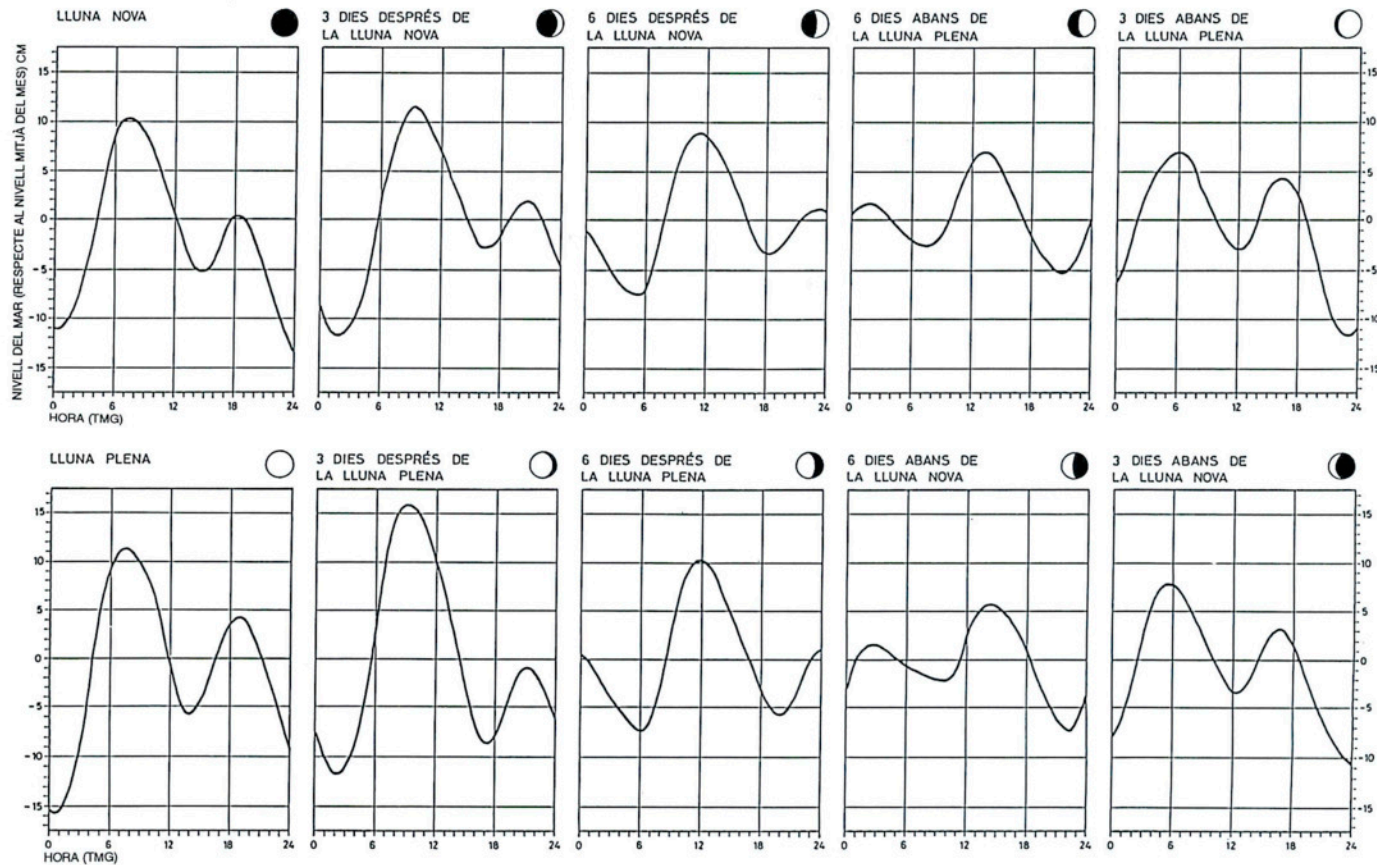
MAREA TIPUS A LA COSTA NORD CATALANA

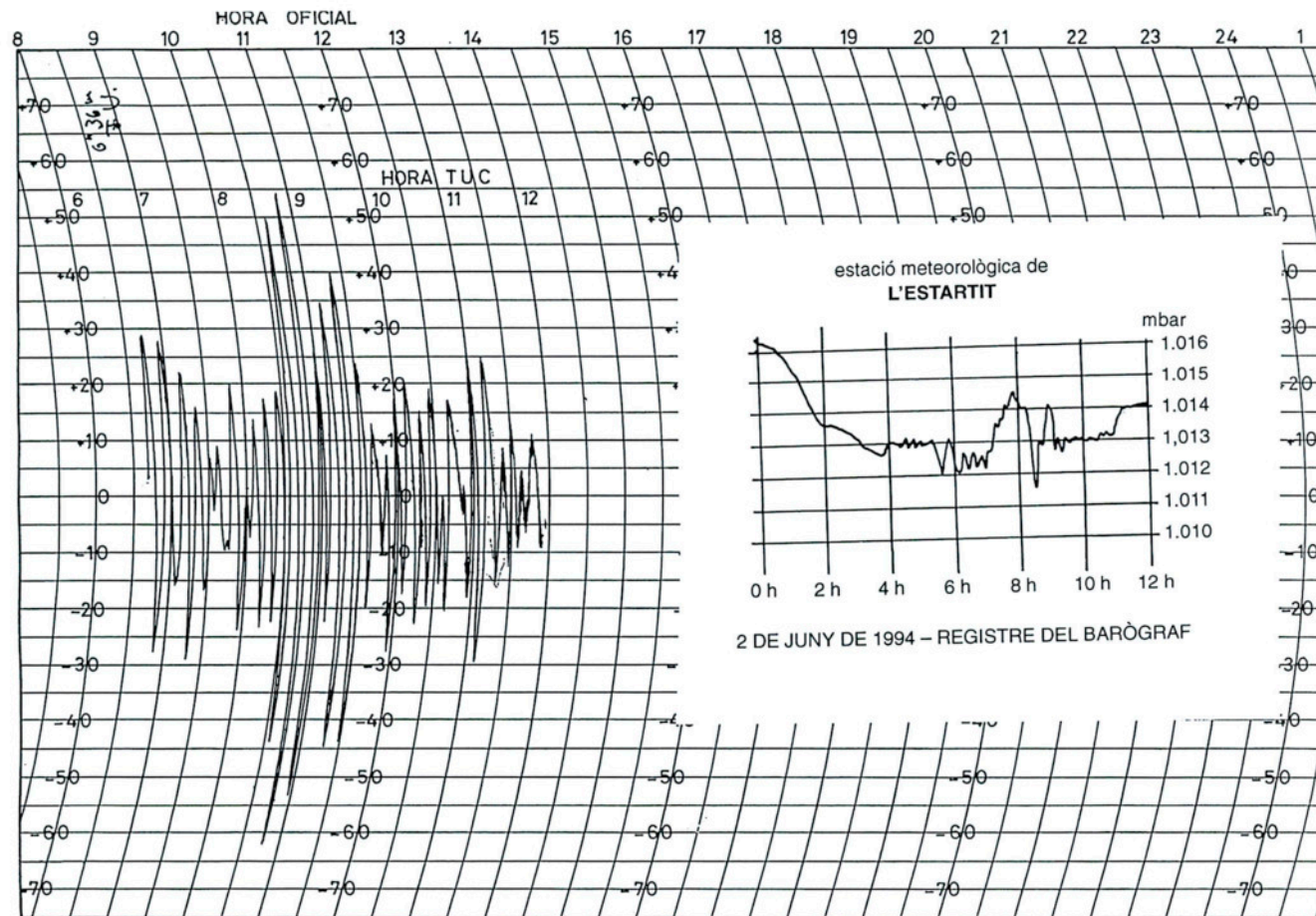
MES DE JUNY



MAREA TIPUS A LA COSTA NORD CATALANA

MES DE DESEMBRE





GOTES D'AIRE FRED AL MEDITERRANI

M. C. LLASAT
Universitat de Barcelona

INTRODUCCIÓ

Entre el 1980 i el 1990 es van enregistrar a Catalunya set episodis de pluges en què es van superar els 200 mm/24 h i que van produir inundacions catastròfiques (Llasat i Puigcerver, 1992). Aquest tipus d'episodis no són, tanmateix, una característica exclusiva de Catalunya ni de Llevant, sinó que s'estenen a tota la conca vessant del Mediterrani occidental. Així, els mateixos episodis que van afectar Catalunya el 1982, el 1986 o el 1987 van provocar també inundacions al sud-est francès. Més greus encara van ser les inundacions que van tenir lloc també al sud-est de França i al nord d'Itàlia el 1992, amb més de 400 mm en 24 hores. Finalment, l'octubre i el desembre de 1994 es van produir diversos episodis de pluges fortes que van afectar Catalunya, Romania i Grècia.

Queda clar, per tant, que els episodis esporàdics de pluges i d'inundacions catastròfiques són una característica comuna a tota l'Europa mediterrània. Aquesta característica està fortament lligada al mateix mar Mediterrani i a l'orografia accidentada de la major part de la línia costanera. Els diagnòstics solen implicar fenòmens com ara la ciclogènesi mediterrània; les adveccions d'aire molt calent i humit amb penetració, fins i tot, del jet subtropical, o les elevades temperatures del mar, entre d'altres. Però poques vegades es parla de la presència de gotes d'aire fred, o, tal com usualment les designen els mitjans de comunicació, gotes fredes. Malgrat això, la majoria del públic ha associat en els darrers anys l'expressió *gota freda* amb les inundacions.

Davant d'aquesta confusió, l'objectiu d'aquest article és aclarir què és una *gota freda* i quines són les seves principals característiques, així com la seva possible relació amb les inundacions. L'article es basa en un estudi exhaustiu de les gotes d'aire fred que van afectar Europa durant el període 1974-1983 (Llasat i Puigcerver, 1990; Llasat, 1991...), i de les principals inundacions que des del 1940 han afectat Catalunya i Llevant (Llasat i Puigcerver, 1992...).

DEFINICIÓ I ORIGEN DE LES GOTES D'AIRE FRED

El 1886, Köpen va introduir l'expressió *gota freda* o *gota d'aire fred* a la literatura meteorològica. Però no fou fins al 1948 que Sherhag la va definir i en va descriure les característiques fonamentals. Segons aquest autor, la gota d'aire fred és una «marcada depressió en alçària, que no es detecta en superfície, i a la part central de la qual es troba l'aire més fred».

La millor metodologia per detectar correctament una gota freda és localitzar una depressió tancada coincident amb un mínim de temperatura a 500 hPa, que queda reflectida a la topografia relativa de 500/1.000 hPa, però que, en canvi, no es detecta a la superfície (figura 1). Normalment, s'identifiquen a la superfície de 500 hPa, tot i que solen arribar fins als 300 hPa per la part superior i, de vegades, fins als 700 o, més esporàdicament, fins als 850 hPa per la part inferior. Generalment, presenten una forma el·líptica de poca excentricitat, amb l'eix dirigit més o menys segons els paral·lels. El seu diàmetre equivalent sol oscil·lar entre els 5° i els 10° de latitud.

Pel que fa a la gènesi, Sherhag (*loc. cit.*) l'atribueix a l'aïllament d'una massa freda quan, tant pel seu límit oriental com per l'occidental, es produeix l'entrada d'una massa d'aire càlid de gran espessor que arriba a allunyar la massa freda de la seva regió d'origen. Actualment, aquest procés es coneix com efecte *cut-off*, segons el qual la gota d'aire fred es formaria per la deformació i l'aprofundiment d'un solc al corrent general de l'oest. Quan el solc s'estreny dona lloc a una depressió tancada que conté l'aire fred separat de la seva massa original.

DISTRIBUCIÓ GEOGRÀFICA I TEMPORAL

De tot Europa, les zones més afectades per gotes fredes són generalment el Mediterrani occidental, Itàlia, la península Balcànica i l'oest de la península Ibèrica. L'anàlisi profunda d'aquesta distribució suggereix una forta contribució de tipus orogràfic i tèrmic a la producció de la vorticitat a la mitjana i alta troposfera, necessària per a la formació de la gota freda. Un factor que cal destacar és el nombre relativament reduït de gotes fredes que es formen sobre l'est de la península Ibèrica. De fet, durant els deu anys analitzats sistemàticament no es va formar cap gota freda en aquesta zona, que tan sols va ser afectada pel pas de gotes fredes procedents de sectors més occidentals.

El nombre de gotes fredes enregistrades durant els deu anys entre els 25° i 75° N i els 30° W i 40° E va ser de 486 (figura 2), valor molt proper a d'altres trobats a la documentació. Un 30 % de les gotes fredes es van produir a la primavera, mentre que un 27 % ho van fer a la tardor. A la primavera, les gotes tendeixen a formar-se sobre l'àrea atlàntica i la contribució mediterrània és molt petita. A l'estiu, la dispersió és més elevada, si bé es continuen produint essencialment sobre l'àrea atlàntica i el continent. A la tardor, una gran part es desenvolupa al sud dels 45° N i, particularment, sobre el sud d'Europa i els mars Mediterrani i Egeu,

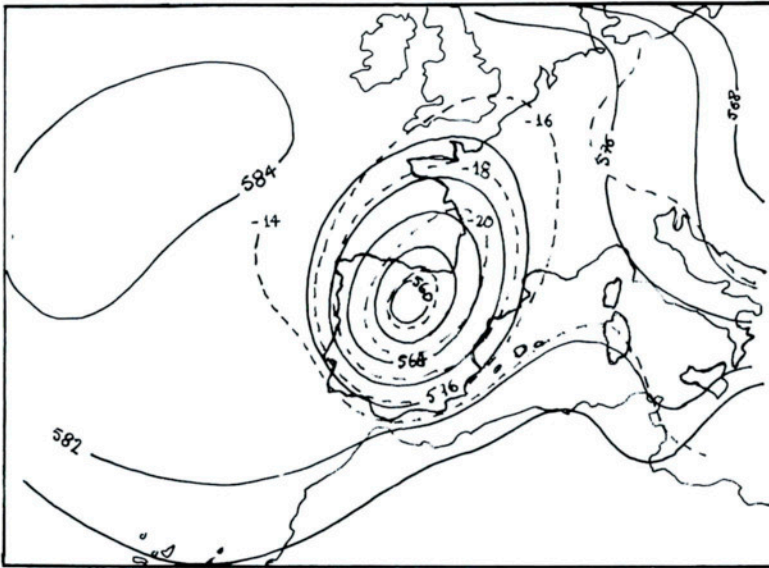


FIGURA 1.a. Anàlisi de la superfície de 500 hPa el dia 20 de setembre de 1971 a les 00 TMG. En traç discontinu es representen les isotermes.

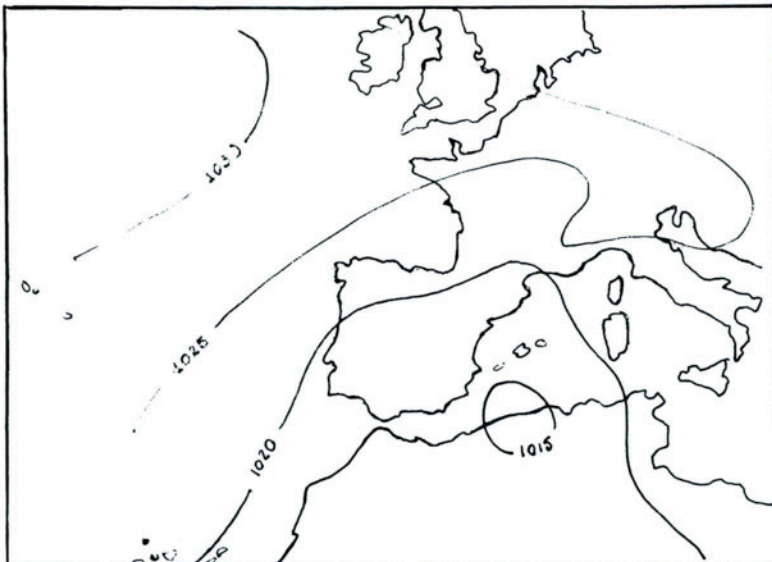


FIGURA 1.b. Anàlisi en superfície a la mateixa hora. Es tracta d'un cas ben representatiu de gota freda (la petita depressió en superfície sobre el Mediterrani es va formar posteriorment, com a conseqüència d'un procés de ciclogènesi mediterrània).



FIGURA 2. Distribució de nuclis de gotes fredes a Europa durant el període 1974-1983.

característica molt més marcada a l'hivern, estació en què la majoria de gotes fredes es formen sobre l'est del Mediterrani, la península Balcànica i l'Àsia Menor.

La duració total d'aquestes gotes va ser de 934 dies, la qual cosa donaria una durada mitjana d'aproximadament dos dies. De fet, un 69 % de les gotes fredes duren entre un i dos dies. El cicle vital és més llarg a la tardor, estació en què un 42 % van durar tres dies o més. Al llarg del seu cicle vital el moviment sol ser força erràtic i no es pot afirmar de manera general que sigui el vent, en baixos o alts nivells, el qui domini. De fet, la tendència més marcada és el moviment cap a l'est o el sud-est.

Si ens referim més explícitament a la península Ibèrica, el nombre total de gotes enregistrades en els deu anys va ser de 76, amb una duració total de 170 dies. D'aquestes, un 36,4 % es van produir a la primavera; un 24,7 %, a l'estiu; un 22 %, a la tardor, i 16,9 %, a l'hivern. El 89 % van tenir un cicle vital comprès entre un i tres dies, i tan sols dues gotes fredes van arribar a durar cinc dies. Les gotes de més durada es produeixen generalment sobre l'Atlàntic i penetren posteriorment a la Península, mentre que les que es produeixen a la Meseta són, en general, les més curtes. Com ja s'ha dit abans, la majoria de gotes fredes que afecten la Península es localitzen a la part occidental, principalment a Galícia, el centre de Portugal i el golf de Cadis. Per contra, el mínim s'enregistra a l'est del meridià 3° W. Concretament, no hi va haver en els deu anys analitzats cap gota freda sobre la zona de Llevant.

GOTES FREDES I PLUJA

Les observacions consignades als butlletins meteorològics a les estacions situades sota les diverses gotes fredes posen en evidència que en més del 50 % dels casos no es va produir cap pluja. Si ens referim exclusivament a les situacions en què la gota es troba sobre la península Ibèrica, arribarem a la conclusió que malgrat que el major nombre de gotes es troba a l'oest i sobre l'oest de la Península, mai no s'han enregistrat pluges per sobre els 45 mm/24 h. Per contra, la costa mediterrània és on s'enregistra el major nombre de situacions amb pluja per sobre de 45 mm/24 h, tot i que el nombre de gotes enregistrades és el més baix. En realitat, aquestes dues característiques pluviomètriques formen part del clima de la zona, independentment del fet que hi hagi o no gota freda. És evident, per tant, que la presència d'una gota freda no és suficient per produir precipitacions sota d'ella.

Si es té en compte qualsevol precipitació produïda a qualsevol punt de la Península, resulta que en més d'un 50 % dels casos no va ploure a cap lloc i tan sols en quatre ocasions es van superar els 120 mm/24 h. Quan s'ha enregistrat alguna precipitació simultània a la presència d'una gota, es troba que aquestes precipitacions es produeixen generalment a l'est, al nord-est o al nord de la gota. Sembla, per tant, que la importància que pugui tenir una gota rau més en la

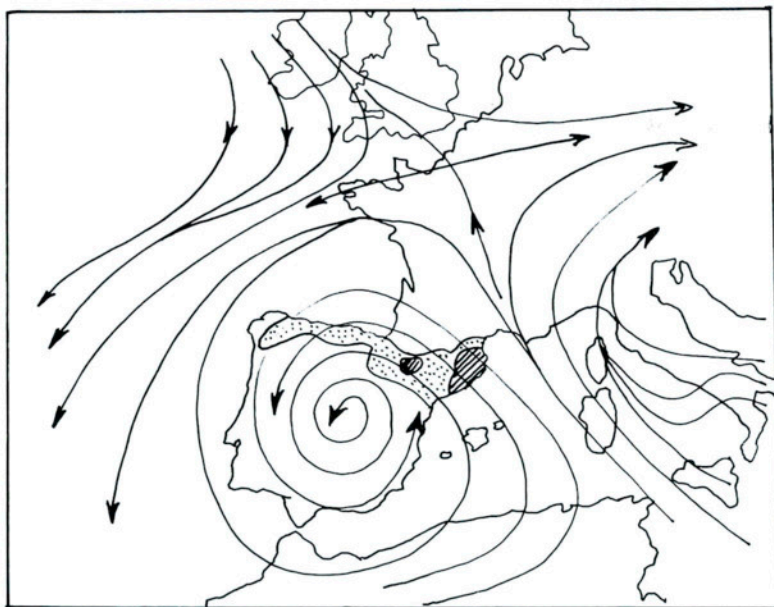


FIGURA 3. Línies de corrent a 850 hPa del dia 20 de setembre de 1971 a les 00 TMG. L'àrea puntejada correspon a la zona on va ploure i l'àrea ratllada, on es van superar els 100 mm/24 h.

circulació que genera que en el seu nucli d'aire fred. En efecte, l'anàlisi de les situacions associades amb pluges molt fortes i amb gota freda a la costa mediterrània (un 30 % aproximadament entre el 1950 i el 1990) corrobora aquesta observació. En aquests darrers casos, la gota s'estenia entre 850 hPa i 300 hPa i provocava una circulació ciclònica a gran part de la troposfera, que afavoria l'entrada d'aire atlàntic sobre la zona mediterrània i, amb ella, una alimentació d'aire humit en alçària. Paral·lelament, en nivells baixos es produïa l'entrada, gairebé perpendicular a la costa i a les cadenes muntanyoses del litoral, d'una massa calenta i molt humida d'aire mediterrani (figura 3).

CONCLUSIONS

Entre el 1974 i el 1983 es van produir 486 gotes d'aire fred sobre Europa i els mars adjacents, i una de les zones més afectades va ser la mediterrània. Això no implica, però, que les pluges fortes que es produeixin en aquesta regió hagin d'estar forçosament relacionades amb gotes fredes i viceversa. En la producció d'aquestes inundacions intervenen molts factors i, si ens referim a la part relativa a la circulació a escala sinòptica, el mateix paper poden jugar un solc, una depressió freda o una gota freda.

BIBLIOGRAFIA

- LLASAT, M. C.; PUIGCERVER, M. «Cold air pools over Europe». *Meteorology and Atmospheric Physics*, núm. 42 (1990), p. 171-177.
- LLASAT, M. C. *Gota fría*. Ed. Marcombo, (Boixareu Universitaria), núm. 6, 1991, 165 p., 84-267-0829-3.
- LLASAT, M. C.; PUIGCERVER, M. «Pluies extremes en Catalogne: influence orographique et caracteristiques synoptiques». *Hydrologie Continentale*, VII, 2, (1992).
- SCHERHAG, R. «Neu methoden des wetteranalyse un wetterprognose». Berlín: Springer, 1948, p. 227-235.

PECULIARITATS METEOROLÒGIQUES DE LA MEDITERRÀNIA OCCIDENTAL

A. JANSÀ

Centre Meteorològic Territorial de les Balears (INM)

ELS FACTORS GEOGRÀFICS I ELS EFECTES DIRECTES

Quant a la meteorologia, «la Mediterrània occidental és un racó endimoniadament original, massa autàrquic, massa particular i massa complicat» (J. M. Jansà, 1966). Aquestes originalitat, autarquia, particularitat, complexitat, a què es deuen? Com es manifesten?

La principal raó de la peculiaritat meteorològica de la Mediterrània és la seva singularitat geogràfica. D'una banda, la regió es troba situada en una doble cruïlla, entre el món subtropical i l'extratropical i entre l'oceà Atlàntic i les masses continentals euroasiàtica i africana. D'altra banda, la regió, ella mateixa, és extraordinàriament ben definida: una mar gairebé tancada i envoltada de muntanyes. Eduard Fontserè (1932) havia expressat d'alguna manera aquesta doble idea, que queda gràficament sintetitzada a la figura 1, adaptada per J. M. Jansà (1961).

La peculiar fisiografia mediterrània és el determinant de dos efectes directes: a) La relativa estagnació de l'aire, tot formant-se una massa mediterrània (J. M. Jansà, 1959), físicament diferenciada, sobretot als nivells més baixos, que resulta, en termes relatius, càlida i humida des de l'agost fins a l'abril, i fresca i també humida des de l'abril fins a l'agost; b) L'alteració —per orografia i contrast tèrmic— del camp de pressió, tot apareixent nombroses *mesoaltes* a sobrevent de les muntanyes i, sobretot, *mesobaixes* a sotavent. Aquestes, les mesobaixes, tenen una freqüència realment enorme, centenars cada any dins la conca de la Mediterrània occidental (INM, *Boletín PEMMOC*). La figura 2 il·lustra la formació de baixes a sotavent de les muntanyes, en relació amb el vent que bufa a nivell mitjà. La densitat de creus indica la freqüència relativa del fenomen. Les nombroses depressions mesoscalars superficials mediterrànies no sempre impliquen mal temps, però sempre alteren la distribució de vents i de núvols (baixos), i fins i tot en formen.

Ambdós efectes directes actuen com a contribució en la generació de les manifestacions més espectaculars de la peculiaritat meteorològica mediterrània, que són, probablement, els forts vents locals, com la tramuntana, les depressions intenses, els grans aiguats i les rissagues.

ELS VENTS LOCALS

Les mesobaixes i les mesoaltes mediterrànies juguen un paper clau en la gènesi i intensificació dels vents locals mediterranis. Fontserè (1929) intuïa aquest paper de les petites altes i baixes orogràfiques en la gènesi d'aquests vents, quan reivindicava la necessitat d'una anàlisi més acurada que l'habitual per tal de diagnosticar i preveure certs vents locals, com els llevants de la costa catalana. La tècnica de l'anàlisi mesoscalar –assajada, per exemple, per Tomàs (1966) i posada en pràctica per nosaltres– va millorar molt el diagnòstic dels vents mediterranis (C. Ramis, 1980; A. Jansà, 1980). Com que les petites pertorbacions mediterrànies tenen un fort lligam geogràfic, els vents locals també en tenen i a més personalitat i nom propi. La figura 3 il·lustra el model conceptual modern per a la tramuntana (A. Jansà, 1987; J. Campins *et al.*, 1995): l'accelerador del més important dels vents locals mediterranis, al qual els pares de la meteorologia regional ja havien dedicat singulars esforços (J. M. Jansà, 1933; E. Fontserè, 1950), és la mesoalta orogràfica generada pels Pirineus (Bessemoulin *et al.*, 1993).

LES DEPRESSIONS INTENSES

Quan una pertorbació de nivells alts –com ho és una anomalia positiva de vorticitat– es pot acoblar a una depressió superficial prèvia, es produeix una ciclogènesi –desenvolupament ciclònic– ràpida i profunda. Les depressions superficials

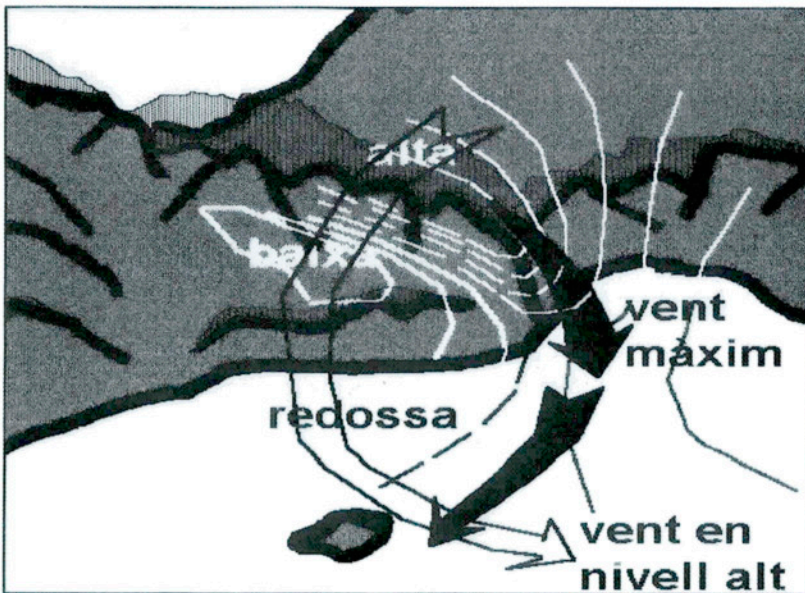


FIGURA 3. Model conceptual per a la tramuntana.

poden actuar, doncs, com a catalitzadores de depressions intenses, amb mal temps generalitzat. Aquesta idea de la ciclogènesi mediterrània en dos temps ha estat molt repetida, malgrat que amb matisos, a la literatura, molt abundant, sobre la ciclogènesi mediterrània, tant antigament (Bergeron, 1928), com recent (Radinovic, 1987; A. Jansà *et al.*, 1994). Resulta que la Mediterrània occidental presenta la major concentració mundial de depressions importants (Pettersen, 1956), amb localitzacions ben definides, que són els prolífics nius mediterranis dels gèrmens ciclònics que són les mesobaixes orogràfiques (o tèrmiques).

ELS GRANS AIGUATS

Malgrat que els vents locals i les depressions intenses són fenòmens prou específics de la Mediterrània i prou espectaculars, tal vegada siguin els grans aiguats, preferentment tardorencs, la manifestació més aclaparadora de la peculiaritat meteorològica mediterrània. Curiosament, ni Eduard Fontserè ni J. M. Jansà no van dedicar gran atenció al tema. Tal vegada la incidència, almenys social, del fenomen hagi augmentat als darrers temps.

Avui consideram que els ingredients més significatius dels aiguats mediterranis són:

Necessaris:

- Aire «càlid» i humit a nivell baix (aire mediterrani d'agost a abril, amb frontera vertical fràgil) i aire «fred» a nivell alt (inestabilitat)
- Mecanisme d'ascens forçat des de baix (frontera termicodinàmica, orografia) i d'alimentació (d'aire càlid-humit, també des de baix)
- Absència de forçament descendent a nivell alt.

Favorables:

- Entrada i mescla d'aire africà (rescalfament de l'aire mediterrani)
- Depressió superficial que, tot organitzant la circulació, proporciona mecanismes efectius d'alimentació (corrent càlid-humit) i ascens (a la frontera termicodinàmica d'atac d'aquest corrent)
- Forçament ascendent a nivell alt (tàlveg o gota freda).

Gràficament apareix esquematitzada la situació de grans ruixats a la figura 4. Vegeu com són importants tant la singularització d'una massa d'aire mediterrània, com l'organització en corrent d'atac i l'alimentació, per exemple per a una mesobaixa (aquesta darrera idea ja fou predita per Linés, 1974).

RISSAGUES

Les rissagues, que són seixes forçades per un excitador inicialment atmosfèric, en condicions de ressonància, amb variacions de nivell de la mar de fins a 2,5

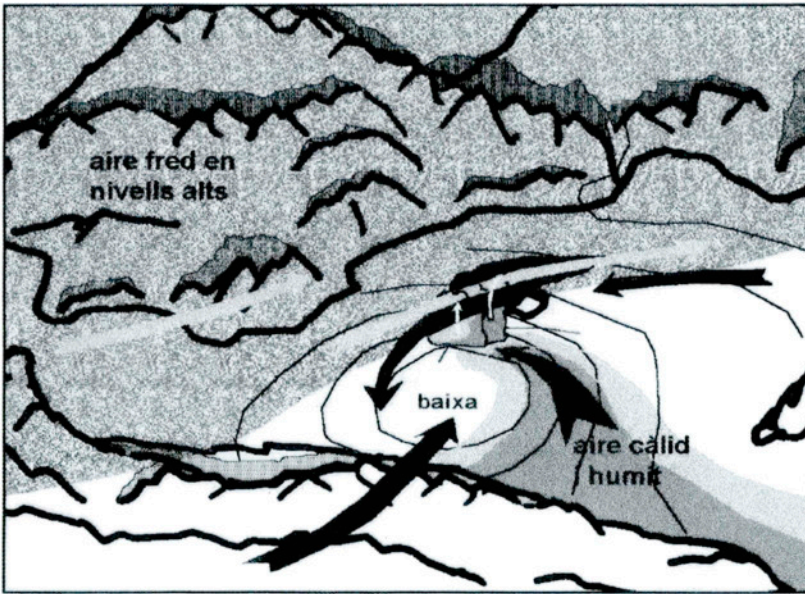


FIGURA 4. Formació de grans aiguats.

metres en determinats ports, com el de Ciutadella a Menorca, també es poden considerar una manifestació específica de la meteorologia mediterrània: l'excitador que les genera són les oscil·lacions de pressió que fan possible la repercussió d'ones gravitatòries a l'atmosfera lliure sobre una capa d'inversió, que aïlla un aire mediterrani diferenciat estiuenc, relativament fresc i humit, de l'aire africà tòrrid i sec (Ramis i Jansà, 1983).

CONSIDERACIÓ FINAL

El marc meteorològic de les rissagues és el mateix que el dels aiguats més típicament mediterranis. La diferència és el perfil tèrmic vertical. Aquest mateix marc, amb un perfil vertical intermedi o diferent, no hauria de donar una resposta espectacular.

D'altra banda, tanmateix, també el mateix marc, si en nivells alts hi ha una pertorbació ciclònica capaç d'acoblar-se a la de nivells baixos, pot degenerar en ciclogènesi intensa i en depressió profunda, amb mal temps –pluja i vent– generalitzat.

Així, situacions semblants poden resultar en no res o en un variat ventall de manifestacions violentes, per detalls aparentment insignificants. El sistema atmosfèric mediterrani és capriciós, bastant caòtic i encara massa impredecible. Malgrat que s'ha avançat molt des de fa uns anys (A. Jansà, 1983), cal aprofundir més en la meteorologia mediterrània per continuar retallant-ne la impredecibilitat.

BIBLIOGRAFIA

- BERGERON, T. *Über die dreidimensional verknüpfte wetter analyse*. Oslo: Geoph. Publikasjoner, 1928.
- BESSEMOULIN, P.; BOUGEAULT, P.; GENOVES, A.; JANSÀ, A.; PUECH, D. «Mountain Pressure Drag during PYREX», *Beitr. Phys. Atmosph.*, núm. 66 (1993), p. 305-325.
- CAMPINS, J.; JANSÀ, A.; BENECH, B.; KOFFI, E.; BESSEMOULIN, P. PYREX «Observation and Model Diagnosis of the Tramontane Wind», *Meteorol. Atmos. Phys.*, núm. 56 (1995), p. 209-228.
- FONTSERÈ, E. «Die 'Llevants' der Katalanischen Küste», *Beitr. Phys. Atmosph.*, núm. 15 (1929), p. 55-60.
- «Condicions climatològiques de les costes occidentals de la Mediterrània, i en particular de les terres costeres catalanes», Notes d'Estudi, núm. 49 (1932), Servei Meteorològic de Catalunya.
- *La Tramuntana empordanesa i el Mestral del golf de St. Jordi*. Ginebra: Institució Patxot, 1950.
- INM (Instituto Nacional de Meteorología). Boletín PEMMOC, *catálogo periódico de ciclones y fenómenos adversos en el Mediterráneo occidental*. Palma: Centre Meteorològic de Balears (INM), semestral, des de 1991.
- JANSÀ, A. «Alteraciones a mesoscala del campo de presiones en el Mediterráneo occidental», *XI Jornadas Científicas-I Congreso de Meteorología Mediterránea*. Palma-Madrid: AME, 1980, p. 71-98.
- «La meteorologia mediterrània: objecte i projecte d'investigació». A: *Estudis i propostes tècniques per al desenvolupament de la política tecnològica i energètica del Govern de la Generalitat*. Generalitat de Catalunya, 1983, p. 373-383.
- «Distribution of the Mistral: a satellite observation». *Meteorol. Atmos. Phys.*, núm. 36 (1987) p. 201-214
- *Contribución al estudio de la Tramontana en Menorca*, SMN (INM), sèrie A, núm. 3, 1933.
- «La masa de aire mediterráneo». *Revista Geofísica*, núm. 18 (1959), p. 35-50.
- *Nociones de climatología general y de Menorca*. Maó: Impremta Síntes, 1961.
- «Meteorología del Mediterráneo occidental». *Tercer Ciclo de Conferencias*, sèrie A, núm. 43, 1966.
- JANSÀ, A.; GENOVES, A.; PICORNELL, M. A.; CAMPINS, J.; RADINOVIC, D.; ALPERT, P. «Mediterranean cyclones: subject of a WMO project». A: *The Life Cycle of Extratropical Cyclones*. Vol. 2, Bergen, 1994, p. 26-31.
- LINÉS, A. «Situaciones sinópticas típicas de lluvias torrenciales en el sudeste español». Coloquio sobre Problemas de Meteorología Agrícola. Madrid: Asoc. Esp. para el Progreso de las Ciencias, 1974.
- PETTERSEN, S. *Weather Analysis and Forecasting*. Nova York: McGraw-Hill, 1956.
- RADINOVIC, D. *Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate*, WMO, PSMP Rep. Ser., núm. 24, 1987.
- RAMIS, C. «Frecuencia y diagnóstico de temporales con la ayuda de análisis a mesoscala en el Mediterráneo occidental». *XI Jornadas Científicas-I Congreso de Meteorología Mediterránea*. Palma-Madrid: AME, 1980, p. 109-136.

- RAMIS, C.; JANSÀ, A. «Condiciones meteorológicas simultáneas a la aparición de oscilaciones de nivel del mar de amplitud extraordinaria en el Mediterráneo occidental». *Revista Geofísica*, núm. 39 (1983), p. 35-42.
- TOMÁS, A. «Temporales de 'Llevant'». *Tercer Ciclo de Conferencias*. INM, sèrie A, núm. 43, 1966.

II

LES PREDICCIONS METEOROLÒGIQUES

La meteorologia sempre ha estat una ciència popular, però cada vegada està més de moda. És difícil trobar alguna activitat humana que no li reclami algun consell, alguna estadística, la predicció en definitiva. Tant com la meteorologia, i en especial la predicció del temps, progressen aquestes demandes, creixen i en alguns casos arriben a ser exigents, i aquí no ens referim ni a l'aviació, ni a la pagesia, ni a la navegació, etc., on aquesta exigència és prou justificada.

Gràcies als mitjans de comunicació, i en especial a la TV, la meteorologia s'ha popularitzat cada cop més. Però això no és nou. Entre els anys 1921-1939, el Servei Meteorològic de Catalunya era ben conegut de tothom, no tant pel seu treball de producció científica, sinó gràcies a les informacions que facilitava a la premsa i a la ràdio. Recordem que el Servei va néixer inspirat en la necessitat de predir el temps. Fontserè organitzà la predicció diària del temps, i fou un dels primers d'Europa que va portar la meteorologia als mitjans de comunicació. A partir del gener de 1927 radiava l'estat i la previsió del temps dos cops al dia a través de l'emissora EAJ 1 Ràdio Barcelona, i a partir del 1929 va ser complementada amb uns consells destinats als pagesos i als pescadors a causa de l'èxit. Des de llavors fins ara la quantitat d'informació meteorològica que es difon als mitjans de comunicació s'ha multiplicat, i en els darrers anys s'han introduït avenços tècnics molt espectaculars. No cal dir que tot això ha estat possible gràcies a les noves tecnologies, com per exemple, els satèl·lits meteorològics, els radars, les xarxes de descàrregues elèctriques, els nous sistemes de comunicació, els superordinadors, etc. Però també és gràcies a la gran quantitat d'observatoris manuals o estacions automàtiques escampades per tot el món, que proporcionen una quantitat de dades inimaginable ara fa no gaire més de vint-i-cinc anys, temps en el qual és difícil de trobar una altra ciència que hagi donat un salt semblant.

No obstant això, també hi ha hagut avenços teòrics, poc o menys coneguts, que han contribuït a la comprensió de diversos processos meteorològics. És a dir, s'han incorporat i se segueixen incorporant nous *models conceptuals*, que són el resultat de la feina que fan els investigadors dels serveis meteorològics, de les universitats, etc. També s'han realitzat models numèrics que permeten fer prediccions fins a deu dies i que, juntament amb els estudis climatològics locals, permeten de millorar la qualitat de les prediccions. D'aquesta manera les tres etapes fonamentals en què se subdivideix la predicció en els serveis meteorològics –diagnòstic, explicació de les diferents estructures presents amb un model conceptual i, final-

ment, predicció d'acord amb un model numèric— s'han anat fent més precises, sense oblidar que la predicció és sempre probabilística —és la proposta d'evolució que sembla més probable—, però que mai ho és en un cent per cent.

Si la predicció és la part més complexa de la meteorologia, és en aquest camp on cal un millor contacte entre les parts involucrades en l'elaboració i transmissió dels pronòstics: predictors, investigadors, observadors, informadors, etc. Recordem que una bona predicció pot perdre la seva validesa si no és ben compresa per l'usuari. Les jornades d'homenatge al doctor Fontserè volen iniciar aquest contacte i l'Associació Catalana de Meteorologia vol impulsar-lo. Enguany, però, ja ha nascut una altra associació que molts esperàvem, l'Associació Catalana d'Observadors de Meteorologia. No hi ha dubte que aquest és un primer pas que ens ha de portar a un clima de treball que ens enriqueixi de coneixements a tots plegats i afavoreixi la unificació de criteris per informar.

EL MODELO HIRLAM DE PREDICCIÓN DEL INM

E. RODRÍGUEZ CAMINO
J. A. GARCÍA-MOYA ZAPATA
Instituto Nacional de Meteorología

INTRODUCCIÓN

El sistema de predicción HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) es un código de asimilación de datos y de predicción desarrollado por los siguientes países: Suecia, Noruega, Finlandia, Dinamarca, Islandia, Holanda e Irlanda. Actualmente Francia y España tienen acuerdos de cooperación con el grupo de países que han desarrollado el sistema HIRLAM.

El desarrollo del sistema se ha basado en proyectos trienales, al final de los cuales el grupo que participa en el desarrollo se compromete a preparar una versión para su utilización operativa de los países miembros del grupo HIRLAM. El proyecto HIRLAM ha tenido ya dos fases, que han finalizado con la elaboración de dos códigos a los que actualmente tienen acceso los países signatarios del proyecto y los que tienen convenios de cooperación. El modelo HIRLAM-2, que se puso operativo al finalizar la segunda fase del proyecto HIRLAM, es el que está actualmente instalado para su utilización operativa en el INM.

Actualmente está en fase de desarrollo el proyecto HIRLAM-3, que deberá finalizar en 1996 con un nuevo código que incorporará una serie de mejoras respecto al actual HIRLAM-2, y que configurarán un sistema operativo de asimilación de datos y de predicción que estará a la altura de los más avanzados del mundo. La meta de los sucesivos proyectos HIRLAM es la de poner a disposición de los países miembros un modelo que incorpore los algoritmos más eficientes y que mejor simulen la evolución de la atmósfera y que a la vez se encuentre a la altura de los modelos desarrollados en los centros más competitivos en temas de modelización. Podemos resumir diciendo que los proyectos HIRLAM son el esfuerzo coordinado de algunos países europeos, que poseen recursos modestos, para estar a la altura de las circunstancias en temas de modelización a corto plazo con respecto a los grandes centros con grandes recursos y gran tradición y experiencia en temas de modelización. Hasta ahora, los proyectos HIRLAM han cumplido sobradamente sus aspiraciones.

El proyecto HIRLAM-3, actualmente en fase de desarrollo, tiene una gran actividad que se materializa en la existencia de grupos de trabajo sobre algunos

temas específicos que se han considerado prioritarios para la mejora de los modelos. Entre estos temas se pueden citar:

- Técnicas numéricas (semilagrangiana y advección vertical implícita, espectral, difusión horizontal)
- Esquemas de parametrización física (radiación, nubes y condensación, difusión vertical, esquemas de superficie, base de datos fisiográfica)
- Formulación de un modelo no hidrostático.
- Análisis y asimilación (inicio por filtros digitales, interpolación óptima, técnicas de Monte Carlo, filtros adaptativos en análisis por interpolación óptima, uso de datos de satélite, técnicas variacionales)
- Estudios de casos
- Sistema de referencia.

Los distintos grupos de trabajo organizan un promedio de tres *workshop* especializados al año en los que se invitan a especialistas en los temas, procedentes de dentro y fuera de los grupos y que permiten una puesta al día de los distintos grupos de trabajo en cada uno de los temas. También se organizan uno o dos seminarios anuales a los que asisten todos los integrantes del proyecto HIRLAM y que constituyen la *asamblea general* de intercambio de ideas entre los diferentes grupos y personas. Esta forma de trabajo «neuronal» sin la existencia de centros rectores es la que se está tomando como modelo a nivel europeo para desarrollar la futura red de desarrollo europea en predicción numérica a corto plazo.

En el INM se han instalado dos versiones del código HIRLAM en el CRAY-C94 del INM. La primera de ellas, que denominaremos HIRLAM(INM) 0.5°, toma las condiciones de contorno del modelo del ECMWF, y tiene un área de integración que se muestra en la figura 1 (194 x 100 puntos, 31 niveles, 3 minutos de paso de tiempo). La segunda versión, que denominaremos HIRLAM(INM) 0.2°, toma las condiciones de contorno del modelo anterior, y tiene un área de integración que también se muestra en la figura 1 (194 x 100 puntos, 31 niveles, 1 minuto de paso de tiempo).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CÓDIGO HIRLAM

El código del sistema de predicción HIRLAM presenta unas características singulares de flexibilidad que permiten la selección de área, la resolución horizontal, el número de niveles y las parametrizaciones físicas de forma inmediata.

Las subrutinas de la física son fácilmente sustituibles por otras que parametricen los mismos procesos por cumplir las normas de portabilidad acordadas entre varios centros generadores de código (Kalnay, 1989).

Existe la posibilidad para algunos procesos físicos de elegir entre diferentes esquemas, por ejemplo, en el caso de la condensación se puede elegir entre el esquema de Sundqvist y la combinación del esquema de KUO para la convección y el esquema de condensación a gran escala que precipita instantáneamente todo el vapor que sobrepasa el punto de saturación.

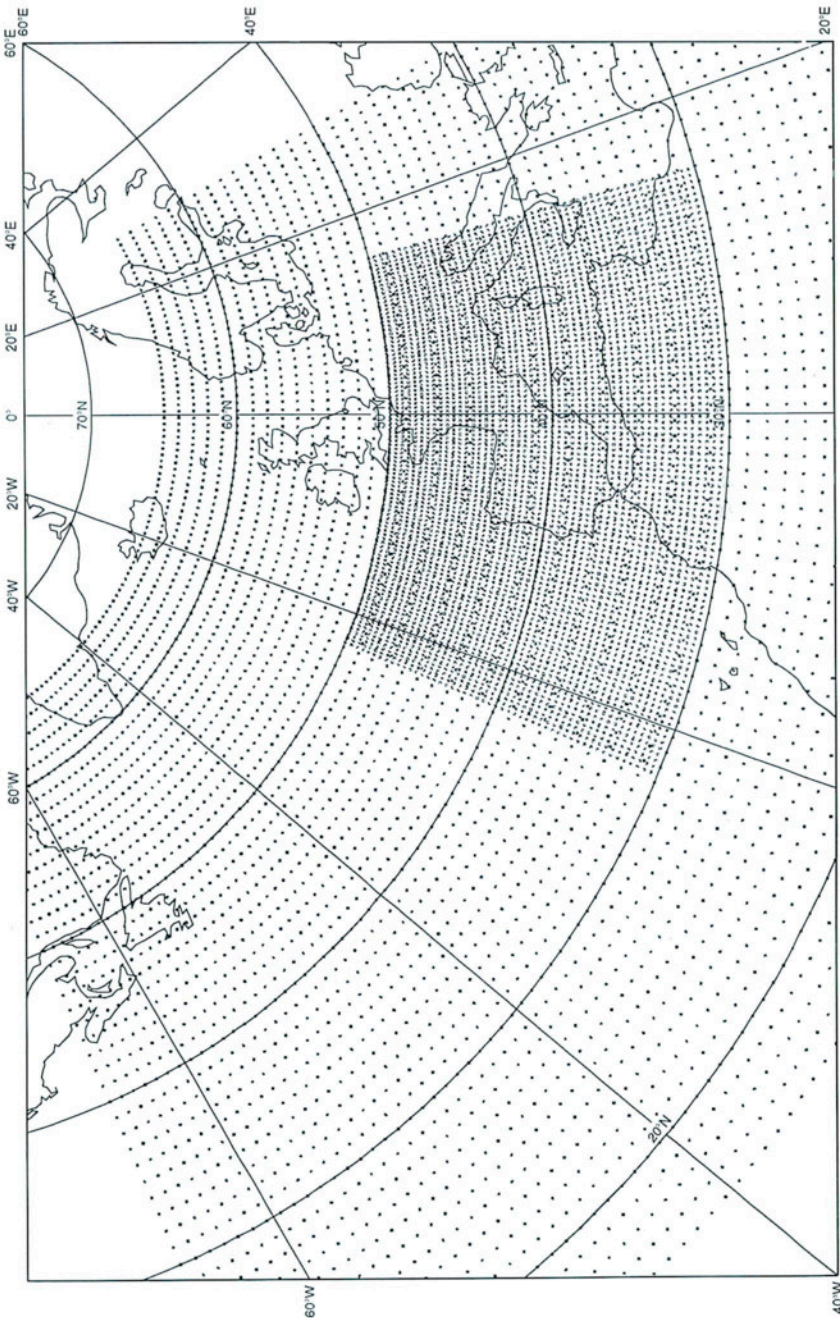


FIGURA 1. HIRLAM(INM)_0.5 and HIRLAM(INM)_0.2 grids.

La posibilidad de elegir entre diferentes alternativas también incluye a las técnicas numéricas y a la difusión horizontal.

El posproceso es muy completo y permite una amplia y sencilla selección de campos, niveles y parámetros.

En los modelos globales, cuando se define una rejilla regular en latitud y longitud, aparecen problemas de estabilidad debido a la convergencia de los meridianos en los polos. Esto es fácilmente comprensible puesto que las distancias entre puntos de rejilla se reducen al acercarnos a los polos y deja de cumplirse el criterio CFL de estabilidad computacional. Este problema se evita mediante filtros espaciales en los modelos globales y rotando el polo en los modelos de área limitada de forma que el nuevo ecuador pase por el dominio del modelo. Esta última solución es la que ha sido adoptada por el modelo HIRLAM para evitar los problemas de convergencia de los meridianos. Lógicamente otra alternativa consiste en realizar todos los cálculos no en coordenadas geográficas sino sobre una proyección que no presente estos problemas.

ASIMILACIÓN DE DATOS

La asimilación de datos se basa en el paquete de análisis del ECMWF, convenientemente adaptado a un área limitada. Ambos modelos, el HIRLAM(INM) 0.5° y el HIRLAM(INM) 0.2°, tienen un ciclo de asimilación intermitente, siendo ambos ciclos independientes.

Cada ciclo de asimilación está separado del anterior 6 horas y consta de las siguientes cuatro etapas:

1. *Preproceso y control de calidad*

Los datos inicialmente en formato BUFR (binario) se descodifican y pasan un control primario de calidad (errores de codificación, consistencia interna, valores razonables de los parámetros...). Previamente se habrán transferido desde la base de datos en el Fujitsu y habrán sido puestos en formato BUFR desde su codificación inicial en forma de boletines que es como viajan por el GTS.

2. *Análisis objetivo*

El método es el clásico de la interpolación óptima estadística por cajas.

3. *Inicialización*

Se eliminan los desacoplos entre los campos de viento y de masa mediante el método de los modos normales no lineales.

4. *Predicción H+6*

Esta predicción se utilizará con «campo previo» para el siguiente análisis.

A partir de aquí se repite el ciclo con un período de 6 horas.

FORMULACIÓN ADIABÁTICA Y PARAMETRIZACIONES DEL MODELO HIRLAM

Las ecuaciones primitivas utilizadas por el modelo HIRLAM y que gobiernan la evolución de la atmósfera son:

ECUACIONES DEL MOMENTO (2)
ECUACIÓN DE LA TERMODINÁMICA (1)
ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA HUMEDAD (1)
ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA AGUA NUBE (1) (con esq. Sundqvist)
ECUACIÓN DE CONTINUIDAD PARA MASA (1)
ECUACIÓN HIDROSTÁTICA (1)

En la horizontal se emplean coordenadas esféricas, con la posibilidad de rotar la rejilla como se ha mencionado más arriba. La versión operativa en el INM no tiene la rejilla rotada. En la vertical se emplean coordenadas híbridas. Las coordenadas híbridas, como su nombre indica, son de tipo sigma en las proximidades del suelo y de tipo presión constante en niveles altos. Las dos versiones operativas del modelo HIRLAM(INM) tienen 31 niveles híbridos.

La rejilla C de Arakawa es más comúnmente utilizada por sus buenas propiedades de simulación del ajuste geostrófico y es la utilizada por el modelo HIRLAM.

Las ecuaciones diferenciales que se utilizan habitualmente para describir la atmósfera admiten entre sus soluciones todas las escalas de los movimientos atmosféricos, desde las escalas de microturbulencia (10^{-2} m) hasta las grandes ondas responsables de la circulación general (107 m). Cuando se pasa a discretizar las ecuaciones primitivas por cualquiera de los métodos estudiados, nos encontramos que al utilizar rejillas espaciales y temporales (actualmente para los modelos usados operativamente están en las proximidades de los 50 km y los 5 minutos) se excluyen explícitamente las escalas menores de los tamaños de dichas rejillas.

Como las ecuaciones que describe la atmósfera son no lineales, las diferentes escalas interaccionan entre sí, es decir, no evolucionan independientemente. A modo de ejemplo, pensemos en los movimientos turbulentos que tienen lugar fundamentalmente en la capa límite o en las circulaciones de tipo convectivo. En ambos casos nos encontramos con escalas espaciales menores de 100 km que influyen en las escalas resueltas por las ecuaciones discretizadas. Es obvio que tanto los remolinos de origen turbulento como los movimientos convectivos afectan a las escalas que explícitamente resuelven las ecuaciones discretizadas.

Sin embargo, los efectos de pequeña escala necesitan un tiempo para interaccionar con las escalas explícitamente resueltas por las ecuaciones discretizadas. Por lo que en una primera aproximación y para integración de las ecuaciones a corto plazo pueden despreciarse los efectos de las escalas menores de la rejilla del modelo.

Los procesos de escala «subrejilla» en principio no están previstos por las ecuaciones discretizadas de la atmósfera. Sólo pueden considerarse los efectos estadísticos o promediados de dichos procesos en la medida en que están determinados por el flujo resuelto por las ecuaciones discretizadas.

Se denomina *parametrización de los procesos físicos* al procedimiento mediante el cual se añaden términos adicionales en las ecuaciones de la atmósfera que tienen en cuenta las contribuciones promediadas de los diferentes procesos «subrejilla». Estos términos adicionales expresan estos procesos en función de las variables que aparecen en las ecuaciones. Ésto es, la parametrización de un proceso implica su descripción, si bien promediada, en función de las variables de las ecuaciones diferenciales discretizadas.

En la parametrización no sólo se incluyen los procesos físicos que tienen lugar a escala subrejilla sino también aquellos procesos, como por ejemplo los procesos radiativos, que para su completa descripción precisarían de la introducción de variables adicionales y de complejas ecuaciones para describirlas. La parametrización incluye en este caso los efectos de estos procesos de forma simplificada también como términos adicionales en las ecuaciones adiabáticas sin necesidad de introducir variables adicionales suplementarias.

Son temas preliminares a resolver el hecho de identificar qué procesos físicos aparecen explícitamente representados en las ecuaciones adiabáticas discretizadas y cuáles precisan de términos adicionales en las ecuaciones para su descripción. Como es lógico, depende de la resolución espacial y temporal de la discretización de las ecuaciones el que un proceso se represente explícitamente en las ecuaciones o que precise de su parametrización mediante términos adicionales en las ecuaciones adiabáticas.

También es muy importante identificar la importancia relativa de los procesos que se van a parametrizar. Esta importancia depende tanto del alcance de la integración como de la resolución. Lógicamente en las predicciones a corto plazo el papel de las parametrizaciones es bastante secundario, al contrario de lo que sucede en las integraciones de tipo climático, en las que los procesos físicos incluidos en las parametrizaciones condicionan la climatología de los modelos.

La actual versión del modelo HIRLAM parametriza los siguientes procesos físicos: condensación (gran escala y convectiva), radiación, capa límite, suelo.

El modelo HIRLAM tiene dos alternativas para los procesos convectivos; una de ellas basada en un esquema de convección tipo Kuo y en un esquema de condensación de la precipitación a gran escala con producción inmediata de precipitación cuando la humedad relativa rebasa el punto de saturación. Esta alternativa es muy similar a la del antiguo LAM(INM). La otra alternativa (que es la seleccionada operativamente en las dos versiones HIRLAM(INM) 0.5° y HIRLAM(INM) 0.2°) se basa en el esquema de Sundqvist e incluye una parametrización, si bien grosera, de la microfísica de nubes. Cuando se elige la alternativa de Sundqvist, entonces se añade entre las ecuaciones a integrar la de continuidad para el agua de nube.

NOVES EINES DE DIAGNÒSTIC I DE PREDICCIÓ: RADAR METEOROLÒGIC I XARXA DE DETECCIÓ DE DESCÀRREGUES ELÈCTRIQUES

E. TERRADELLAS

Centre Meteorològic Territorial de Catalunya - INM

LA PREDICCIÓ METEOROLÒGICA

Bàsicament, a l'hora de fer una predicció del temps, el meteoròleg rep dos tipus d'informació: dades d'observació i resultats de models numèrics que simulen l'evolució de l'atmosfera. Aquest esquema simplificat és representat a la figura 1.

Els mètodes de treball varien notablement segons l'abast temporal de la predicció. Seguint l'esquema de la figura 1, es pot afirmar que, com més curt sigui el termini de la predicció, més importància relativa tindrà la informació rebuda des del camí número 2; és a dir, per a una predicció a curt termini és fonamental l'obtenció i l'assimilació de dades d'observació abundants, contínues i precises.

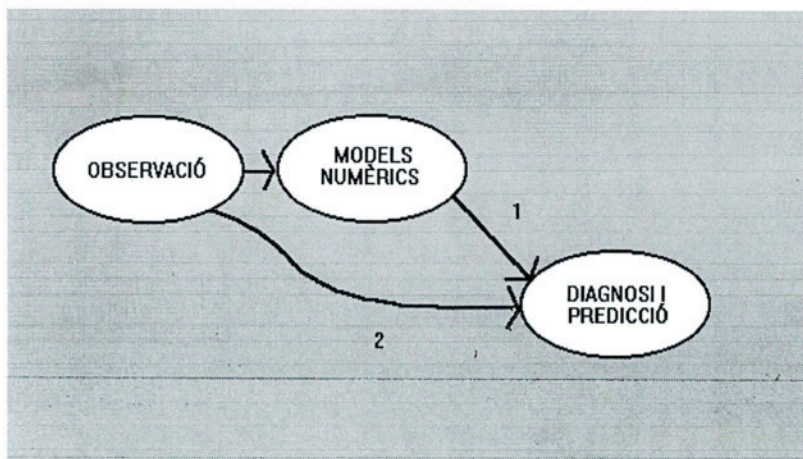


FIGURA 1. Esquema simplificat del flux d'informació per a una predicció meteorològica.

TELEDETECCIÓ

Aquesta observació intensiva de l'estat de l'atmosfera no pot provenir únicament de les xarxes d'observatoris convencionals, imprescindibles en qualsevol cas. És necessària una observació contínua i global que només és possible per mitjà de sensors remots.

Els sistemes de teledetecció emprats més habitualment per a l'observació meteorològica són: satèl·lits, radars i xarxes de detecció de descàrregues elèctriques.

El primer satèl·lit meteorològic va ser llançat l'any 1960, només tres anys després que el primer enginy fabricat per l'home recorregués unes quantes òrbites al voltant del nostre planeta. El primer de la sèrie METEOSAT va ser col·locat en una òrbita geoestacionària el novembre de 1977. Situat sobre la intersecció de l'equador i el meridià de Greenwich, permetria la vigilància meteorològica contínua de gran part d'Europa, l'Atlàntic i la totalitat de l'Àfrica.

La llarga experiència en l'aprofitament de dades subministrades per satèl·lits en la meteorologia operativa fa que el seu ús no es limiti a la provisió d'imatges per al diagnòstic. Aquestes dades constitueixen una font d'informació molt útil, i s'espera que en el futur ho siguin més, per a la inicialització dels models numèrics de predicció. És a dir, les observacions fetes des de satèl·lits arriben al predictor pels dos camins assenyalats a la figura 1.

Durant la Segona Guerra Mundial, es va veure que les condicions meteorològiques, especialment les precipitacions intenses, afectaven l'operativitat dels radars que s'empraven per detectar la presència d'avions enemics. Durant els anys següents, es va comprovar que aquest «soroll», que interferia en la tasca per a la qual havien estat dissenyats els sistemes radar, podia ser interpretat i utilitzat en la pràctica meteorològica. Així, al començament dels anys cinquanta, es van fer les primeres aplicacions del radar a la meteorologia; però durant molts anys, el seu ús primordial ha estat la investigació. Al començament dels anys noranta, l'Institut Nacional de Meteorologia (INM) va iniciar la instal·lació d'una xarxa de radars meteorològics que actualment cobreix gairebé tot el territori espanyol, amb la finalitat de detectar i de vigilar sistemes de precipitació, a més de poder ser utilitzada amb finalitats climatològiques i d'investigació.

Les propietats elèctriques de l'atmosfera són conegudes des de fa molts anys. El 1799, Alexander von Humboldt ja va mesurar alteracions de la càrrega elèctrica de l'aire en zones de tempesta, però hauria de passar bastant més d'un segle per poder aprofitar aquestes alteracions en la vigilància meteorològica.

Al començament del 1992 va quedar operativa la xarxa de detecció de descàrregues elèctriques de l'INM. Aquesta xarxa permet localitzar i conèixer algunes propietats de les descàrregues elèctriques entre núvols i terra.

Els tres sistemes de teledetecció descrits no són en absolut redundants. Al contrari, el seu ús conjunt permet observar en el mateix instant diferents propietats de l'atmosfera i obtenir així un diagnòstic global més complet del seu estat.

Existeixen altres sistemes de teledetecció, emprats generalment per a aplicacions en camps específics. Un exemple són els SODAR i els LIDAR que analitzen l'estructura de les capes baixes de l'atmosfera, utilitzats sovint en l'anàlisi de les condicions de dispersió de contaminants.

EL RADAR METEOROLÒGIC

Un radar és un sistema que emet pulsos d'energia concentrats en un angle sòlid petit i rep part d'aquesta energia que algun objecte, que anomenarem *blanc*, retorna cap al sistema receptor.

Per als radars meteorològics de vigilància, aquests blancs són partícules de precipitació. El sistema genera els pulsos descrits i els dirigeix a diferents angles d'azimut i d'altura, de manera que pot detectar i analitzar l'estructura horitzontal i vertical de les zones de precipitació.

La potència emesa i rebuda es relacionen per mitjà de l'anomenada *equació del radar* i el seu quocient és funció de les característiques del sistema i de les pròpies dels blancs detectats.

El radar determina la distància a què es troba la zona de precipitació —a partir del temps que tarda el puls d'energia en assolir el blanc i tornar a l'antena receptora— i la reflectivitat, que es defineix com la suma de les seccions eficaces de les partícules que constitueixen el blanc per unitat de volum —a partir del quocient entre la potència rebuda i la potència emesa.

La secció eficaç d'una partícula de precipitació depèn de la mida i de les propietats físiques, sobretot de l'estat termodinàmic. És per això que no és possible determinar la intensitat de la precipitació a partir de la mesura de reflectivitat. No obstant això, fent hipòtesis sobre aquests paràmetres, se'n poden fer estimacions. La relació més emprada per relacionar reflectivitat i intensitat de precipitació és la de Marshall-Palmer:

$$Z = 200 * R^{1,6}$$

on Z és la reflectivitat en mm^6/m^3 i R , la intensitat de precipitació en mm/h . La reflectivitat es mesura en mm^6/m^3 perquè, per a partícules de mida molt inferior a la longitud d'ona del radar, la secció eficaç és aproximadament proporcional a la sisena potència del seu radi.

La xarxa de l'INM consta de 15 radars. Són de dos tipus: de banda C (5 cm) al vessant atlàntic i de banda S (10 cm) a la mediterrània. El radar de Catalunya és al pic d'Agulles (Baix Llobregat), a una altitud de 654 m, i permet la vigilància de gran part del territori català, ja que té un abast de 240 km, 120 per a observacions Doppler.

Els radars de banda S tenen l'avantatge que, en ells, el feix d'energia experimenta menys atenuació que en els de banda C, especialment quan travessa zones de precipitació intensa. En canvi, els de banda S tenen menys resolució espacial, ja que, a igualtat d'altres factors, el feix d'energia es propaga amb un angle sòlid més gran.

El radar de Catalunya fa cada deu minuts observacions de reflectivitat a 20 elevacions, de $0,9^\circ$ a $25,0^\circ$, més una observació Doppler a $0,9^\circ$. Obté les dades en coordenades polars, que són posteriorment, per interpolació, transformades a 12 nivells d'altitud en coordenades cartesianes.

XARXA DE DETECCIÓ DE DESCÀRREGUES ELÈCTRIQUES

El mes de febrer de 1992 va començar a ser operativa la xarxa de detecció de descàrregues elèctriques de l'INM.

Amb aquesta xarxa és possible detectar i localitzar gairebé totes les descàrregues elèctriques entre núvols i terra del territori espanyol. Detecta descàrregues positives i negatives, entenent-les com les que es produeixen entre un centre de càrregues positives o negatives del núvol i la superfície terrestre. No detecta, en canvi, les descàrregues entre núvols.

La xarxa consta de catorze equips detectors, una unitat central, i unitats de presentació, arxiu i introducció als altres sistemes informàtics de l'INM. A Catalunya hi ha instal·lats dos equips detectors, als aeroports de Girona i de Reus.

Cada vegada que un equip detector rep un senyal, determina si aquest prové d'un llamp —els senyals electromagnètics dels llamps són molt característics—, en mesura la polaritat, l'amplitud, l'azimut i l'hora i ho transmet a la unitat central.

A partir de la informació procedent dels equips detectors, la unitat central calcula, per a cada llamp, la polaritat, la localització —latitud i longitud—, l'hora, la intensitat de la primera descàrrega i el nombre de descàrregues.

A la figura 2 es pot veure la ubicació dels equips detectors i l'errada màxima en la localització de les descàrregues.

La importància de disposar de la informació que proporciona la xarxa és doble. En primer lloc, perquè els efectes directes dels llamps són considerables: pèrdua de vides humanes, incendis forestals, avaries a xarxes de producció i de

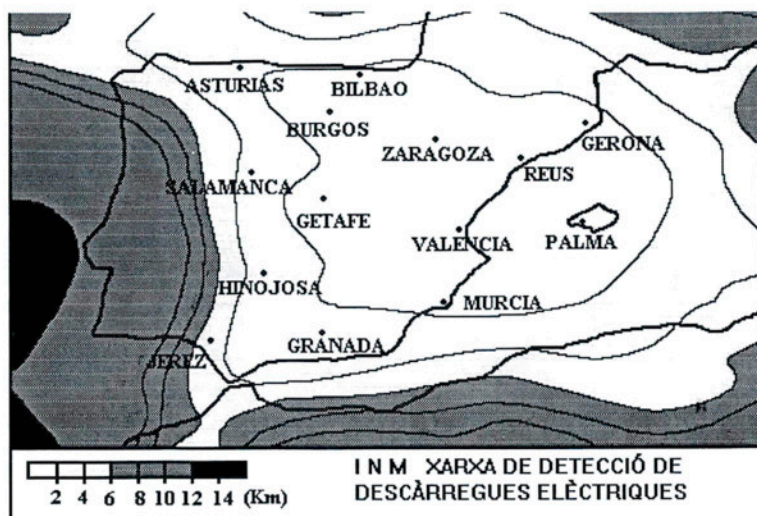


FIGURA 2. Xarxa de detecció de descàrregues elèctriques de l'INM. Ubicació dels equips detectors i precisió de la localització.

subministrament d'energia elèctrica, etc. En segon lloc, perquè permet un seguiment molt bo dels sistemes tempestuosos, des del moment que proporciona informació de la seva ubicació i evolució.

És especialment important poder conèixer les zones on es produeixen descàrregues de les dues polaritats, ja que això ofereix informació sobre l'estructura vertical del núvol de tempesta. Així, per exemple, un nombre elevat de descàrregues positives en la primera fase d'evolució de la cèl·lula tempestuosa, o una separació geogràfica entre les zones on es produeixen les primeres descàrregues positives i negatives, són indicis d'inclinació del núvol i de separació entre el corrent ascendent i el descendent, la qual cosa afavoreix l'aparició de fenòmens violents: vents forts, molta activitat elèctrica, pedregades, possibilitat d'aparició de tornados, etc.

ALTRES APLICACIONS DEL RADAR I LA XARXA DE DETECCIÓ DE DESCÀRREGUES

La utilitat primordial d'aquests dos sistemes de teledetecció és el diagnòstic de l'estat de l'atmosfera i la vigilància meteorològica.

No obstant això, una base de dades d'observació tan gran és també molt útil per a estudis climatològics o per a la investigació dels fenòmens atmosfèrics. Particularment útil és disposar de dades de l'àrea marítima propera, on la informació convencional és pràcticament nul·la.

A la figura 3, hi podem veure un exemple d'aplicació.

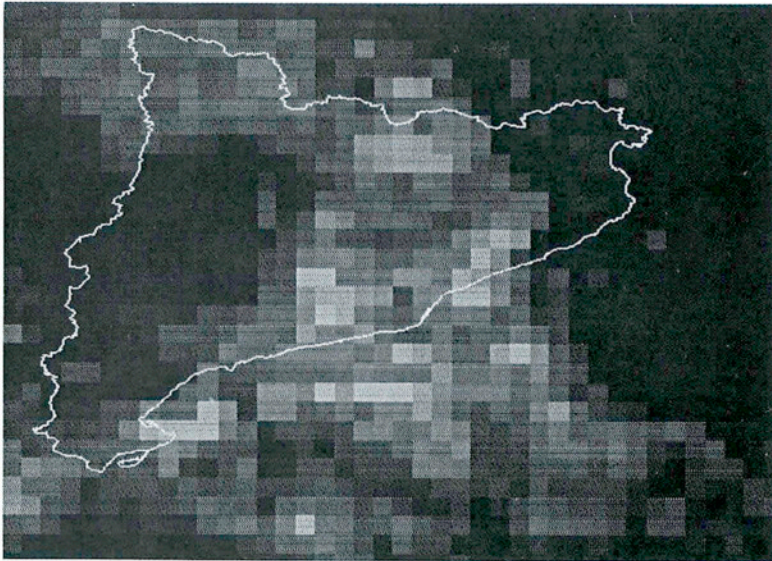


FIGURA 3. Descàrregues detectades entre el 16 de juny i el 15 de setembre de 1995. Les zones més clares corresponen a densitats de llamps més altes.

BIBLIOGRAFIA

- COLLIER, C. G. *Applications of weather radar systems*. Nova York: John Wiley and Sons, 1989.
- Servicio de Teledetección INM. Red de detección de rayos del INM. La meteorología en el mundo iberoamericano, núm. 10, Madrid, 1992.
- MARTÍN LEÓN, F.; CARRETERO PORRIS, O. «An observation of the relationship between satellite data and cloud-to-ground lightning data in a mesoscale convective system». *10th. Meteosat Scientific User's Conference*, EUMETSAT, 1994.

MASS: EL MODEL DE PREDICCIÓ DEL TEMPS DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

B. CODINA
Universitat de Barcelona

INTRODUCCIÓ

Els models de simulació atmosfèrica han esdevingut una eina essencial en la meteorologia operativa i de recerca durant els darrers vint-i-cinc anys. Avui dia, pràcticament tots els *homes del temps* basen els seus pronòstics en els mapes previstos per algun model numèric. Com que la potència computacional dels ordinadors és limitada i moltes qüestions de la física atmosfèrica no estan encara resoltes, existeixen diverses maneres d'afrontar el problema de la simulació, i això fa que s'hagin formulat molts models numèrics per tractar gran varietat de problemes.

En un extrem de l'espectre hi ha els models de circulació general, que comprenen tot un hemisferi, i que permeten investigar l'evolució a gran escala i a llarg termini de l'atmosfera. A fi d'optimitzar els recursos de computació, la seva resolució espacial és molt grollera i, per tant, han d'incloure parametritzacions de multitud de processos que tenen lloc a escales més petites. Com que els efectes de les escales més petites sobre les escales més grans són difícils d'estimar, la incertesa d'aquests models és molt gran.

En un altre extrem, hi trobem els models d'alta resolució o d'escala de núvol que permeten simular la morfologia i l'evolució de les tempestes. Amb la tecnologia computacional actual aquests models només es poden utilitzar en àrees molt limitades i, en general, no serveixen per fer prediccions en temps real.

Entre aquests dos extrems se situen els models d'escala sinòptica i els de mesoscala. Els primers més a prop dels de circulació general pel que fa al seu abast, i els segons pròxims als d'alta resolució pel detall en les parametritzacions. És probable que el lector estigui familiaritzat amb els models d'escala sinòptica, perquè són els que habitualment fan servir els homes del temps per confeccionar els seus pronòstics. En canvi, no són usuals els models de mesoscala que, tot just ara, es comencen a utilitzar rutinàriament en alguns serveis meteorològics.

El Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona posseeix un model de mesoscala que, en l'actualitat, funciona experimentalment, però que, en un futur proper, està previst utilitzar-lo per fer prediccions en temps real més acurades que les actuals, sovint basades en els models d'escala sinòptica que es fan córrer diàriament a molts centres meteorològics europeus.

MODELS DE MESOSCALA

És difícil donar una definició precisa de model de mesoscala. Fa uns quants anys, qualsevol model que tingués una resolució inferior a la dels models operatius era considerat de mesoscala. Així, per exemple, un model que treballés amb resolucions inferiors als 100 km ja tenia aquesta consideració, tot i que, segons la classificació d'Orlanski, aquests models només serien capaços de simular la circulació a escala meso- α .

A mesura que els ordinadors van esdevenir més potents, els científics van anar creant models més sofisticats. Avui dia, com que les resolucions dels models operatius arriben als 80 km, l'objectiu dels models de mesoscala ha passat a ser la meso- β , és a dir, entre els 10 i els 50 km.

Les coses s'han complicat recentment perquè alguns investigadors han començat a fer models a escala de núvol integrats en models d'escala més gran: una mena de models *niuats* o multiescala. Això fa que sigui impossible establir una definició rigorosa de model de mesoscala.

Malgrat que les simulacions a aquests nivells de resolució han experimentat un progrés substancial en els darrers temps, encara persisteixen nombroses àrees problemàtiques que cal afrontar:

1. La dificultat de parametritzar la convecció humida que té lloc a escales inferiors a la de la simulació.
2. La parametrització de la capa fronterera, on es troben arrelats molts núvols convectius.
3. La representació dels processos superficials, especialment els fluxos d'humitat entre el sòl i l'atmosfera.
4. La simulació dels núvols i la seva interacció amb els processos radiatius.
5. La disponibilitat de prou dades per representar els trets bàsics de la circulació mesoscalar a l'inici de la simulació. Tanmateix, la manca de dades inicials tampoc és un problema tan greu. Tot i que generalment s'inicialitzen les simulacions de mesoscala amb les mateixes dades meteorològiques que els models d'escala sinòptica la potència dels models de mesoscala és conseqüència d'una descripció més acurada dels processos que governen la circulació atmosfèrica a aquest nivell. De fet, el seu èxit rau en el fet que una quantitat important dels trets de la mesoscala són deguts a la interacció entre els trets grollers de l'escala resolta per les estacions de la xarxa sinòptica i l'efecte produït per l'escalfament diferencial a nivell de superfície: per exemple, les fronteres terra/aigua, la topografia, etc., que són constants en el temps i perfectament representades.
6. La integració en els models de dades no tradicionals (satèl·lits, radars...).
7. La necessitat imparable d'ordinadors més potents que permetin executar models operatius sense reduir-ne la sofisticació.

EL MODEL MASS

Fruit d'un conveni de col·laboració entre la Fundació Catalana per a la Recerca, l'empresa CLABSA (Clavegueram de Barcelona, SA) i el Departament d'As-

tronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona, l'any passat es va instal·lar al Cray YMP del Centre de Supercomputació de Catalunya un model americà de predicció numèrica a mesoscala anomenat *MASS* (*Mesoscale Atmospheric Simulation System* o *Sistema de Simulació Atmosfèrica de Mesoscala*).

Es tracta d'un model hidrostàtic en equacions primitives, amb una resolució compresa entre els 10 i els 100 km en l'horitzontal i de 20 a 40 nivells en la vertical, que inclou la parametrització dels processos en la capa límit planetària del balanç radiatiu en ona curta i llarga i dels efectes de la convecció a escala inferior a la que corre el model. Per als més versats en la matèria, la taula següent inclou un resum més detallat de les característiques del model:

Mètodes numèrics
• Equacions primitives tridimensionals per a les components horitzontals de la velocitat del vent, la temperatura, la pressió a la superfície i la concentració de vapor d'aigua i gel en els núvols i en la precipitació • Aproximació hidrostàtica • Coordenada vertical σ, seguint el terreny • Graella tipus Arakawa sobre una projecció estereogràfica • Diferenciació espacial de quart ordre • Esquema endavant-endarrere per als models inercials • Esquema Adams-Bashforth per als termes advection • Capa superior absorbent per esmorteir les ones verticals • Assimilació dinàmica de dades de diverses fonts
Física de la capa fronterera planetària
• Parametrització Blackadar d'alta resolució • Balanços detallats d'energia i d'humitat amb un esquema hidrològic de tres capes • Ús de bases de dades d'alta resolució per definir les característiques superficials: albedo, índex de vegetació...
Física de l'aire humit
• Equacions de pronòstic per a aigua i gel, tant en els núvols com en la precipitació • Esquema simplificat de la microfísica de núvols • Tres tipus de parametritzacions de la convecció humida: Kuo-Anthes, Kuo modificat i Fritsch-Chappel
Radiació
• Parametrització de la radiació d'ona curta i llarga en el balanç d'energia superficial i en l'atmosfera lliure. S'inclou la interacció amb els núvols i la precipitació

Una altra propietat interessant del model és que pot funcionar niuat; és a dir, els resultats obtinguts en una simulació a escala més gran es poden utilitzar tot seguit per efectuar una simulació a escala més petita.

El *MASS*, a més de contenir la formulació per simular el component de l'atmosfera una vegada fixat el seu estat inicial, també inclou un mòdul especial per representar correctament l'estat inicial de l'atmosfera a partir de dades meteorològiques brutes.

EXECUCIÓ D'UNA SIMULACIÓ

Tot seguit es resumeixen els passos que se segueixen per desenvolupar una simulació amb el model MASS:

1. Es discretitza la regió on s'efectuarà la simulació, en forma de xarxa o graella tridimensional. A les interseccions de la base de la graella, se'ls assigna, per interpolació, un valor determinat de les propietats superficials (altitud sobre el nivell del mar, índex de vegetació, ús del sòl, temperatura mitjana de l'aigua del mar, etc.). Aquest procés dura uns 10 segons en el Cray del Centre de Supercomputació de Catalunya, i només s'ha de fer una vegada cada quinze dies.
2. Es normalitzen les observacions meteorològiques. Les dades per inicialitzar el model provenen de la xarxa sinòptica internacional i de les estacions de radiosondatge. Cal depurar aquestes dades brutes i posar-les en uns fitxers normalitzats abans de poder-les utilitzar. En un Cray això dura aproximadament uns 40 segons.
3. S'assignen valors de les variables meteorològiques (temperatura, pressió, humitat i vent) a cada punt de la xarxa tridimensional. Com que això es fa pel mètode de la interpolació òptima, cal disposar, prèviament, d'estimacions d'aquestes dades a cada punt d'aquesta xarxa. Aquestes estimacions s'obtenen a partir de la sortida numèrica d'algun model d'escala més gran, com el model hemisfèric americà, o els pronòstics a mig termini del centre europeu de predicció del temps. La durada d'aquest procés és d'uns 4 minuts.
4. S'estableixen les condicions de contorn que regiran durant la simulació a partir de la sortida numèrica dels models numèrics esmentats a l'apartat anterior. Temps d'execució: 2 minuts.
5. Un cop acabat el procés d'inicialització s'executa el model pròpiament dit, que va calculant, a cada punt de la xarxa, el valor de les variables meteorològiques a intervals de temps regulars. En altres paraules, el model va calculant l'estat de l'atmosfera en funció del temps. En el nostre cas, utilitzant una xarxa de 20 nivells sobre una regió de 55 files i 55 columnes, amb una resolució de 55 km al punt central, el temps per fer una simulació de 24 hores és d'uns 80 minuts.
6. Les dades obtingudes en l'apartat anterior s'utilitzen per inicialitzar una nova simulació en una regió més petita compresa en la regió anterior: és l'anomenada *simulació niuada*. Fent servir una xarxa de 20 nivells, sobre una superfície de 55 files i 55 columnes, amb una resolució de 10 km al punt central, el temps de càlcul per a una simulació de 24 hores és de 4,5 hores. La considerable diferència entre aquesta simulació i la d'escala més gran és deguda al fet que el temps d'integració i la resolució del model no es poden prendre arbitràriament. En el nostre cas, el pas de temps és de 9 segons en la simulació a gran escala i de 15 segons en la niuada.

A les figures 1 i 2, s'hi representen les regions corresponents a les simulacions a gran escala i niuades, respectivament.

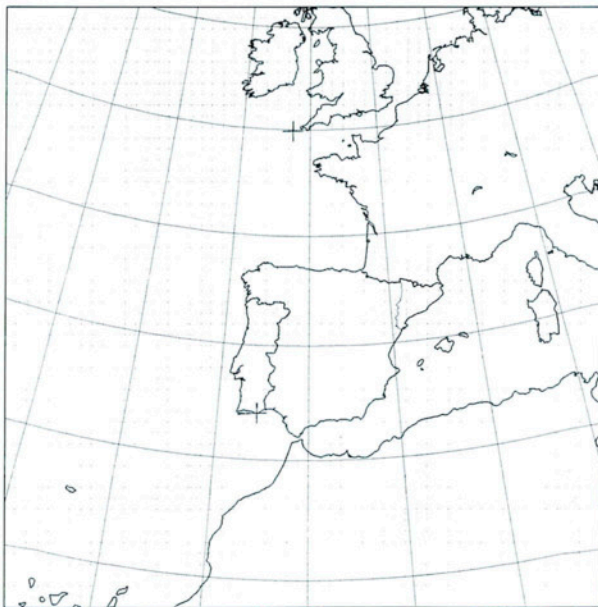


FIGURA 1. Marc geogràfic de la simulació a gran escala.

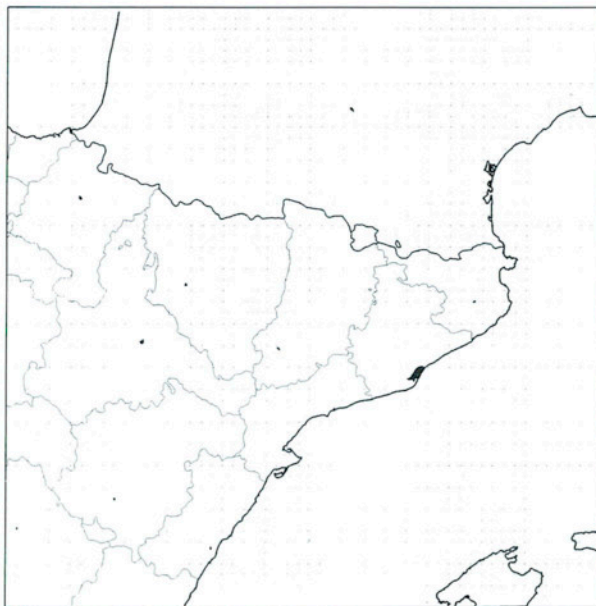


FIGURA 2. Marc geogràfic de la simulació niuada.

LES EXPECTATIVES DEL MASS

Durant el primer període de rodatge amb el MASS, s'han fet una sèrie de simulacions per avaluar-ne les capacitats predictives. A la ponència es mostraran alguns dels camps pronosticats pel model corresponents a diverses situacions meteorològiques, i es posarà en relleu l'èxit del model en la predicció dels aiguats del 10 d'octubre de 1994.

Per al proper any s'ha previst desenvolupar una campanya intensiva de simulacions diàries per acabar de confirmar la superioritat de les prediccions fetes amb el MASS, respecte als models sinòptics, a una escala més gran a la que actualment es fan les prediccions rutinàries del temps, i per estudiar la viabilitat d'utilitzar operativament el model.

Si els resultats d'aquesta campanya de simulacions són tan encoratjadors com els obtinguts fins ara, es dissenyarà un protocol per tal d'utilitzar el MASS com a eina operativa de predicció del temps a l'àmbit de Catalunya. Evidentment, això requerirà la depuració i la compactació del codi font actual del model, a fi de reduir-ne el temps d'execució i també la instauració d'algun mecanisme per alimentar el model amb dades meteorològiques brutes en temps real.

THE MODEL CHAIN OF THE DEUTSCHER WETTERDIENST AND ITS USE IN OPERATIONAL WEATHER FORECASTING

M. KURZ

Head, Department of Weather Forecasting, DWD

INTRODUCTION

According to law the Deutscher Wetterdienst (DWD) has to guarantee the meteorological safety of air and sea navigation. The DWD has also to provide forecast information for a wide variety of users including the public, private enterprises and media. These tasks are carried out in the business area «Forecast customers and media» of the new organizational structure of the DWD.

Within the international collaboration of the National Meteorological and Hydrological Services (NMHS's) organized by the World Meteorological Organization (WMO), the DWD runs one of the Regional Specialized Meteorological Centres (RSMC's) of the Global Data Processing System (GDPS) of the World Weather Watch (WWW). In this function the DWD has to provide basic weather analyses and forecasts for Europe and the North Atlantic.

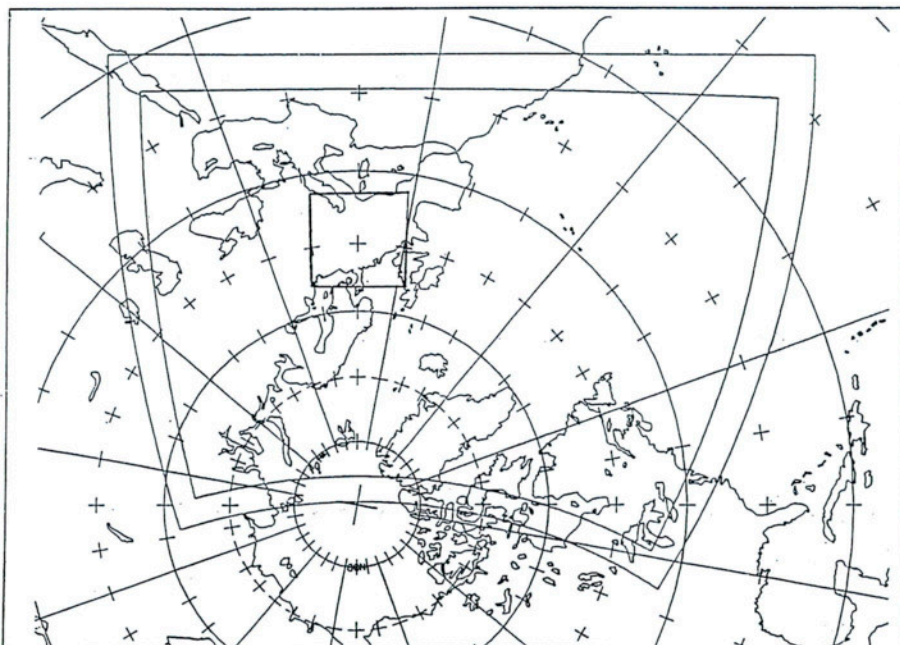
The backbone of all activities of the DWD in weather forecasting is a chain of Numerical Weather Prediction (NWP)-models providing analyses as well as forecasts up to seven days ahead. In this paper this model chain and its use in operational forecasting is described.

THE MODEL CHAIN

The model chain of the DWD consists of three NWP models, namely

- a global model (GM),
- a limited area model covering Europe and the North Atlantic (called «Europa-Modell», EM), and
- a high resolution model covering Germany and the neighbouring countries (called «Deutschland-Modell», DM).

The global model (GM) has been derived from a similar model of the European Centre for Medium Range Weather Forecasting (ECMWF). It is a spectral model with triangular truncation at wavenumber 106. That roughly corresponds to a horizontal grid size of 200 km in mid latitudes. In the vertical the GM has 19 levels. It runs twice a day up to 168 h starting from the analyses for 00 and 12 UTC. Its main purpose is to provide boundary values for the EM. The forecasts beyond 78 hours are calculated in order to support medium-range forecasting.



Domain of the «Europa-Modell» (EM) including the boundary zone and the domain of the «Deutschland-Modell» (DM)

The «Europa-Modell» (EM) is the main weather forecast model of the DWD. It is a grid point model with a mesh of 181×129 grid points (mesh size 0.5°) in rotated spherical coordinates (see fig.). The rotated north pole has the geographical coordinates $\lambda = 170^\circ$ W and $\varphi = 32.5^\circ$ N. In this coordinate system, the domain extends from $\varphi' = 32^\circ$ S to 32° N where the convergence of the meridians is still small. Thus, the true distance between grid points in W-E-direction varies only between 55.6 km in the center of the domain and 47.1 km at the edges; in N-S-direction, the distance is 55.6 km.

In the vertical, the model atmosphere is resolved by 20 layers of upward increasing thickness. Eight layers are used in the lowest 2 km of the atmosphere to reproduce the structure of the boundary layer sufficiently well; four layers are placed in the stratosphere.

EM is based on the primitive equations in a terrain-following hybrid coordinate system. The prognostic variables are

- surface pressure p_s
- horizontal wind components (u, v)
- total heat $h = c_p T + Lq_v$, defined as the sum of enthalpy and latent heat of condensation,
- total water content $q_w = q_v + q_c$, which is the sum of the specific contents of water vapour q_v and cloud water q_c .

Assuming water saturation in clouds, the three variables temperature T , water vapor content q_v and cloud water content q_c can be determined diagnostically from the prognostic variables h and q_w distinguishing between cloud and no-cloud-areas. The vertical velocity in the pressure system ω is used as further diagnostic quantity. The geopotential (ϕ) of the pressure surfaces is derived with aid of the hydrostatic equation.

The processes of horizontal diffusion, grid-scale precipitation, moist convection, cloudiness and radiation, and the vertical turbulent fluxes are physically parameterized by using appropriate numerical schemes. A soil model predicts the temporal evolution of temperature and water content at the surface for land points whereas for sea points the sea surface temperature is kept constant during the forecast.

The «Deutschland-Modell» (DM) has the same physical design and the same vertical grid structure as the EM, but with a mesh size of $0.125^\circ \sim 14$ km it has a much higher horizontal resolution. It has its own analysis scheme for which the EM provides the boundary values.

78 h-EM forecasts are produced twice a day for 00 and 12 UTC with a cut-off time of 3 h 30 min and a time step of 5 min. The boundary data for these forecasts are provided at 3 h intervals by a GM run from the same initial data. GM and EM share the four processors of a CRAY Y-MP-Supercomputer during the operational suite, each model using 2 CPUs nominally.

The DM runs up to 48 h with the boundary data from an early run of the EM (cut-off time 2 h 14 min). The DM forecasts are available 3 h 20 min, the EM forecasts 5 h 35 min, and the GM forecasts 6 h 25 min after observation time.

According to the different horizontal resolution, there are differences in the ability of the models to simulate typical features of the weather in the mid latitudes. The GM is able to reproduce all features of the Macro- (or Synoptic-) Scale, i.e. features with a typical horizontal dimension greater than 2000 km like the moving lows and highs near surface and the baroclinic waves connected with them in upper levels. The EM additionally resolves the hyper-baroclinic frontal zones at which the depressions originate and which belong to the meso- α -Scale (200 - 2000 km). The main precipitation activity takes place at these frontal zones. The DM finally is able to reproduce some of the phenomena of the meso- β -Scale (20 - 200 km) like frontal-substructures (e.g. rain bands) and the weather features originated by the orography (foehn, enhanced precipitation, formation of lee cyclones).

For the latter the different representation of the mountains is crucial. Whereas the maximum height of the Alps is only around 1500 m in the GM, the barrier extends to a height of up to 2300 m in the EM and up to 3130 m in the DM.

OPERATIONAL USE OF THE MODEL PRODUCTS

The output of the model chain is distributed to the Central Forecasting Unit of the DWD in Offenbach and to the Regional Offices in Essen, Hamburg, Leipzig, Munich, Offenbach, Potsdam und Stuttgart. These offices are responsible for producing weather forecasts for all time scales tailored to the needs of the different users and for issuing warnings of hazardous weather. The provision of special products for the media is carried out by the Media Service Centre in Offenbach.

A subject of the output is provided via the Global Telecommunication System (GTS) of the WWW for use by the NMHS's in Europe. The main tool for the provision is at present a long-wave facsimile transmission, but it will be replaced by a satellite distribution system very soon.

The model output is used in different form. The EM provides the basic analyses and forecasts of geopotential, temperature, humidity and wind of the standard pressure levels 850, 700, 500, 300 and 200 hPa in the form of maps. The analysis of the surface maps with the isobars of the surface pressure and the fronts is still carried out manually, but model fields are used as a supporting tool. The forecast maps for surface are interactively produced at workstations, whereby the meteorologist has to insert the fronts and can change the numerically forecasted pressure field if necessary.

Other EM products are predictions of precipitation sums and of the 10 m wind. From the DM forecasts of the low cloudiness, amount and type of precipitation, type of convection and also of the 10 m winds are derived and distributed.

Another way to present the output is the production of so-called meteograms, in which the course of the meteorological parameters is indicated for grid points near special places. They can be used as a basis for local forecasts.

As an important tool in the case of nuclear or chemical accidents, analyses and forecasts of air trajectories can be produced by the EM as well as the DM.

Some special products for use in the media have been developed during the past year with aid of the EM and DM output. These are loops showing the cloud development as seen from a satellite, animations of the temperature distribution and pictograms containing weather information.

From the description of the different forms of the output, one could possibly infer that all weather forecasts could be derived directly and more or less automatically from the model products. That is, of course, not true. Although the quality of the numerical forecasts is quite high, the prognoses are not perfect and the well-trained meteorologist is needed to monitor the weather, to compare it with the numerical forecast run, to derive alternative forecasts if an error of the model becomes obvious and, finally, to produce the tailored forecasts for the different end users.

III

EL CLIMA DE CATALUNYA: PASSAT, PRESENT I FUTUR

Una altra temàtica que no podia faltar en aquestes Jornades era el clima. No en va, al voltant del doctor Fontserè es va organitzar una xarxa meteorològica que es podia considerar gairebé suficient pel que fa a la pluviometria, la qual cosa només es podia dir de molt poques parts del món. Amb els anys, aquesta xarxa va proporcionar tot un aplec de dades meteorològiques que varen servir perquè el doctor Fontserè i els seus col·laboradors publicassin nombroses monografies amb la pretensió d'estudiar el clima de Catalunya ben a la menuda. S'arribaren a publicar seixanta-nou *Notes d'Estudi* i diverses *Memòries*, que constitueixen els primers treballs sistemàtics de climatologia i meteorologia catalanes. Sota el mestratge del doctor Fontserè, moltes d'aquestes prestigioses publicacions apareixen signades per climatòlegs locals, per tal de responsabilitzar-los de la feina. El Servei portà a terme un estudi detallat dels núvols i retratà de forma regular el cel de Catalunya, situant-se en aquest terreny entre els capdavanters del món. Prova d'això, n'és la publicació en anglès, francès, alemany i català de l'*Atlas internacional dels núvols i dels estats del cel* l'any 1935. Tota la informació pluviomètrica disponible fins al 1925, una seixantena d'anys, se sintetitza en una obra *benedictina* publicada el 1930, l'*Atlas pluviomètric* de Joaquim Febrer, també conegut per atlas Patxot, el nom del mecenes. Segons el doctor Jardí, l'obra sola ja justifica els divuit anys d'existència del Servei (1921-1939).

Fontserè va introduir tota la complexitat de la dinàmica atmosfèrica en l'estudi del clima. Va dotar Catalunya de dos observatoris d'altura, al turó de l'Home i a Sant Jeroni de Montserrat. Va realitzar una campanya d'observacions simultànies en terra i en alta mar al llarg de la costa catalana. A partir del 1913 introdueix les observacions aerològiques de forma sistemàtica, amb les quals documenta profusament gran part dels seus treballs, a més de facilitar les previsions als avions. Cal destacar el treball publicat l'any 1918, *Sobre els vents estivals de convecció a la costa catalana*, la millor descripció de les brises de la costa catalana, i encara de consulta obligada. Un dels estudis més interessants és l'excel·lent monografia publicada l'any 1937 *L'anomalia tèrmica de la plana de Vic*, on esbrina per què al fons d'aquesta plana alguns dies de l'hivern més cru s'assoleixen temperatures extraordinàriament baixes. Consta que aquests freds extremats s'esdevenen les nits serenes i encalmades del pic de l'hivern per efecte de *fons de cassola*, és a dir, pel refredament de la plana per irradiació nocturna i, sobretot, drenatge catabàtic produït

pel refredament de les muntanyes veïnes que l'envolten, desmentint així la dita dels comarcans, que quan bufa aquell aïret del Pirineu el fred no es fa resistidor.

Tot i que fins als nostres dies s'han fet molts treballs, hem de reconèixer mancances en el coneixement precís però global de totes les característiques climatològiques de la nostra terra. Encara queda molt de camí per fer si volem veure fer realitat un dels somnis de Fontserè: conèixer el clima de Catalunya a la menuda.

LA DINÀMICA CLIMÀTICA A CATALUNYA DURANT ELS DARRERS SEGLES

M. BARRIENDOS

Historisches Institut. Universität Bern

INTRODUCCIÓ

La paleoclimatologia és una disciplina científica que té per objectiu estudiar el comportament del sistema climàtic pel que fa a la dimensió temporal. Un dels aspectes més interessants d'aquest tema d'estudi són els diferents àmbits temporals i espacials en els quals cal estudiar la variabilitat climàtica. Això comporta la utilització de metodologies pròpies de camps científics molt variats, amb la qual cosa esdevé una disciplina eminentment multidisciplinària.

El clima no és un element regular, i la possibilitat de conèixer amb el màxim detall la dinàmica temporal de les seves variacions pot ajudar en el coneixement del clima d'un futur proper, quan sembla que en aquesta dinàmica intervindran nous factors derivats de les activitats antròpiques. Els treballs efectuats poden proporcionar amb dades empíriques els models matemàtics encarregats de la predicció i de la quantificació d'aquest nou fenomen d'abast global.

De les diverses especialitats de la paleoclimatologia, la climatologia històrica és la responsable d'extreure, analitzar i interpretar les dades meteorològiques existents a la documentació històrica. Els testimonis, per la seva riquesa i abundància, són un material molt adient per a la reconstrucció del clima del passat més recent.

ESTAT DE LA RECERCA EN CLIMATOLOGIA HISTÒRICA

L'estat de la recerca presenta moltes diferències segons els àmbits de treball i les disponibilitats documentals. A l'àmbit de la Mediterrània, malgrat els grans patrimonis documentals conservats, no s'ha desenvolupat l'especialitat de la mateixa manera que a d'altres països europeus. En el cas concret de la península Ibèrica, només s'han fet algunes recopilacions de dades sense arribar a una interpretació climàtica directa dels seus resultats. Cal destacar una primera iniciativa del científic Manuel Rico Sinobas (Real Academia de Medicina de Madrid,

«Fenómenos meteorológicos en la Península Ibérica desde el siglo IV hasta el XIX», c. 1850, *Manuscritos*, 23-4-15). Posteriorment, s'han continuat les recopilacions, encara que de manera molt puntual (Bentabol, 1900), o amb una magna labor, com la de Josep Maria Fontana Tarrats, que recollí dades paleoclimàtiques de diferents regions naturals (Fontana Tarrats, 1976). Aquests materials s'utilitzaren en la primera síntesi del paleoclima a Espanya (Font Tullot, 1988). Però la climatologia històrica no va entrar a la recerca universitària fins després d'una primera prospecció de les seves possibilitats (Albentosa, 1981-1982), amb dues tesis doctorals molt recents per a Catalunya (Barriendos, 1994) i Andalusia (Sánchez Rodrigo, 1994) i una altra amb el tema específic de les inundacions a Mallorca (Grimalt, 1992).

Aquest estat encara inicial de la recerca a Espanya contrasta amb una tradició molt consolidada als països anglosaxons i germànics, amb quantiosos treballs de diferents característiques (Lamb, 1977 i 1982; Pfister, 1988; Grove, 1988; Bradley i Jones, 1992).

FONTS DOCUMENTALS I TIPUS D'INFORMACIÓ

La climatologia històrica es forneix de documentació històrica, tant dels originals manuscrits com d'edicions o de transcripcions d'aquesta. En el cas de Catalunya, els fons documentals més interessants són d'origen municipal, eclesiàstic o privat. En els dos primers casos, els materials més importants són els llibres d'actes o de fets memorables de les respectives institucions. En el darrer cas, els llibres de memòries o de cròniques són molt útils. Atès l'estat actual de la recerca, encara existeix la possibilitat de trobar noves fonts documentals amb dades d'interès climàtic, com per exemple, els fons monàstics.

A l'àmbit de la Mediterrània, en molt poques ocasions s'obté informació meteorològica directa, a diferència de les latituds superiors, on existeixen relacions regulars i diàries d'observacions qualitatives (Pfister, 1988). A Catalunya, sembla que el devenir diari del clima no despertava gaire interès i no calia deixar-ne testimoni. En canvi, els valors extrems en el règim hídric ofereixen abundant informació. D'una banda, les pluges intenses mitjançant les detallades descripcions dels danys ocasionats per les inundacions. A l'altre extrem, els episodis de sequera, mitjançant els diferents nivells de cerimònies de rogatives establertes amb aquest fi (Martín Vide i Barriendos, 1995).

MÈTODES

Les sèries de dades, atès el seu origen indirecte i en ocasions subjectiu, requereixen una metodologia de selecció i de tractament certament rigorosa. Es tracta d'establir uns criteris per tal que les dades tinguin una utilització òptima a efectes climàtics (Le Roy, 1967), com són la continuïtat en el temps, l'homogeneïtat dels continguts, l'annualitat de les dades i la quantificació d'aquestes.

La fiabilitat de les dades també exigeix una especial atenció, amb una acurada

crítica de les fonts utilitzades, especialment si no són les originals. Altrament, el tractament de les dades cal fer-lo amb la deguda precaució, atesa la natura de les dades originals (Alexandre, 1987).

DINÀMICA TEMPORAL OBSERVADA

Cronologia recent al clima de la zona temperada

Els darrers segles ofereixen a l'Europa Occidental unes variacions climàtiques prou importants. A grans trets, hi ha tres episodis climàtics complets entre els segles medievals i l'edat contemporània. Aproximadament entre els segles X i XIII es desenvolupà a Europa l'anomenat *petit optimum medieval*, un episodi climàtic que representà un increment de les temperatures i de les precipitacions. Unes temperatures suaus i unes pluges abundoses i regulars feien que les activitats agràries es desenvolupessin amb facilitat. Les collites abundants i segures permeteren el creixement demogràfic i econòmic. Les proves materials d'aquesta situació són prou indicatives: a Anglaterra es produïa vi i existien cirerers al sud de l'illa, mentre que els vikings navegaven contactant Escandinàvia amb florents poblacions d'Islàndia i de Groenlàndia.

Els segles XIV, XV i XVI presenten una certa variabilitat climàtica. És a dir, una manca de definició interrompuda amb llargs períodes de temps amb un clima força confortable, com la primera meitat del segle XVI.

A la darrera del segle XVI i fins a mitjan del segle XIX es produí un episodi climàtic definit com miniglaciació (*Little Ice Age*). Aquests tipus d'episodis s'han identificat en d'altres moments de la història climàtica. La miniglaciació representà, probablement, un descens d'1 °C a la temperatura mitjana anual del planeta. Les repercussions d'aquest descens es van manifestar en un increment de la variabilitat climàtica, amb la freqüent presència de fenòmens meteorològics extrems: sequeres prolongades, inundacions, grans onades de fred. L'episodi de fred més intens identificat en la miniglaciació correspon a unes dècades que coincideixen amb un mínim d'activitat solar, el mínim Maunder (1675-1715).

El clima a Catalunya

La dinàmica climàtica identificada a Catalunya mostra uns trets molt característics. En principi, els elements indicatius de les variacions climàtiques tenien un comportament relativament uniforme amb uns valors propers a les mitjanes respectives. El més característic dins d'aquesta regularitat és l'aparició de tres pulsacions climàtiques.

En primer lloc, s'identifiquen dues pulsacions de característiques idèntiques, consistents en un increment de les precipitacions intenses i en un descens notable en la freqüència d'aparició de les sequeres. La durada d'aquestes pulsacions és aproximadament d'uns trenta a quaranta anys: la primera entre el 1580 i el 1620 i la darrera entre el 1830 i el 1860. Les informacions contingudes en les sèries

climàtiques es complementen amb d'altres testimonis qualitatius, relatius a un increment de les pluges i de les onades de fred (Barriendos, 1994). Un altre tret característic d'aquestes pulsacions és el lleuger retard en l'increment de les inundacions respecte al descens de les sequeres, com si respongués a un mecanisme rígid (Barriendos i Martín Vide, 1994). Aquestes dues pulsacions coincideixen en el temps amb els inicis i l'acabament de la miniglaciació al continent europeu, almenys el seu període més marcat. Això permet afirmar que l'episodi climàtic que representà un empitjorament generalitzat només es manifestà a Catalunya en els extrems de la seva durada total, mentre que altres variacions internes, com el mateix mínim Maunder, resten molt poc definides en les sèries climàtiques catalanes.

En segon lloc, es detecta una pulsació a la darrereria del segle XVIII, caracteritzada per un increment simultani de les sequeres i de les inundacions, amb una coincidència temporal gairebé absoluta (Barriendos i Martín Vide, 1994). Aquest temps tan canviant arribà a fer dir a un contemporani, el baró de Maldà, que les estacions i el clima estaven fent una «mutació». L'origen d'aquesta intensa variació climàtica encara no es pot determinar, encara que coincideix en el temps amb una forta activitat volcànica que probablement arribà a alterar l'entrada de radiació solar a l'atmosfera. També és característica la presència de fortes onades de fred. Per aquestes raons, la producció agrària va experimentar greus alteracions, fins al punt de fer esclatar una sèrie de greus crisis de subsistència amb aldarulls populars com el motí d'Esquilache a Espanya (1766) o la mateixa Revolució Francesa (1789).

Processos climàtics generals

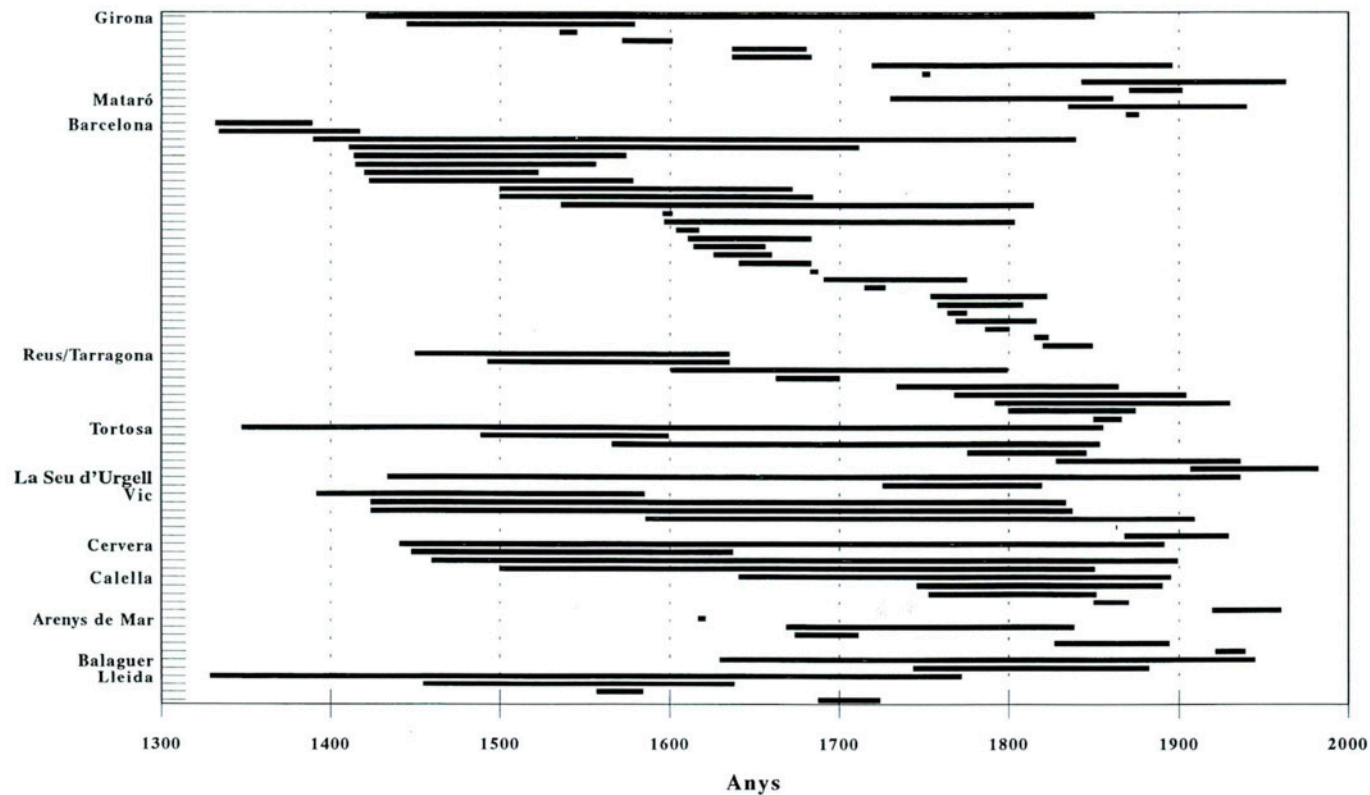
La dinàmica del clima a Catalunya presenta una aparent semblança amb la dinàmica observada en general a tot Europa. De fet, només cal comparar els progressos de les geleres de Grindelwald (Alps bernesos) amb les tres pulsacions abans esmentades per veure que veritablement existeix alguna relació (Pfister, 1988).

Els aspectes més interessants per destacar són dos: en primer lloc, el clima mediterrani sembla solidari amb la dinàmica climàtica de latituds superiors, encara que la manifesta amb uns elements diferents, fonamentalment hídrics. En segon lloc, les variacions climàtiques es manifesten de manera puntual, i no en tota la seva extensió temporal. De fet, sembla que a les nostres latituds només s'arriben a detectar els moments més intensos en les anomalies climàtiques negatives.

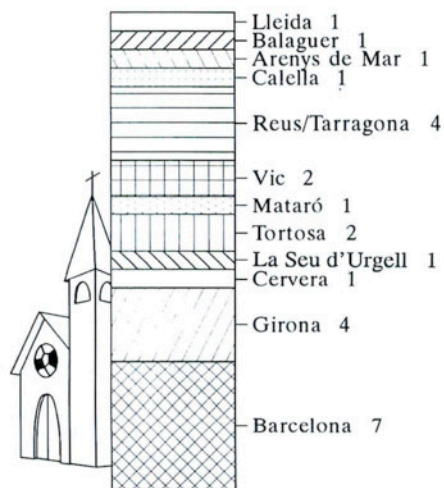
Una qüestió encara pendent de resolució és la dels mecanismes i causes de les variacions climàtiques. El primer aspecte es comença a conèixer millor: les variacions a escala plurisecular sembla que tenen en els intercanvis d'energia oceà/atmosfera, encara que d'altres factors agreugen o disminueixen els efectes inicials. Pel que fa a les causes, a més dels processos extraatmosfèrics, com el balanç radiatiu, es comença a tenir consciència que el planeta suporta una gran quantitat de processos naturals interrelacionats entre si dels quals resulten escenaris climàtics diferents. Arribar-ne al coneixement i a la valoració exacta és una tasca lenta i feixuga comptant, a més, que l'home comença a participar com un nou agent climàtic en aquests processos.

Relació completa dels períodes útils compresos per les sèries documentals amb informació contínua

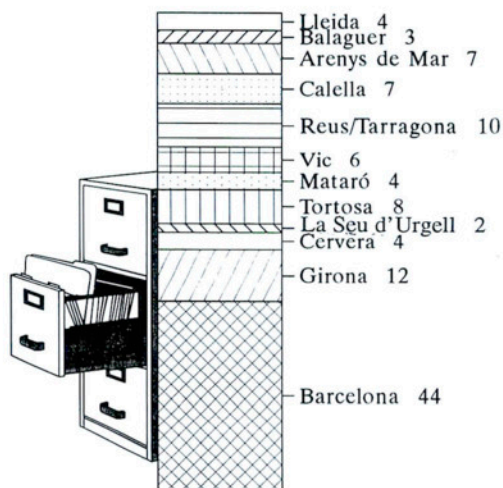
Sèries



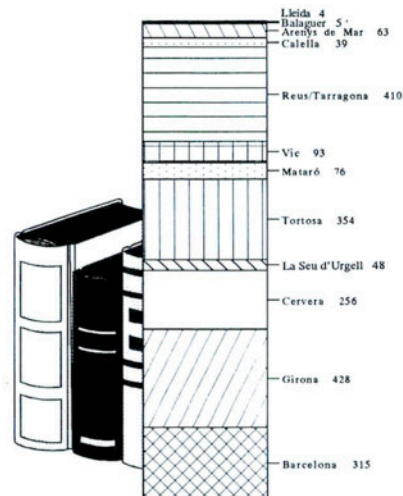
Volum total de documentació utilitzada per a l'elaboració de les sèries climàtiques definitives
(s'hi inclouen les sèries d'utilització puntual)



Arxius. Total: 26



Sèries. Total: 111



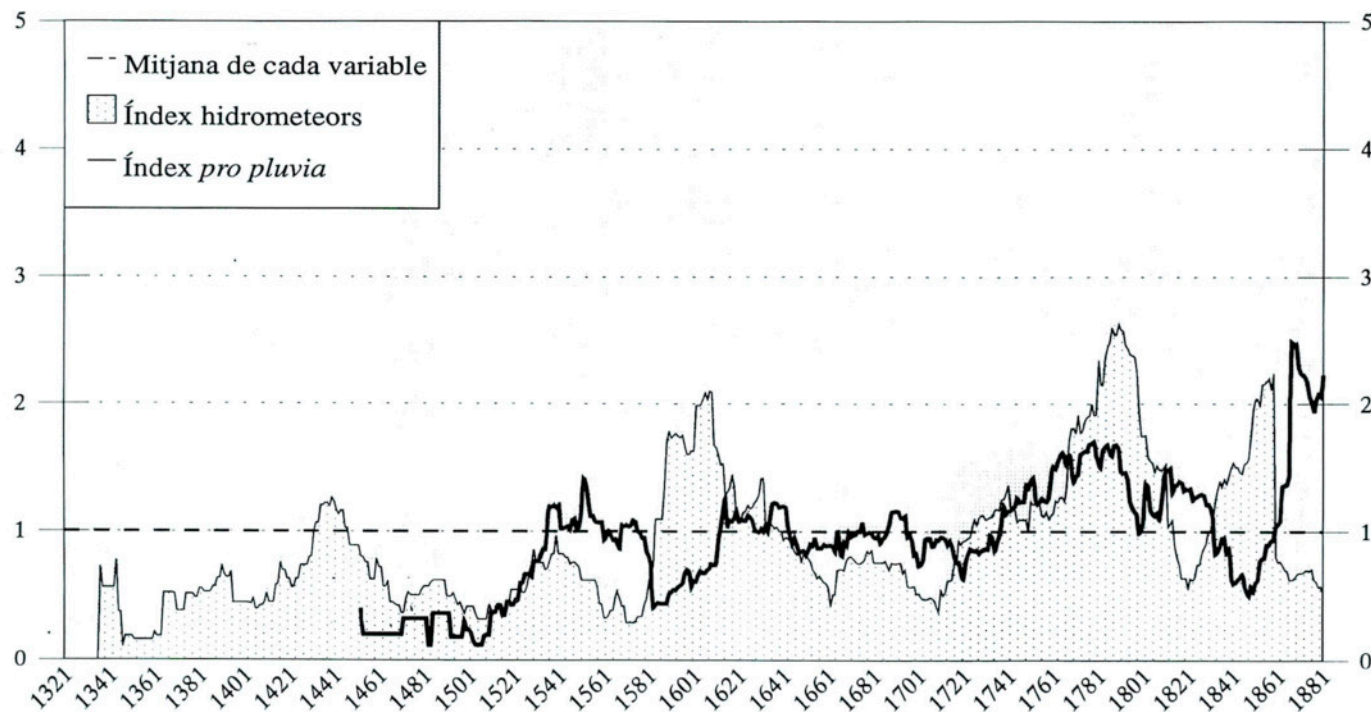
Volums. Total: 2.091

Punts d'observació

Barcelona	Girona	Cervera	La Seu d'Urgell	Tortosa	Mataró
Vic	Reus/Tarragona	Calella	Arenys de Mar	Balaguer	Lleida

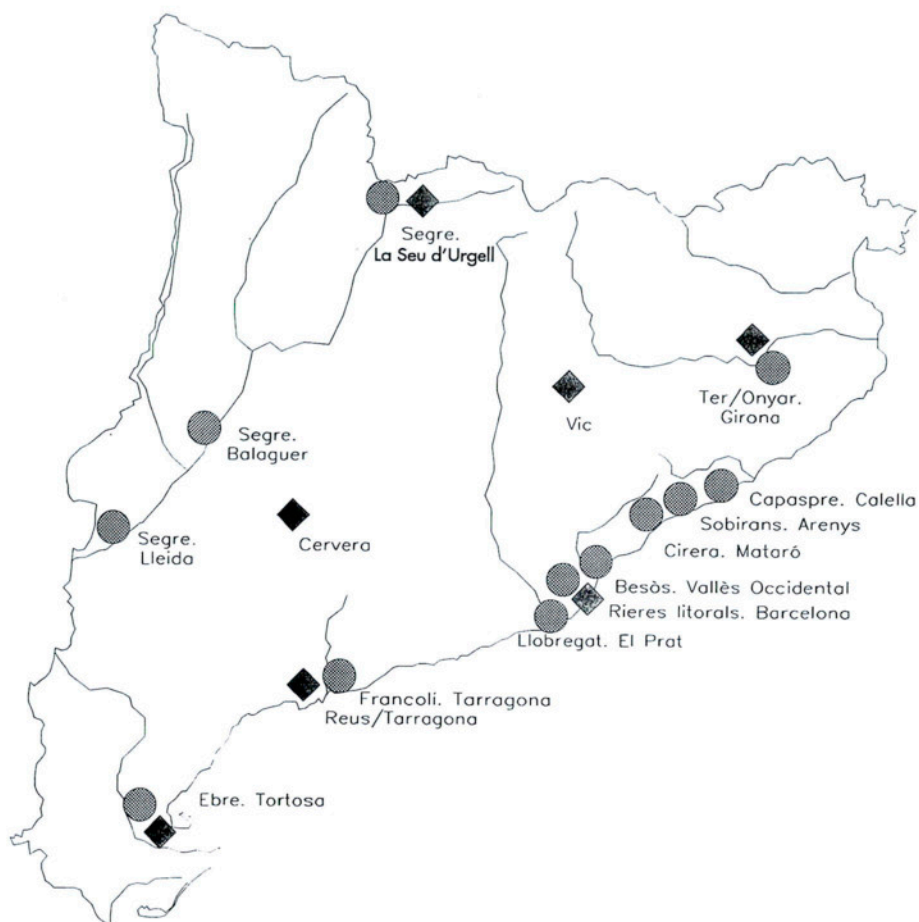
Índex de freqüència del total de punts d'observació. Rogatives pro pluvia i hidrometeors catastròfics.
(Mitjanes mòbils de trenta-un anys.) Període útil: 1583-1810

Valors relatius als índexs: 1 = mitjana de cada variable



Rogatives *pro pluvia*: s'inclouen els nivells I, II, III, IV i V (IMCS). Hidrometeors catastròfics: s'inclouen les inundacions catastròfiques i extraordinàries, rogatives *pro serenitate*, nevades i temporals de mar (IMINU i IMCNT).

Localització dels punts d'observació
utilitzats en l'estudi de la dinàmica climàtica
plurisecular a Catalunya



BIBLIOGRAFIA

- ALBENTOSA, L. M. «La importancia del conocimiento de las fluctuaciones climáticas en los estudios históricos. Aproximación al clima de Tarragona durante el siglo XVIII». *Universitas Tarraconensis* [Tarragona], vol. IV (1981-1982), p. 73-90.
- ALEXANDRE, P. *Le climat en Europe au moyen âge*. París: École des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 1987.
- BARRIENDOS, M. *El clima histórico de Catalunya. Aproximación a sus características generales (ss. XV-XIX)*. Barcelona: Universitat de Barcelona, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, 1994. [Tesi doctoral inèdita dirigida pel Dr. Javier Martín Vide].
- BARRIENDOS, M.; MARTÍN VIDE, J. «Algunos métodos cuantitativos en climatología histórica: las correlaciones lineales con desfase en el análisis de series». A: JUSTICIA, A. (dir.) *Perfiles actuales de la Geografía cuantitativa en España*. Màlaga: Universitat de Màlaga, Departament de Geografia, 1994, p. 39-48.
- BENTABOL, H. *Las aguas de España y Portugal*. Madrid: Vda. i Fills de M. Tello, 1900.
- BRADLEY, R. S.; JONES, P. D. (dir.): *Climate Since A.D. 1500*. Londres: Routledge, 1992.
- FONT TULLOT, I. *Historia del clima de España. Cambios climáticos y sus causas*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología, 1988.
- FONTANA TARRATS, J. M. *Historia del clima en Cataluña. Noticias antiguas, medievales y en especial de los siglos XV, XVI y XVII*. Madrid: 1976. [Obra inèdita mecanografiada].
- GRIMALT, M. *Geografía del risc a Mallorca. Les inundacions*. Palma: Institut d'Estudis Baleàrics, 1992.
- GROVE, J. *The Little Ice Age*. Londres: Routledge, 1988.
- LAMB, H. H. *Climate: Present, Past and Future. Fundamentals and Climate Now*. Londres: Methuen, 1977.
- *Climate: Present, Past and Future. Climate, history and the modern world*. Londres: Methuen, 1982.
- LE ROY LADURIE, E. *Histoire du climat depuis l'an mil*. París: Flammarion, 1967.
- MARTÍN VIDE, J.; BARRIENDOS, M. «The use of rogation ceremony records in climatic reconstruction: a case study from Catalonia (Spain)». *Climatic Change*. Vol. XXX, Kluwer Academic Publishers (1995), p. 201-221.
- PFISTER, Ch. *Klimageschichte der Schweiz 1525-1860*. Berna: Paul Haupt, 1988.
- SÁNCHEZ RODRIGO, F. *Cambio climático natural. La Pequeña Edad del Hielo en Andalucía. Reconstrucción del clima histórico a partir de fuentes documentales*. Universitat de Granada. Departament de Física Aplicada, 1994. [Tesi doctoral inèdita dirigida per la Dra. Yolanda Castro Díez].

LA PLUVIOMETRÍA EN CATALUÑA

J. MARTÍN VIDE
Universitat de Barcelona

Desde un enfoque climático y geográfico, la precipitación en Cataluña presenta unos caracteres singulares tanto por su variedad espacial, como por su irregularidad y variabilidad temporales, teniendo en consideración la modesta superficie del territorio. Las implicaciones ecológicas y económicas de esas características son, en consecuencia, diversas y complejas y convierten a la precipitación en un recurso hídrico que exige un cuidadoso control y una buena gestión. Climáticamente, la pluviometría catalana queda bien definida, en una visión global, por diez características, que, por otra parte, salvando las diferencias de escala, pueden también atribuirse a la pluviometría ibérica en conjunto. Estas características definidoras son: 1) cantidades modestas, 2) elevadas variabilidad y disparidad, 3) gran irregularidad diaria, 4) alta intensidad diaria y horaria, 5) existencia de períodos secos prolongados, 6) problemas de aridez, 7) regímenes estacionales muy contrastados, 8) mal reparto estacional, 9) anomalías anuales de distinto signo entre comarcas, y 10) complejo mapa pluviométrico.

CANTIDADES MODESTAS

Acorde con la franja mediterránea que ocupa, a excepción del valle de Arán, la pluviometría catalana presenta, en conjunto, valores modestos. Aproximadamente, el 60 % del territorio recibe menos de 700 mm anuales e, incluso, en un pequeño sector no se alcanzan los 400 mm. Llama la atención, de todos modos, el amplio rango de variación entre el sector más seco, un triángulo en el extremo occidental de la Depresión Central Catalana, con cantidades comprendidas entre 350 y 400 mm, y los sectores más lluviosos, localizados en el Pirineo (Cabdella, la Molina, etc.), con valores algo superiores a 1.250 mm. Esta última cantidad queda, no obstante, por debajo de las que se reciben en áreas del Pirineo aragonés y del navarro.

ELEVADAS VARIABILIDAD Y DISPARIDAD

También en correspondencia con la pertenencia al mundo subtropical mediterráneo, la variabilidad pluviométrica interanual en Cataluña es alta, lo que con-

lleva la aparición de años muy contrastados, secos unos, totalizando cantidades pequeñas en comparación con los promedios ya de por sí modestos, y relativamente lluviosos otros. Exceptuando el valle de Arán, con claras influencias atlánticas, el coeficiente de variación anual presenta valores superiores al 20 % en casi todo el país, e, incluso, mayores del 40 % cerca del delta del Ebro (figura 1). Si, además, se tiene en cuenta el orden cronológico de aparición de los totales pluviométricos, la disparidad de valores entre unos años y los consecutivos es muy notoria. Así, por ejemplo, no es raro que el año más lluvioso preceda o siga a uno de los más secos. En conjunto, la variabilidad y la disparidad aumentan de noroeste a sudeste.



FIGURA 1. (BURGUEÑO, 1989.)

GRAN IRREGULARIDAD DIARIA

Las cantidades diarias resultan muy dispares en la Cataluña más próxima al Mediterráneo y en las comarcas más secas, en el sentido de que unos pocos días lluviosos totalizan un alto porcentaje de la cantidad total de precipitación. El carácter de un año —seco o lluvioso— puede cambiar radicalmente con la ocurrencia o no de esos días con tanto peso pluviométrico. Como referencia, en Barcelona sólo el 25 % de los días más lluviosos aporta más del 70 % de la precipitación anual. El *input* pluviométrico presenta, pues, una alta sensibilidad ante las pequeñas anomalías en la circulación atmosférica, que pueden favorecer o no la aparición de esos días singulares.

ALTA INTENSIDAD DIARIA Y HORARIA

La lluvia mansa y continua no es muy frecuente en buena parte de Cataluña. En su lugar, chubascos y aguaceros intensos, que precipitan en pocas horas, y, a veces, hasta en sólo unos minutos, cantidades que en la Europa atlántica caen en varios días seguidos, resultan por contra característicos. Son muy numerosos los observatorios catalanes que en un mes presentan alguna cantidad diaria superior a 100 mm. En un amplia área catalana, prelitoral y litoral, ese valor presenta un período de retorno de tan sólo 10 años. Hay algún registro en 24 horas mayor de 400 mm (Alforja, 10 de octubre de 1994), que, no obstante, queda lejos de los máximos de España (más de 800 mm en el País Valenciano). La intensidad pluviométrica horaria es aun más aparatosa, con la caída de auténticos diluvios en pocas horas o en pocos minutos. En muchos lugares las cantidades máximas esperadas en una hora para un período de retorno de 10 años rebasan los 60 mm. En Barcelona las intensidades instantáneas superan el umbral de 1 mm/min en algún momento durante unos 10 chubascos al año. Hay incluso algunos registros pluviográficos que marcan intensidades instantáneas superiores a los 5 mm/min. Todos estos datos revelan con claridad el carácter predominantemente convectivo y torrencial de la precipitación en Cataluña.

EXISTENCIA DE PERÍODOS SECOS PROLONGADOS

Si se totalizan en general cantidades de precipitación modestas y caen muy concentradas en el tiempo, forzosamente han de darse pausas sin lluvia largas. En efecto, las sequías o los períodos secos prolongados son bien conocidos en gran parte de las comarcas catalanas. El incremento en los consumos de agua ha hecho que en los últimos tiempos la sequía –no ya la estrictamente pluviométrica– haya estado de actualidad permanente en una u otra comarca. La duración media esperada de las secuencias de días secos (sin precipitación apreciable), calculada mediante un modelo markoviano, supera los 7 días en Tarragona. Aunque los períodos secos más largos se producen en verano, incluso en primavera se han dado rachas secas de más de un mes de duración en numerosas comarcas.

PROBLEMAS DE ARIDEZ

La aridez, como déficit hídrico permanente o diferencia negativa entre la precipitación y la evapotranspiración potencial, marca la pluviometría catalana, con mayor o menor intensidad, a excepción hecha de ciertos sectores pirenaicos. Durante el largo período cálido estival los valores de la evapotranspiración potencial se disparan, contribuyendo decisivamente al déficit hídrico. Aun así, con referencia al marco ibérico, la aridez en Cataluña es moderada. Sólo en las comarcas leridanas meridionales y en las tarraconenses limítrofes la aridez resulta notablemente acusada, y tiene una nítida impronta en el paisaje.

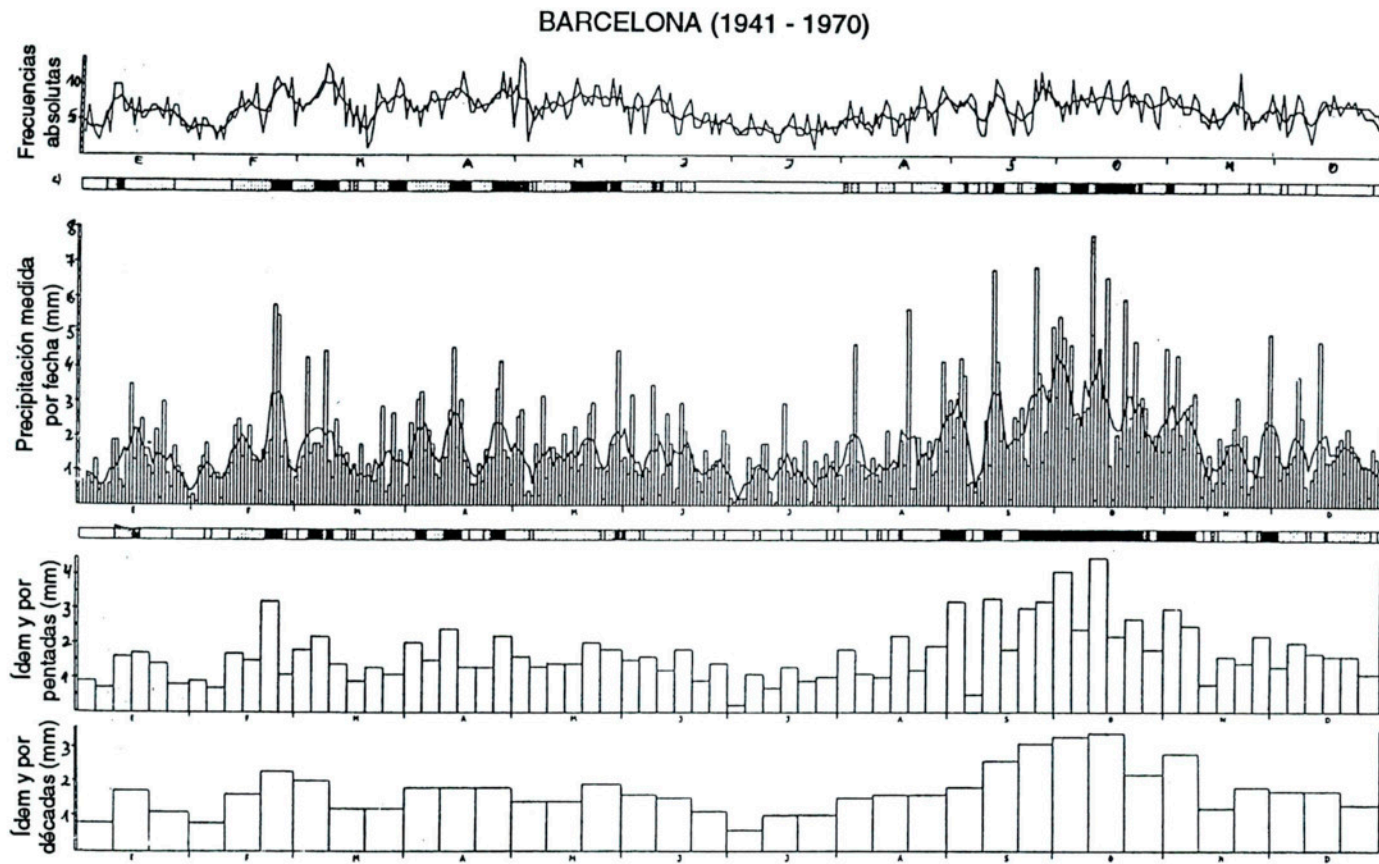


FIGURA 3. Calendarios de períodos lluviosos y secos (MARTÍN VIDE, 1987).

ANOMALÍAS ANUALES DE DISTINTO SIGNO ENTRE COMARCAS

La variedad geográfica y pluviométrica de Cataluña es tal que se llegan a dar anomalías pluviométricas de distinto signo entre diferentes áreas algunos años; esto es, que algunas comarcas presentan desviaciones positivas con respecto a los promedios, mientras que otras quedan claramente por debajo de ellos. Este hecho es llamativo si se tiene en consideración la relativa pequeñez del territorio.

COMPLEJO MAPA PLUVIOMÉTRICO

Finalmente, como colofón geográfico a los rasgos analizados, el mapa, o mapas, pluviométrico de Cataluña, sea el de los promedios anuales, estacionales o mensuales o el correspondiente a otros parámetros y características (variabilidad, intensidad, etc.), presenta una gran complejidad, en la que influye decisivamente la compartimentada disposición y la energía del relieve. Incluso a escalas pequeñas las gradaciones que puedan establecerse en cualquier dirección presentan notables excepciones. A una escala más fina ($< 1:500.000$) se dibuja un complicado rompecabezas de núcleos de isoyetas que individualizan máximos y mínimos contrastados por relación con el entorno. Estos son, en los mapas de cantidades, los denominados, con terminología propiamente geográfica, *islotes lluviosos* y *sombras pluviométricas*. Como ejemplo muy destacado de estas últimas, puede señalarse el fondo del curso alto del Noguera Pallaresa, entre Sort y Tavascan.

CONCLUSIÓN

Toda gestión de los recursos hídricos en Cataluña ha de considerar que el *input* pluviométrico es, en conjunto, modesto; interanualmente variable y dispar; irregular y torrencial en intervalos temporales diarios y menores; con períodos secos largos; inferior a la evapotranspiración potencial en amplias áreas; diverso en su reparto estacional medio y a destiempo en muchos años; a veces con signo contrario de unas comarcas a otras, y complejo en la distribución espacial.

BIBLIOGRAFÍA

- BURGUEÑO, A. «50 años de intensidad de lluvia en el observatorio Fabra». *Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. [Barcelona] XLIX, núm. 7 (1989), p. 193-211.
- BURGUEÑO, J. *Aplicacions d'un índex de disparitat consecutiva a sèries pluviomètriques*. Departament de Geografia Física i AGR, Universitat de Barcelona, 1989.
- LLASAT, M. C. *Gota fría*. Barcelona: Marcombo Boixareu, 1991.
- MARTÍN VIDE, J. *Pluges i inundacions a la Mediterrània*. Barcelona: Ketres, 1985.
- «Estacionalidad de la precipitación y mediterraneidad en el Pirineo catalán». *Notes de Geografia Física*, núm. 13-14 (1985), Departament de Geografia, Universitat de Barcelona, p. 57-65.

- *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya, 1987.
- «Caracteres cuantitativos de las precipitaciones torrenciales en el litoral mediterráneo español y sus causas sinópticas en la costa catalana». A: *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, Universitat d'Alacant, 1989, p. 117-129.
- «Características extremas de la precipitación en la España mediterránea». A: *Inundaciones y redes de drenaje urbano*. Barcelona: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, UPC, 1992, p. 23-39.
- «El clima». A: *Geografia General dels Països Catalans*, I. Barcelona: Enciclopèdia Catalana, 1992, p. 1-110.
- «Geographical factors in the pluviometry of Mediterranean Spain: drought and torrential rainfall». A: *US-Spain Workshop on Natural Hazards*, Iowa Institute of Hydraulic Research, 1994, p. 9-25.
- MARTÍN VIDE, J.; RASO, J. M.; CLAVERO, P. «Las precipitaciones probables de octubre en Cataluña». A: *Avances sobre la investigación en Bioclimatología*. Madrid: CSIC, 1988, p. 97-109.
- MARTÍN VIDE, J.; RASO, J. M.; CLAVERO, P. *Atlas termopluviomètric de Catalunya*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya. [En premsa]
- REDAÑO, A. «Estructura fina de las lluvias intensas en Barcelona». *Memoria de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*. [Barcelona] XLIX, núm. 7 (1989), p. 213-238.

OZÓ I CLIMA: REPERCUSSIONS DELS CANVIS ANTROPOGÈNICS DE CONCENTRACIÓ DE L'OZÓ

J. LORENTE

Universitat de Barcelona

INTRODUCCIÓ

Malgrat la seva petita concentració a l'atmosfera, inferior en valor mitjà a 1 ppmv, l'ozó (O_3) és un gas molt important des del punt de vista climàtic i biològic. La seva estructura molecular fa de l'ozó un gas radiativament molt actiu, tant per a la radiació solar, on presenta moltes bandes d'absorció a l'interval ultraviolat (UV), com per a la radiació terrestre, on té diverses bandes d'absorció a l'infraroig tèrmic. Com a conseqüència, l'ozó intervé de manera important en el balanç radiatiu del sistema Terra-atmosfera, determinant en gran part l'estructura tèrmica de l'estratosfera i contribuint també en la troposfera a l'efecte d'hivernacle que protagonitzen altres gasos com el vapor d'aigua, CO_2 , els halocarburs (CFC's), els òxids de nitrogen i d'altres dels anomenats *gasos hivernacle*.

D'altra banda, l'absorció de radiació solar UV per l'ozó té un important i beneficiós efecte biològic, des del moment que impedeix que part d'aquesta radiació, principalment de l'UVC ($200 < \lambda < 290$ nm) i UVB ($290 < \lambda < 320$ nm), arribi a la superfície de la Terra. Aquesta radiació és perjudicial per als éssers vius i els pot produir diferents perjudicis a les zones exposades, tant en el cas de l'home (al qual afecta a la pell i als ulls) com en el d'animals i plantes.

Dins de la problemàtica del canvi climàtic antropogènic, i també dels canvis «naturals» de clima, l'ozó juga un paper destacable. A l'observada variació de concentració de gasos hivernacle, com el CO_2 , CFC's, NO_x , etc., cal també afegir l'observada variació de concentració de l'ozó, de tipus antropogènic i també per causes naturals. No obstant això, i a diferència d'altres gasos hivernacle com el CO_2 ben barrejats a l'aire, la influència de l'ozó en el forçament radiatiu del clima és particularment difícil d'avaluar degut a la marcada irregularitat de la seva concentració, tant segons la vertical, com pel que fa a la seva distribució geogràfica. En definitiva, i atès que el fet observat més destacat en relació amb l'ozó és la disminució de concentració a l'estratosfera, la major preocupació se centra en les repercussions biològiques d'aquest deteriorament de la capa d'ozó estratosfèrica, si bé encara és incert l'efecte climàtic global. Distingirem aquí els trets principals del forçament radiatiu del clima causat per les variacions de concentració del O_3 a l'estratosfera i a la troposfera.

EFECTES DE LA PÈRDUA D'OZÓ ESTRATOSFÈRIC

L'ozonosfera, regió de l'estratosfera compresa entre uns 15 i 50 km d'altitud, on es troba més del 90 % de l'ozó atmosfèric, experimenta un descens de la seva concentració en O_3 des de gairebé els anys setanta (OMM, 1990), i és aquesta disminució més forta durant l'hivern i la primavera. El descens més espectacular (amb reduccions en la columna total d'ozó de gairebé el 50 %) és l'observat estacionalment en l'inici de la primavera a l'estratosfera antàrtica que fou detectat per primera vegada al principi dels anys vuitanta (Farman *et al.*, 1985), i que s'ha popularitzat com el *forat de la capa d'ozó*. Aquest forat, o més bé l'aprimament del gruix de l'ozonosfera si es considerés aquesta homogènia amb un gruix equivalent a la columna d'ozó, s'ha anat eixamplant superficialment i intensificant, de manera que aquest any 1995 el fenomen va començar ja al principi del mes de setembre amb valors notablement baixos de la columna d'ozó (OMM, 1994). També a latituds molt altes de l'hemisferi nord s'han observat fortes disminucions temporals, però abraçant regions molt més petites que en el cas de l'Antàrtida. A escala global, fora de l'Antàrtida també s'ha observat la constant disminució de la columna d'ozó estratosfèric a qualsevol latitud (Stolarski *et al.*, 1991), excepte a latituds baixes, on les variacions són poc significatives. A latituds mitjanes el descens és entorn del 0,5 % anual, i de l'1 al 2 % a latituds altes, amb un descens més notable a l'hemisferi sud (Stolarski *et al.*, 1991). Aquestes disminucions de l'ozó tenen lloc predominantment entre 14 i 20 km d'altitud i s'atribueixen a causes antropogèniques: la destrucció de les molècules de O_3 pels àtoms de clor i de brom procedents del trencament de les molècules de CFC, cada cop més abundant a l'estratosfera. Aquest procés interaccionaria amb les reaccions fotoquímiques naturals de formació i de destrucció de l'ozó, i donaria com a resultat concentracions d'equilibri més baixes a l'estratosfera, juntament amb una modificació del perfil d'aquesta concentració. Altres fenòmens, com les erupcions volcàniques explosives, poden impactar també en el procés de destrucció de l'ozó i fer, així, més difícils les previsions quantitatives de l'ozó estratosfèric. No obstant això, s'espera que la proporció de CFC's a l'estratosfera augmenti durant almenys una o dues dècades.

La pèrdua d'ozó a l'estratosfera es tradueix en un forçament radiatiu negatiu entorn dels 0,1 i el 0,2 Wm^{-2} a latituds mitjanes i altes (IPCC, 1994); és a dir, que cal esperar un descens de temperatura d'aquesta capa degut a la menor absorció de la radiació solar per l'ozó. Tanmateix, el valor d'aquest forçament resulta molt dependent del canvi del perfil de concentració del O_3 , sobretot si aquest canvi és a prop de la tropopausa. Això significaria una certa compensació, estimada en el 50 %, del forçament positiu que indueix l'efecte d'hivernacle dels CFC's. Malgrat això, tot indica que l'efecte d'escalfament produït pels CFC's fou més fort durant els anys seixanta i setanta en què aquests gasos generaven forçament positiu i no havien encara fet disminuir la concentració d'ozó. L'aplicació dels models de circulació general (GCM) dona refredaments de la baixa estratosfera causats per la disminució d'ozó de 0,4 °C/dècada (Hansen *et al.*, 1993a). Els models també donen un descens de la temperatura a la baixa estratosfera de latituds tropicals, on la pèrdua d'ozó és poc significativa. Les prediccions dels models han estat corrobora-

rades per les observacions, que mostren una tendència al refredament a la baixa estratosfera (WMO, 1994), més gran a altes latituds de l'hemisferi sud, on arriba a 1 °C/dècada. Malgrat que l'increment de concentració de gasos hivernacle pot produir també un refredament de la baixa estratosfera, en retenir més radiació d'ona llarga prop de la superfície terrestre, el refredament observat és massa gran per ser atribuït a aquesta causa i sembla determinat per la pèrdua d'ozó, amb alguna incertesa en els valors quantitativs reals derivada de les altres contribucions procedents de la troposfera (vapor d'aigua, núvols, aerosols, etc.). En definitiva, la pèrdua d'ozó pot aminorar una mica, aproximadament un 15 % (Hansen *et al.*, 1993b), l'escalfament global produït pels gasos hivernacle.

CONSEQUÈNCIES DE L'AUGMENT D'OZÓ A LA TROPOSFERA

A diferència del que succeeix a l'estratosfera, l'ozó està en continu augment a la troposfera, com a conseqüència de certes reaccions entre els gasos emesos a la superfície com els hidrocarburs, òxids de nitrogen, monòxid de carboni, etc. Com a resultat d'aquest augment cal esperar un forçament radiatiu positiu, estimat en 0,02 Wm⁻² per cada ppbv d'augment de l'ozó. Això representaria un efecte entorn dels 0,6 Wm⁻² des de l'era preindustrial fins ara (IPCC, 1990). Degut al fet que els canvis d'ozó troposfèric varien molt d'unes zones a d'altres, l'escalfament produït per aquest augment seria també dependent de la regió considerada.

L'efecte net de la variació de concentració d'ozó a l'atmosfera és encara mal conegut i es pensa que el predomini en el forçament positiu o negatiu depèn de l'època considerada, tot i que és positiu des del començament de l'era industrial fins fa una dècada (WMO, 1985). Les realimentacions que determinen els diversos processos químics entre les emissions antropogèniques (incloent de manera destacada les dels avions a l'alta troposfera) compliquen encara més el problema.

EFFECTES BIOLÒGICS DE LA VARIACIÓ DE LA COLUMNA TOTAL D'OZÓ

Un altre aspecte molt important lligat a les variacions del contingut d'ozó a l'atmosfera és el dels efectes biològics que es poden derivar de la seva variació. La protecció de l'ozó davant de la radiació solar UV podria disminuir si així ho fes la columna total O₃. Gràcies a la important banda de Hartley, i en menor manera a les bandes de Huggins, la radiació UV que incideix a la superfície terrestre està desproveïda d'UVC i només té una proporció molt petita d'UVB, la qual podria augmentar amb la disminució d'ozó. Per quantificar els efectes biològics de la radiació n'hem de tenir en compte l'espectre d'acció, és a dir, l'efecte relatiu segons la longitud d'ona. En el cas de la pell humana, per exemple, el màxim poder de cremada (eritema) correspon a la radiació de 298 nm, la qual té un efecte eritemàtic 10.000 vegades superior a la radiació de 400 nm (límit de l'UV) de la mateixa potència energètica (McKinlay i Diffey, 1987). Per això és molt útil la definició d'irradiància eritemàtica (Lorente *et al.*, 1994), la qual pondera la irradiància en

un interval amb l'espectre d'acció. Per adonar-se de la protecció de l'ozó atmosfèric només cal dir que, mentre la irradiància solar eritemàtica normalitzada a 300 nm incident perpendicularment al cim de l'atmosfera és entorn dels 5 Wm^{-2} , el seu valor al nivell del mar en un dia d'estiu a latituds mitjanes no ultrapassa els $0,5 \text{ Wm}^{-2}$, la qual cosa representa una transmissivitat «eritemàtica» d'un 10 %. En canvi, per a la radiació solar total la transmissivitat en les mateixes condicions pot superar el 70 %.

Tal com s'ha indicat abans, l'escenari de variació del O_3 atmosfèric experimenta una disminució a l'estratosfera i un augment a la troposfera, de manera que, donada la gran desproporció entre les dues columnes (90 % de la total la primera i el 10 % la segona), la variació neta de la columna total és la disminució de O_3 , que es quantifica en un 0,5 % anual a latituds mitjanes. Les conseqüències serien un possible augment de la radiació solar UV incident a la superfície terrestre i també de la irradiància solar eritemàtica. La quantificació d'aquest augment és molt difícil per diverses raons, entre les quals les més importants són el paper dels núvols i les partícules aerosols en la dispersió de la radiació solar UV i l'efecte compensador de l'ozó troposfèric, més eficaç en l'atenuació de l'UV que l'estratosfèric. Encara que hi ha indicis d'augment de casos de càncer de pell en algunes regions de l'hemisferi sud, no està del tot establert un augment de la radiació solar UV a escala planetària en superfície. Per a aquests tipus d'estudis manca una xarxa de mesura d'irradiància solar espectral que validi els models numèrics.

CONCLUSIONS

La destrucció de l'ozó estratosfèric degut a l'acció dels CFC's és un problema d'abast mundial i comporta diverses conseqüències de tipus climàtic i biològic. Quant al clima global, la repercussió no està encara ben establerta, si bé sembla cert que el refredament de la baixa estratosfera és causat principalment pel descens de la concentració d'ozó. L'efecte net de forçament positiu surt en considerar l'augment de l'ozó troposfèric, entès com un contaminant secundari important de la baixa troposfera. Els efectes biològics de la disminució d'ozó són més clars i s'espera un augment de la radiació solar UVB per aquesta causa, encara no quantificat, generat per la intervenció d'altres factors (aerosols, núvols, etc.) en la transmissivitat atmosfèrica.

BIBLIOGRAFIA

- FARMAN, J. C.; GARDINER, B. G.; SHANKLIN, J. D. «Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction». *Nature*, núm. 315 (1985), p. 207-210.
- HANSEN, J. E.; LACIS, A.; RUEDY, R.; SATO, M.; WILSON, H. «How sensitive is the world's climate?». *Nat. Geog. Research and Exploration*, núm. 9 (1993), p. 142-158.
- HANSEN, J. E.; ROSSOW, W.; FUNG, I. «Long-term monitoring of global climate forcings and feedbacks». *NASA CP3234, Proceedings of workshop held at Goddard Institute for Space Studies*. Nova York: 1993b.

- IPCC-WMO Climate Change, the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press. Nova York: 1990.
- IPCC-WMO Climate Change, radiative forcing of climate change. Cambridge University Press. Nova York: 1994.
- LORENTE, J.; REDAÑO, A.; DE CABO, X. «Influence of urban aerosol on spectral solar irradiance». *J. App. Meteor.*, núm. 33 (1994), p. 406-415.
- McKINLAY, A. F.; DIFFEY, B. L. «A reference action spectrum for ultra-violet induced erythema in human skin». *Human Exposure to UV Radiation: Risks and Regulations*. Elsevier Science (1987), p. 83-87.
- OMM. *Scientific Assessment of ozone depletion 1994*. Ginebra: WMO, 1994.
- STOLARSKI, R. S.; BLOOMFIELD, P.; McPETERS, R. D.; HERMAN, J. R. «Total ozone trends deduced from Nimbus 7 TOMS data». *Geophys. Res. Lett.*, núm. 18 (1991) p. 1015-1018.

MODELOS CLIMÁTICOS Y SUS RESULTADOS. APLICACIÓN A LA REGIÓN MEDITERRÁNEA

A. LINÉS

Asociación Meteorológica Española

ANTECEDENTES

El cambio climático, y en particular el caldeoamiento global de la atmósfera, en poco tiempo ha pasado de ser un tema académico a uno de los desafíos del mundo actual. La posibilidad de un progresivo caldeoamiento terrestre no es tema de hoy; en 1827 Fourier, en un famoso trabajo, comparaba la atmósfera con un vidrio transparente que tapara una caja expuesta al Sol, con una clara alusión al efecto invernadero. En 1898 Arrhenius relacionó posibles cambios del clima con la proporción de dióxido de carbono atmosférico y en 1938 Callendar planteaba por primera vez la incidencia en el clima del consumo de combustibles fósiles y estimaba un posible aumento de las temperaturas de 0,03 °C por década. Esta formulación quedó deslucida porque entre 1940 y 1960 descendió 0,2 °C la temperatura global, tal vez por la guerra mundial y la crisis industrial subsiguiente.

El seguimiento de la proporción del dióxido de carbono a partir de 1957 en Mauna Loa y posteriormente en otras estaciones, la obsolescencia de las ideas que preconizaban un enfriamiento global, y, sobre todo, el hecho de que se observara un crecimiento anual de una a dos partes por millón y con tendencia al alza, en la proporción del dióxido de carbono, actualizaron las ideas de Callendar.

EFFECTO INVERNADERO: DUPLICACIÓN EQUIVALENTE DEL CO₂

La evidencia del efecto invernadero en la atmósfera y los datos relativos al imparable crecimiento del dióxido de carbono, sobre todo en los años setenta, preocupó seriamente a la comunidad científica internacional y se propuso evaluar los efectos en la atmósfera al alcanzarse la llamada «duplicación equivalente» del CO₂, es decir, una proporción de gases con efecto invernadero (CO₂, metano, óxidos de nitrógeno, ozono, halocarbonos, etc.) que surtiera los mismos efectos de caldeoamiento atmosférico que una proporción doble de la existente, de dióxido de carbono, en la era preindustrial.

Por entonces se ensayaron los primeros modelos climáticos con que se pretendía evaluar el impacto de los gases con efecto invernadero en las temperaturas. En los modelos unidimensionales se trataba de relacionar variables directamente mediante sencillos algoritmos, de gran imprecisión, entre otras varias razones por no poder considerarse los efectos de realimentación. Muy pronto se advierte que los modelos de circulación, tan empleados en la previsión diaria del tiempo, podrían ser de utilidad para la predicción del clima mediante adecuados mecanismos de reiteración y si en ellos se introdujeran las variables perturbadoras. Ya en los comienzos de los años ochenta se ensayaron varios modelos multibidimensionales, pero se vió que no aportaban la exactitud mínima requerida. Sólo al lograrse los modelos de circulación tridimensionales se abordó el problema de evaluar los efectos de la duplicación equivalente del dióxido de carbono. Tal cosa se hizo en la Conferencia de Villach, en 1985, y su declaración ha sido el punto de partida para los trabajos de cierto rigor científico en materia del calentamiento global atmosférico.

En la declaración final de dicha conferencia, entre otros extremos, se dijo: «Como resultado de la creciente concentración de gases con efecto invernadero, en la primera mitad del siglo próximo podrá ocurrir una elevación global de la temperatura media mayor que cualquiera otra en la historia del hombre [...] En fecha tan próxima como el año 2030 [...] con un caldeoamiento entre 1,5 °C y 4,5 °C. El efecto térmico podría ser retrasado en una o dos décadas, debido a la gran capacidad de calor por parte de las capas superiores de las masas oceánicas. El calentamiento se estima que llevaría a una elevación global del nivel del mar comprendida entre 20 y 140 cm.»

EL PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)

La creación del IPCC, a iniciativa de la OMM y del PNUMA, en 1988, impulsó notablemente los estudios sobre el cambio climático y el caldeoamiento global en particular. El IPCC presentó un primer informe en la II Conferencia Mundial del Clima, en 1990, y posteriormente en 1992 y muy recientemente, en este mismo año, ha publicado anexos que actualizan su informe inicial.

En líneas generales, no se modifican en lo esencial las conclusiones de Villach. Se cambia la metodología al hablar de escenarios en vez de fechas del siglo próximo; el escenario más simple es aquel en el que todo sigue igual que hasta ahora (BaU), y en el cual se ratifica Villach en lo relativo a temperaturas y se hace más precisa la evaluación de la subida del nivel del mar.

MODELOS CLIMÁTICOS EMPLEADOS POR EL IPCC

El IPCC señala como herramienta mejor para estudiar los cambios climáticos, los modelos de circulación general (GCM), basados en leyes físicas de la atmósfera y en la parametrización de procesos, tales como movimientos de las masas de aire, formación de la nubosidad, efectos del océano y otros varios. Los modelos se

hacen «rodar» décadas, es decir, se hace correr la variable tiempo durante períodos de años y los resultados son sintetizados estadísticamente y por otros métodos. Es importante que en el modelo refleje fielmente la interacción entre la atmósfera y el océano. En el modelo se introducen varios escenarios de emisiones de gases y de aerosoles, y se evalúa el efecto en la temperatura.

El IPCC ha confirmado el aumento medio de las temperaturas establecido en Villach para la duplicación equivalente del CO_2 , si bien hay que señalar una ligera disminución en las últimas estimaciones del IPCC. La fecha de alcanzar tal duplicación es función del escenario empleado; si las cosas siguen como hasta ahora (escenario BaU), sería hacia el 2030, y con políticas crecientemente restrictivas podría retrasarse hasta el año 2100. El incremento de la temperatura sería mucho mayor en las zonas polares que en las ecuatoriales, donde apenas alcanzaría 1°C , y notaría un mayor aumento de las mínimas que de las máximas. Este proceso que denominamos *caldeamiento asimétrico* obedece a diversas causas, tales como la nubosidad, los efectos urbanos y al hecho de que las mínimas rigurosas se producen con una delgada inversión junto al suelo, mientras que las máximas muy elevadas requieren caldear por convección un importante espesor de aire.

Un incremento en la temperatura media de la Tierra de 2°C a $1,5^\circ\text{C}$ no tendría precedente en la historia del hombre y daría lugar a importantes cambios en la circulación general atmosférica y en la distribución de las precipitaciones. Existen incertidumbres en la cuantificación de la elevación del nivel del mar; será debida sobre todo a la expansión de las aguas, más que a la fusión de hielos. Una elevación global que se aproximara a un metro, causaría enormes daños en muy extensas áreas del globo.

Son inciertos aspectos tales como el papel de las aguas profundas, la nubosidad y los volcanes, ya que los aerosoles lanzados masivamente por un intenso periodo volcánico, mitigarían el caldeamiento de la Tierra.

Los modelos climáticos se han validado por diversos métodos; aplicados a las condiciones climáticas de la era preindustrial, han confirmado las condiciones existentes en la actualidad. En el siglo presente las temperaturas medias se han incrementado unas seis décimas de grado, y aunque ello es acorde con los modelos, no hay absoluta certeza de que dicho incremento sea debido al efecto invernadero, puesto que calentamientos de ese orden pueden ser debidos a causas naturales. Sin embargo, los últimos refinamientos introducidos en los modelos climáticos dejan pocas dudas acerca de la validez de los modelos.

EFFECTOS EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA

Los modelos empleados por el IPCC todavía no tienen una resolución suficiente como para detallar los efectos a pequeña escala; a escala media hay que admitirlos con alguna reserva. En cuanto a la región mediterránea, y según recoge el Informe de España para la convección sobre el cambio climático, cabría esperar un aumento de la temperatura media anual superior a los 2°C en los dos tercios orientales de la Península, y un calentamiento en invierno de 1 a 2°C . Se prevé un

descenso de la precipitación anual tal vez en torno al 10 % y un pequeño incremento de la invernal en el noreste peninsular.

Posiblemente, en nuestras latitudes el incremento térmico origine una mayor frecuencia de episodios meteorológicos violentos y, en general, importante impacto en la agricultura, recursos hídricos, costas, energía e industria.

BIBLIOGRAFÍA

- IPCC. Cambio climático, 1990, suplemento de 1992, 1994 y 1995.
Informe de España a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (MOPU, 1994).
KONDRATYEV *et al.* *Global Climate change in the context of global ecodynamics. Geofísica Inter.* Vol. 33, 1994.
LINÉS, A. *Cambios en el sistema climático.* 1990.
LINÉS *et al.* *Efecto invernadero. Realidades y políticas frente a un posible cambio climático.* Instituto de Ingeniería, 1994.

BUTLLETÍ DE LES SOCIETATS CATALANES DE CIÈNCIES
FÍSICA, QUÍMICA, MATEMÀTIQUES I TECNOLOGIA
Volum XV. Novembre 1995. BSCMDI. ISSN: 1130-4758

TAULA

AGRAÏMENT	5
El cel de Catalunya. Discurs llegit pel doctor Eduard Fontserè i Riba a l'Ateneu Barcelonès el 20 de març de 1935	9
PRÒLEG	41
ACTE INSTITUCIONAL	
Presentació, <i>per Manel Castellet, president de l'IEC</i>	45
Eduard Fontserè i Riba, o lo que se puede llegar a hacer viviendo un siglo, <i>per Jorge Wagensberg, director del Museu de la Ciència. Fundació "la Caixa".</i>	47
Labor científica del doctor Eduard Fontserè a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts i a l'Observatori Fabra, <i>per Josep M. Codina, director de l'Observatori Fabra i del Servei Horari de l'Acadèmia</i>	49
Servei científic, investigació bàsica. Eduard Fontserè i Riba (1870-1970) i l'Institut d'Estudis Catalans, <i>per Antoni Roca i Rosell, president de la Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, filial de l'IEC</i>	53
Alguns records i algunes vivències amb el doctor Eduard Fontserè, <i>per Antoni Quintana, col·laborador del Servei de Meteorologia de Catalunya (1921-1939)</i>	59

PONÈNCIES

I. <i>Meteorologia mediterrània</i>	63
De Fontserè fins a l'actualitat, per Vicenç Sureda	65
Tramuntana y mestral en Cataluña, per Luis A. Vázquez	69
El mareògraf de l'Estartit i les seixes, per Josep Pascual.....	77
Gotes d'aire fred al Mediterrani, per M. Carme Llasat	85
Peculiaritats meteorològiques de la Mediterrània occidental, per Agustí Jansà	91
II. <i>Les prediccions meteorològiques</i>	99
El modelo HIRLAM de predicció del INM, per E. Rodríguez i J. A. García-Moya Zapata.....	101
Noves eines de diagnòstic i de predicció: radar meteorològic i xarxa de detecció de descàrregues elèctriques, per Enric Terradellas	107
MASS: el model de predicció del temps de la Universitat de Barcelona, per Bernat Codina	113
The Model Chain of the Deutscher Wetterdienst and its Use in Operational Weather Forecasting, per M. Kurz.....	119
III. <i>El clima de Catalunya: passat, present i futur</i>	123
La dinàmica climàtica a Catalunya durant els darrers segles, per Marià Barriendos	125
La pluviometria en Cataluña, per Javier Martín Vide.....	135
Ozó i clima: repercussions dels canvis antropogènics de concentració de l'ozó per Jeroni Lorente	143
Modelos climáticos y sus resultados. Aplicación en la región mediterránea, per Alberto Linés	149

PUBLICACIONS DE LES SECCIONS DE CIÈNCIES DE
L'INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS

ARXIUS SÈRIE L

	<i>Preu</i>
L-1. Lluís Cantallops i Valeri i Xavier Romaní i Bové: <i>La part alta del centre històric de Tarragona. Un aixecament de plànols de les construccions civils (1981-82, 1986-88)</i>	4.000

ARXIUS

LXXXVII. Daniel de Mas i Canals: <i>El relleu del Vallès Occidental</i>	1.500
LXXXVIII. Xavier Font i Castell: <i>Estructura, tipologia i ecologia de pastures montanes de la Cerdanya</i>	2.000
LXXXIX. Josep M. Tura, Joan Rodés i Adolf Traveria: <i>Estudi per tècniques físiques d'anàlisi (SEM, EDX, SIMS, LAMMA, XRD i XRF) de microcristalls exògens i endògens i de traces metàl·liques en patologia humana</i>	3.000
XC. Àngel M. Romo i Díez: <i>Flora i vegetació del Montsec (Pre-Pireneus catalans)</i>	6.000
XCI. Maria Victòria Vives i Balmanya: <i>Contribució al coneixement de la fauna herpetològica de Catalunya</i>	4.000
XCII. Albert Permanyer i Bastardas: <i>Sedimentologia i diagènesi dels esculls miocènics de la Conca del Penedès</i>	3.500
XCIII. Josep M. Mata i Perelló: <i>Els minerals de Catalunya</i>	3.000
XCIV. Carme Junqué i Plaja: <i>Desorganització diferencial del català i el castellà en afàsics bilingües</i>	1.500
XCV. Jordi Casal i Fàbrega: <i>Contribució a l'estudi de la leucosi bovina. Mètodes de diagnòstic i prevalença a Catalunya</i>	2.000
XCVI. Josep Maria Montaner i Martorell: <i>La modernització de l'utillatge mental de l'arquitectura a Catalunya (1714-1859)</i>	5.500
XCVII. F. Xavier de las Heras i Cisa: <i>Geoquímica orgànica de les conques lacustres fòssils</i>	3.200
XCVIII. Cèsar Blanché i Vergés: <i>Revisió biosistemàtica del gènere Delphinium L. a la Península Ibèrica i a les illes Balears</i>	3.200
XCIX. Empar Carrillo i Josep Maria Ninot: <i>Flora i vegetació de les valls d'Espot i de Boí (2 volums)</i>	6.000
CI. Enric Ballesteros i Sagarra: <i>Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i factors que influeixen en la seva distribució</i>	6.000

CII. Joaquim Sales i Cabré:	
<i>Composts organometàl·lics d'elements de transició amb grups policlorofenil.</i>	
<i>Influència dels efectes estèrics i electrònics en llur estabilitat</i>	1.600
CIII. Assumpció Malgosa Morera:	
<i>La població talaiòtica de Mallorca. Les restes humanes de l'illot des Porros</i>	
<i>(s. VI-II aC)</i>	5.000
CIV. Josep Chabàs i Bergon:	
<i>L'astronomia de Jacob ben david Bonjorn</i>	3.000
CV. Xavier Font Castell:	
<i>Estudis geobotànics sobre els prats xeròfils de l'estatge montà dels Pirineus</i>	7.000
CVI. Agustí Reventós i Tarrida.	
<i>Geometria axiomàtica</i>	1.500
CVII. Josep Pla i Carrera.	
<i>Axiomes alternatius de la teoria de conjunts i llur influència en matemàtiques</i>	2.300
CVIII. Christian Papió i Perdigó.	
<i>Ecologia del foc i regeneració en garrigues i pinedes mediterrànies</i>	3.500
CX. B. P. Sobolev i Enric Casassas (editors).	
<i>Multicomponent crystals based on heavy metal fluorides for radiations detectors</i>	3.600

MONOGRAFIES

1. Antoni Malet:	
<i>Obra d'Evariste Galois</i>	650
2. David Jou:	
<i>Termodinàmica dels processos biològics</i>	1.100
3. Lluís Garcia i Sevilla:	
<i>Anàlisi de la Psicoanàlisi</i>	800
4. I.U.P.A.C.:	
<i>Compendi de nomenclatura de Química Analítica</i>	2.500
5. Eduard Parés i Español	
<i>Vocabulari Forestal</i>	3.000
6. Universitat Catalana d'Estiu	
<i>Plasmes i Focs</i>	2.000
7. J. M. Costa i P. LL. Cabot	
<i>Glossari de corrosió</i>	2.500
8. Universitat Catalana d'Estiu	
<i>Gasos i Atmosferes</i>	2.000
9. Universitat Catalana d'Estiu	
<i>Terra i sòl</i>	2.000
10. Universitat Catalana d'Estiu	
<i>Líquids i biofluids</i>	2.000
11. Universitat Catalana d'Estiu	
<i>Els orígens</i>	2.000

Tots els nostres consocis tenen un descompte del 50% sobre el preu de venda al públic.

PUBLICACIONS DE LES SOCIETATS CATALANES DE FÍSICA,
QUÍMICA, MATEMÀTIQUES I TECNOLOGIA

Butlletí

- Volum IV (1984). Extraordinari del Cinquantenari.
Volum V (1985). Premis per a estudiants 1984.
Volum VI (1985). Núm. 1. III Trobada a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1984. Relacions entre la recerca experimental en Física i Química i la Medicina.
Volum VI (1985). Núm. 2. (1985).
Volum VII (1986). Núm. 1. Premis per a estudiants 1985.
Volum VII (1986). Núm. 2. IV Trobada a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1985. La recerca experimental en Física i Química aplicada a l'estudi i la protecció del medi.
Volum VIII (1986). Primera Trobada sobre Tecnologia, Informació i Comunicació, a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1985.
Volum IX (1987). Núm. 1. V Trobada a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1986. La recerca experimental en Física i Química en el camp de la Ciència dels Materials.
Volum IX (1987). Núm. 2. Homenatge al Professor Enric Casassas i Simó.
Volum X (1989). Núm. 1.
Volum X (1990). Núm. 2. VI Trobada a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1987. Txernòbil i el seu impacte als Països Catalans.
Volum XI (1991).
Volum XII (1991). Núm. 1. VIII Trobada a La Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1989. La ciència i la tecnologia dels residus i llur transformació.
Volum XII (1991). Núm. 2. Structure and physical properties of crystals (Proceedings of the First Seminar, 1990).
Volum XIII (1992). Núm. 1. Structure and Physical Properties of Crystals (Proceedings of the Second Seminar, 1991).
Volum XIII (1992). Núm. 2. IX i X Trobades a la Universitat Catalana d'Estiu, Prada 1990 i 1991. Ceràmiques modernes: caracterització. Ciència i Tecnologia dels sòls: caracterització i interaccions físico-químiques.
Volum XIV (1993). Núm. 1.
Volum XIV (1994). Núm. 2. XI Trobades, Prada 1992. La física i la telecomunicació.

Nota: No ha estat publicada al Butlletí la *VII Trobada* (1988) sobre *Ciència i Tecnologia dels aliments (nutrició, seguretat, tecnologia)*.

NORMES DE PUBLICACIÓ DELS TREBALLS QUE HOM PRESENTI
A LES SOCIETATS CATALANES DE
FÍSICA, QUÍMICA, MATEMÀTIQUES I TECNOLOGIA

1. Els treballs, d'alta divulgació científica, caldrà que siguin inèdits i redactats en llengua catalana. Cal presentar-los correctament mecanografiats a doble espai per una cara i en paper blanc DIN-A4. L'extensió d'aquests treballs tindrà un màxim de 20 fulls.

2. Com a regla general caldrà que els treballs siguin dividits en distintes seccions (p.e. Resum, Introducció, Experimental, Resultats, Discussió, Bibliografia, etc.). Caldrà, a més, incloure-hi un resum de 50-100 paraules en llengua anglesa, francesa o alemanya.

3. Pel que fa a les il·lustracions, fotografies i taules, cal representar-les en fulls a part. A més, les figures hauran d'ésser dibuixades sobre paper vegetal amb tinta negra, nítides i aptes per a llur reproducció directa. Cada figura ha de dur un peu i caldrà que tots els peus de les figures s'escriuin a l'ensem en un mateix full a part.

4. Cal incloure la bibliografia a la fi de l'article. Les abreviatures dels títols de les revistes han de seguir el sistema que utilitza el Chemical Abstracts. Per tal d'indicar els articles que encara hom no ha publicat, s'hi inclourà "en premsa", "tramès per a publicació", "en preparació" o bé "comunicació personal".

Hom els adreçarà a:

A l'atenció del Director de Publicacions.
SOCIETATS CATALANES DE FÍSICA,
QUÍMICA, MATEMÀTIQUES I TECNOLOGIA
Carrer del Carme, núm. 47
08001 Barcelona



