

Capítol 5. Predicció de condicions de propagació de radar meteorològic

En aquest capítol s'avalua la capacitat de predir les condicions de propagació de radar meteorològic amb diverses eines operatives. A més de les observacions de radiosondatge s'utilitza la modelització numèrica del temps, actualment l'eina bàsica de predicció meteorològica, per tal de predir a vint-i-quatre hores les condicions de propagació de microones durant un període d'uns quatre mesos. Aquests pronòstics són avaluats i comparats amb el diagnòstic obtingut a partir de radiosondatges amb diversos índexs de verificació. Els pronòstics s'han elaborat a partir de la sortida del model MASS, disponible operativament al Servei Meteorològic de Catalunya.

5.1 Modelització de la propagació i predicció numèrica del temps

L'eina fonamental que existeix actualment per a realitzar prediccions meteorològiques de forma operativa és el model numèric de predicció del temps (en anglès *NWP model*, acrònim de Numerical Weather Prediction model). A mitjans del segle passat el ràpid desenvolupament dels ordinadors va augmentar suficientment la potència de càlcul disponible per tal de predir numèricament l'estat de l'atmosfera. Des dels primers models de predicció, basats en el model barotròpic de l'atmosfera, fins als models actuals no hidrostàtics d'escala de núvol que permeten predir la dinàmica d'una cèl·lula tempestuosa hi ha hagut un gran desenvolupament. La creixent capacitat de càlcul s'ha aprofitat, entre d'altres, per incrementar la sofisticació de la representació de la capa fronterera o la convecció humida, l'assimilació de dades no convencionals o, en un altre enfoc, generar un conjunt de pronòstics diferents per tenir en compte el caràcter caòtic de l'atmosfera (Mass and Kuo, 1998).

En el terreny operatiu, dins la rutina dels serveis meteorològics o alguns centres de recerca, els pronòstics es realitzen amb models meteorològics de mesoescala. Aquests models tenen una resolució vertical d'uns 30 nivells i horitzontal d'uns 15 kilòmetres, essent aquestes resolucions decisives pels fenòmens que es pretenen predir (Salvador et al, 1999). Habitualment fan prediccions a un o dos dies segons la implementació i s'inicialitzen amb observacions meteorològiques i la sortida d'altres models numèrics d'inferior resolució. Amb aquesta finalitat sovint s'usen els models anomenats globals –perquè abasten tota la superfície

terrestre— dels grans centres de predicció mundial. Aquests models operen a inferior escala horitzontal que els models de mesoescala però a més llarg termini (de l'ordre de deu dies).

Com s'ha vist en capítols anteriors, les condicions de propagació de les microones depenen fonamentalment dels perfils verticals de pressió, temperatura i humitat. Els models numèrics de predicció representen tridimensionalment l'atmosfera amb aquestes variables i en calculen el seu estat futur. Per tant, de la mateixa forma que amb un radiosondatge es poden diagnosticar les condicions de propagació, a priori sembla que els models haurien de ser capaços de proporcionar una predicció de l'estat futur del caràcter de propagació electromagnètic.

A més, a diferència dels perfils verticals de refractivitat generats a partir dels radiosondatges, els models proporcionen informació tridimensional i aporten informació de les condicions en una certa àrea extensa. Per exemple, pel cas concret d'un radar meteorològic, és fàcil que les condicions variïn dins del rang d'observació del radar, especialment si el radar es troba en una zona costanera (Hsu, 1998; Almond and Clarke, 1983). No obstant, ja es pot avançar que diversos aspectes dels models numèrics, en particular la resolució vertical o la capacitat de pronosticar correctament els gradients de temperatura i humitat dels nivells més baixos de l'atmosfera, condicionaran l'èxit dels pronòstics.

5.1.1. El model MASS

El model MASS (*Mesoscale Atmospheric Simulation System*) fou desenvolupat originalment als EUA durant la dècada dels 80 en el marc de diversos projectes de recerca (veure per exemple Kaplan et al., 1982; Koch et al., 1985). Com d'altres models de mesoescala es tracta d'un model hidrostàtic niuat, és a dir, que s'executa primerament en un domini major per proporcionar les condicions de contorn en el domini d'interés, i posteriorment es corre el model a major resolució. A mitjans de la dècada dels 90 fou utilitzat per estudiar episodis de precipitació intensa a Catalunya com el causat per un Sistema Convectiu de Mesoescala (MCS) l'octubre de 1994 (Codina et al., 1997a).

Poc després, dins del projecte METEO'96 dut a terme entre el Departament d'Astronomia i Meteorologia de la Universitat de Barcelona i la Fundació Catalana per a la Recerca, va posar-se en marxa la seva execució operativa en el Centre de Supercomputació de

Catalunya (Codina et al, 1997b). Actualment continua usant-se per part del Servei Meteorològic de Catalunya en col·laboració amb la Universitat de Barcelona en les tasques operatives diàries i d'altres aplicacions més específiques com l'estudi d'episodis de pluges intenses (Vilaclara et al., 2000; Vilaclara et al., 2001) o el pronòstic de pedregades (Segalà et

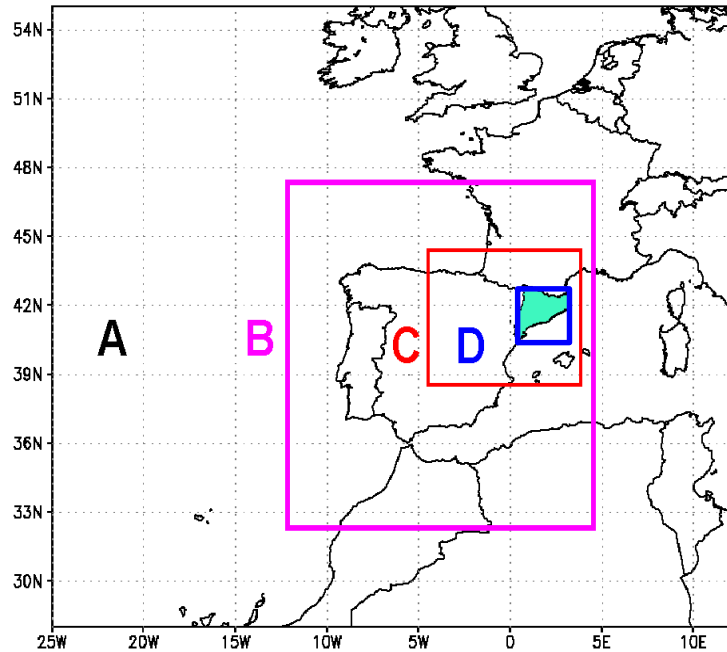


Fig. 5-1. Dominis geogràfics aproximats d'execució del model MASS segons la resolució horitzontal considerada: A) 55 km, B) 15 km, C) 8 km i D) 2 km.

al., 2002). Recentment s'han realitzat diverses proves amb versions de major resolució horitzontal, concretament a 8 km i fins i tot a 2 km, ajustant-se en cada cas el domini geogràfic d'interès (veure Figura 5-1).

En el marc del projecte DARTH, el model MASS ja fou utilitzat per pronosticar les condicions de propagació a Barcelona (Bech et al, 1998a; Bech et al, 1998b; Bech et al., 1999). En aquella ocasió va usar-se informació de l'execució del model de menor resolució per analitzar un episodi de superrefracció corresponent a les 12 Z del 18 de setembre de 1997.

Concretament es van comparar tres simulacions (a 12, 24 i 36 hores) del perfil vertical de refractivitat amb el perfil observat amb el radiosondatge pels primers 1000 m. A més, es va considerar la versió de les dades de radiosondatge de baixa resolució (format estàndar TEMP, aquí anomenat RAOB1) i la d'alta resolució del radiosondatge (anomenat RAOB2), a part de la pròpia anàlisi del model MASS feta durant la inicialització.

La Taula 5-1 mostra el nombre de capes considerades en cada cas (els diferents pronòstics i anàlisi) així com el caràcter de propagació detectat a cada capa. Queda patent que el model va preveure correctament l'existència de capes superrefractives i de conductes. No obstant, la diferència entre aquestes dues categories de propagació no sembla fer-se de forma precisa en aquest cas. Les tres tipus d'anàlisi coincideixen raonablement, mostrant l'existència de capes conductores en tots els casos. RAOB2 fins i tot mostra una capa subrefractiva, tot i que els conductes representen el caràcter dominant d'aquest perfil.

Taula 5-1. Anàlisi de condicions de propagació fet amb observacions (ANAL) i pronòstics (FOR) de les 12 Z del 18 de setembre de 1997.

	<i>Layers used</i>	<i>Sub. layers</i>	<i>Std. layers</i>	<i>Sup. Layers</i>	<i>Ducting layers</i>
<i>36 H M. FOR.</i>	7	0	4	0	2
<i>24 H. M. FOR.</i>	7	0	4	0	2
<i>12 H. M. FOR</i>	7	0	5	0	1
<i>M. ANAL.</i>	7	0	4	1	1
<i>RAOB1 ANAL.</i>	7	0	2	2	2
<i>RAOB2 ANAL.</i>	20	1	10	2	6

5.1.2. Període i dades analitzades

Amb la finalitat de provar la capacitat de predicció de les condicions de propagació radar s'han seleccionat un conjunt d'uns 4 mesos (novembre de 2002 al febrer de 2003) d'observacions i pronòstics corresponents a la zona de Barcelona per tal de generar perfils verticals de refractivitat.

Les observacions són radiosondatges d'alta resolució (obtinguts mostrejant cada 10 s) realitzats a les 00Z i a les 12Z, com els utilitzats anteriorment en aquest treball. Concretament per aquest període hi havia disponibles 216 sondatges observats.

Els pronòstics s'han obtingut a partir de la sortida del model MASS de 15 km de resolució horitzontal i 30 nivells en la vertical. El model MASS treballa en coordenades verticals del tipus sigma, on el nivell més baix correspon a l'altitud donada per la topografia

del terreny. L'altura dels següents nivells està relacionada amb la pressió en superfície, de forma que tenen altitud variable, segons les condicions de cada cas. En general hi ha uns 6 nivells en els primers 1000 m d'altura i uns 15 nivells en els primers 3000 m.

Els sondatges previstos corresponen al punt de malla més proper al punt de llançament del radiosondatge de Barcelona, i està pràcticament a la mateixa alçada: 102 m de base en el radiosondatge previst respecte els 98 m del radiosondatge observat, una diferència de 6 m que s'ha considerat negligible. Els perfils provenen de la execució del model inicialitzat a les 00Z i corresponen a les 12Z del dia en curs i a les 00Z de l'endemà. És a dir, els pronòstics per les 12Z són sempre a 12h i els corresponents a les 00Z, a 24h. En total hi havia 192 sondatges previstos pel període considerat.

Comparant els dos conjunts de dades s'obtenen 182 parelles de pronòstics amb la seva corresponent observació. Aquesta disminució respecte el nombre original de radiosondatges observats respon al fet que la pèrdua d'un dia de la sortida del model elimina dues possibles parelles de pronòstic/observació.

5.2 Pronòstics de refractivitat i el seu gradient

Com s'ha vist en el Capítol 2, la forma més habitual de caracteritzar les condicions de propagació d'un radar és a partir del gradient vertical de refractivitat de l'aire, en particular de la capa corresponent al primer kilòmetre d'altura. Igualment, en la base de dades HEPCDB (Paterson, 1987) també es considera el gradient vertical de refractivitat del primer hectòmetre.

La qüestió clau, avançada anteriorment, radica en la capacitat del model de predir correctament els valors de temperatura i humitat en les capes més baixes. La inferior resolució vertical és un clar desavantatge per pronosticar correctament els gradients de refractivitat. En general pot apreciar-se en els perfils previstos que, tot i que el valor mitjà del perfil es prediu correctament, el conducte superficial –habitual en molts casos– passa desapercebut pel model. Aquest fet s'il·lustra amb la Figura 5-2 que mostra el perfil de refractivitat modificada observat i previst corresponent a les 12Z del 13 de novembre de 2002. S'aprecia com tant la forma del perfil com el valors quantitatius previstos són molt similars als observats pel radiosondatge. No obstant el conducte superficial (el mínim de M del nivell més baix) no és predit correctament.

Per tot això, inicialment s'han calculat els pronòstics de la refractivitat superficial i els gradients dels primers 100 i 1000 m. Posteriorment també s'ha considerat un índex de conducció que té en compte la presència de capes conductores o superrefractives. Aquest índex s'ha calculat fins a 3000 m d'altura, nivell triat tenint present l'altura assolida pel feix del radar de Vallirana, amb un angle d'elevació d'antena de 0.6 graus fins un abast operatiu de 130 i 200 km en mode Doppler i no-Doppler respectivament; el centre del feix del radar de Vallirana, en condicions de propagació normal, a 200 km està a uns 3000 m d'altitud.

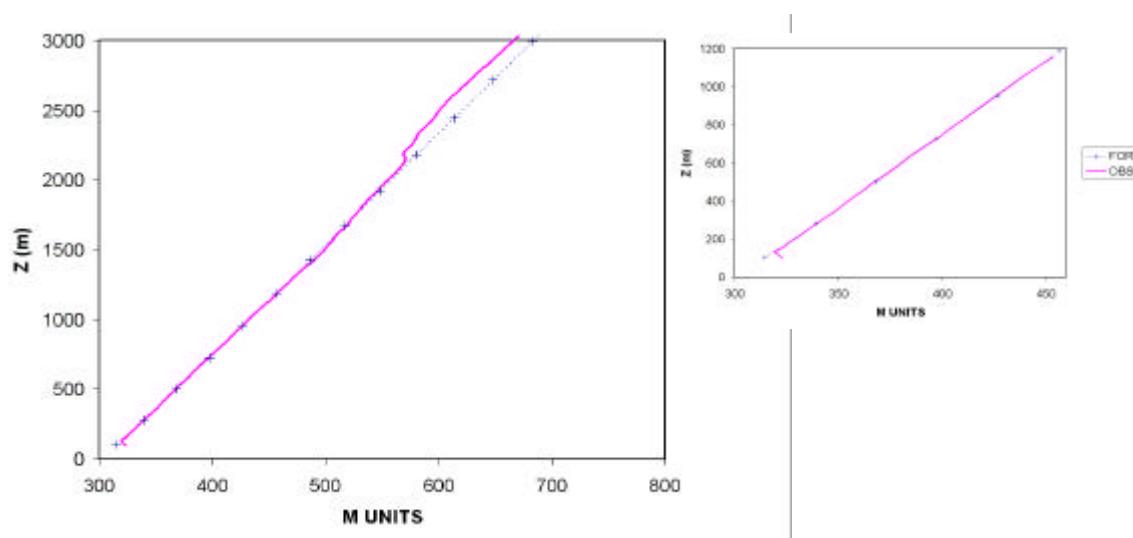


Fig. 5-2 . Perfil vertical de refractivitat modificada observat (OBS) i pronosticat (FOR) corresponent a les 12Z del 13 de novembre de 2002 pels primers 3000 i 1200 m a Barcelona.

5.2.1. Pronòstics de refractivitat superficial i el gradient del primer hectòmetre

Tal com va fer-se al Capítol 2, la refractivitat s'ha calculat amb la fórmula habitual donada per Bean i Dutton (1968). El gradient vertical dels primers 1000 m s'ha obtingut segons el procediment estàndar a partir de la refractivitat superficial i el valor interpolat a 1000 m sobre la superfície (ITU 1997), tal com es descriu a la base de dades HPCDB (Paterson, 1987).

Refractivitat Superficial

Per fer els càlculs del gradient de refractivitat lògicament cal disposar del valor de refractivitat superficial, N_s . Tenint present el comentari anterior sobre les limitacions dels

models en predir els valors superficials, ha semblat oportú analitzar amb cert detall els pronòstics de refractivitat superficial. La comparació del pronòstics i l'observació pel període temporal considerat es mostra en la figura 5-3.

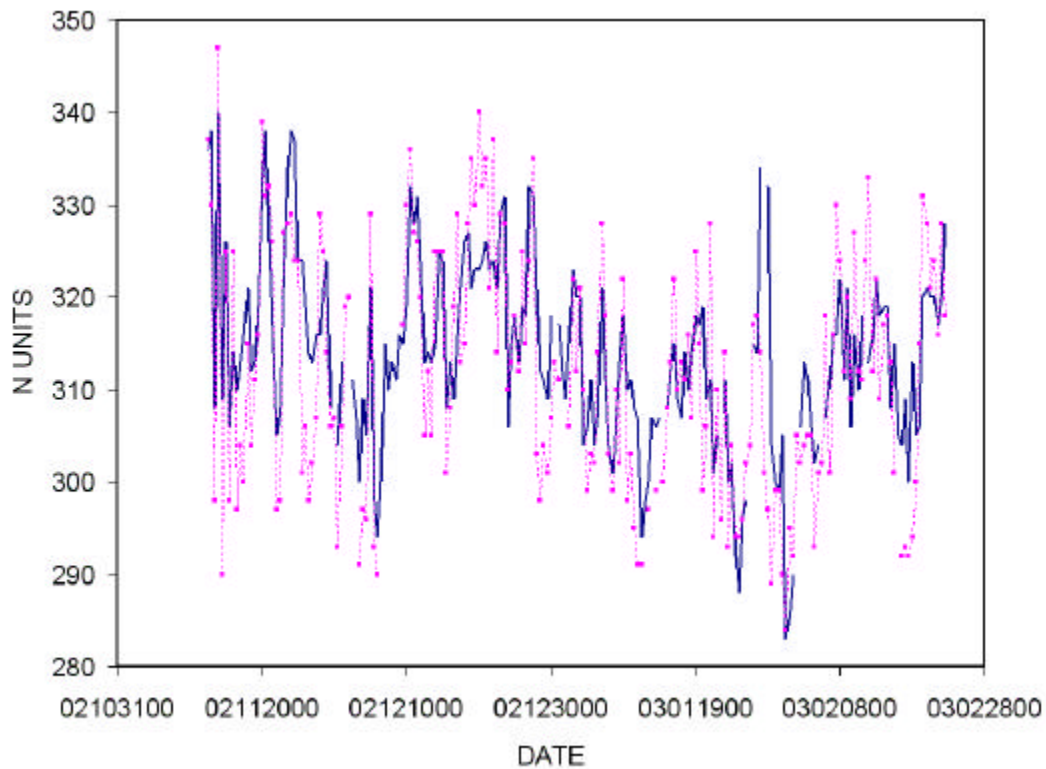


Fig. 5-3. Refractivitat superficial observada (OBS) i pronosticada (FOR).

A partir de la representació gràfica de l'evolució temporal de pronòstics i observacions s'observa com majoritàriament el model segueix la mateixa tendència observada al radiosondatge, essent en ocasions els pronòstics molt acurats (com el màxim de finals de novembre o el mínim de finals de gener, que a més és el mínim absolut de tot el període). A més, en conjunt, les observacions presenten una mediana de 314 unitats N mentre que els pronòstics 312 unitats N. Els rangs màxims i mínims són també similars (340 a 283 unitats N per les observacions i 347 a 284 unitats N pels pronòstics).

D'altra banda, la comparació dels valors predits i observats de N_s revela que, en general, els pronòstics tendeixen a subestimar lleugerament les observacions. Calculant les diferències entre ambdues magnituds es veu que tant la seva mitjana com la mediana de les

diferències és de 2 unitats N, tot i que hi ha alguns casos en que el model sobreestima N_s (fins a 20 unitats N a mitjans de febrer).

Gradient vertical de Refractivitat (primers 100 m)

A diferència de la refractivitat superficial, el pronòstic del gradient vertical de refractivitat dels primers 100 m presenta diferències significatives amb l'observació. La representació gràfica d'ambdues variables (Figura 5-4) mostra una important sobreestimació sistemàtica dels valors previstos. Aquest efecte és tan exagerat que en la majoria dels casos, els valors màxims de les observacions queden per sota dels mínims dels pronòstics. Concretament les medianes d'observacions i pronòstics són -97 i -24 unitats N / km, respectivament. La mediana de les diferències entre ambdues és 72 unitats N / km.

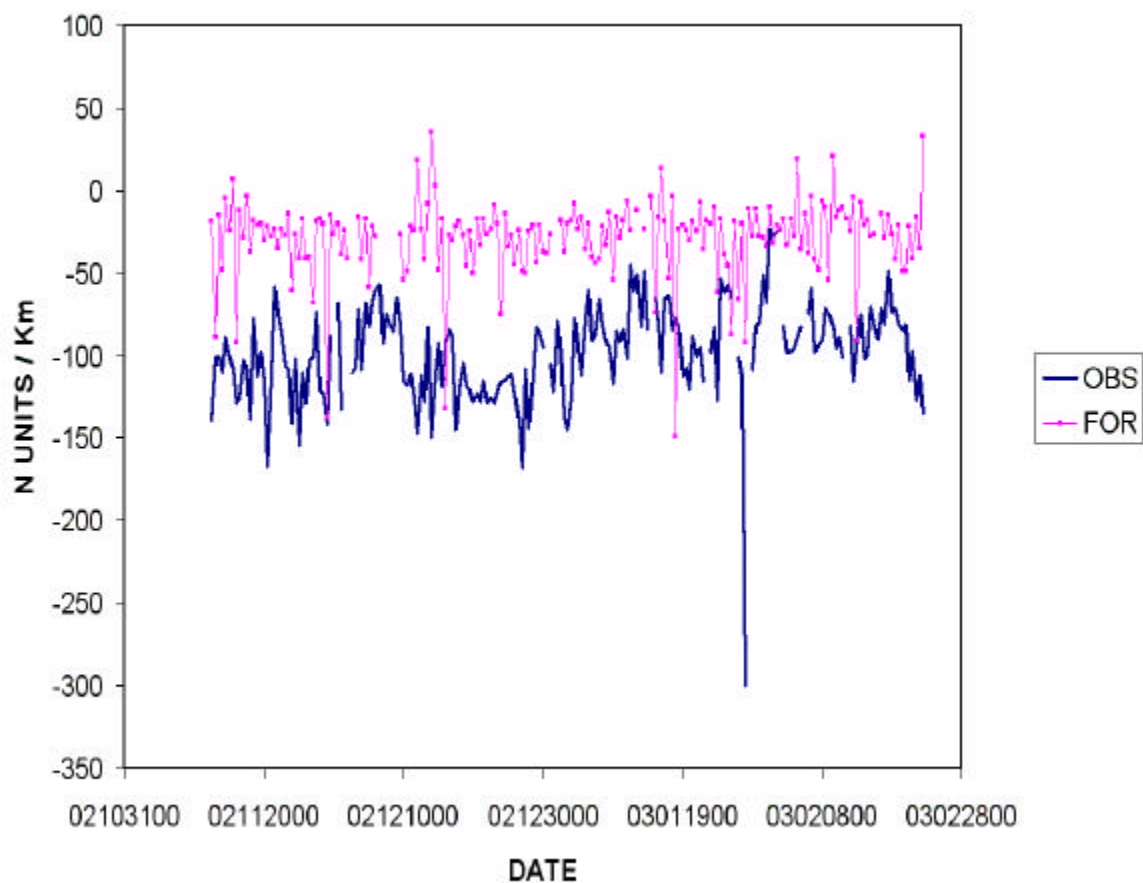


Fig. 5-4. Gradient vertical de refractivitat dels primers 100 m observat (OBS) i pronosticat (FOR).

Un altre diferència entre els dos conjunts de dades és que, a més, en promig, els pronòstics presenten menys variabilitat (una desviació estàndar de 24 unitats N/km pels pronòstics enfront de 30 unitats N/km per les observacions). Tenint present la coincidència entre la refractivitat superficial observada i la pronosticada, sembla que les limitacions dels pronòstics del gradient provenen de la diferent representació del model del valor de la refractivitat a 100 m d'altura sobre el terra. La infravaloració sistemàtica del gradient del primer hectòmetre comporta una limitació seriosa en la caracterització de les condicions de propagació. El caràcter super refractiu de les observacions en general no es preveu correctament i, fins i tot en alguns casos, esdevé subrefractiu (amb valors del gradient positius). Alguns dels valors mínims observats en el gradient queden reflectits en mínims també en la sèrie de pronòstics (com el 28 de novembre o el 20 de gener –el mínim absolut–), tot i que el valor precís dista molt d'acostar-se al real).

5.2.2. Gradient vertical de refractivitat del primer kilòmetre

El gradient vertical de refractivitat de l'aire en els primers 1000 m és la variable fonamental per a categoritzar les condicions de propagació de les microones. En particular, pel cas dels radars meteorològics, es considera que existeix propagació estàndar si el gradient està al voltant de -40 unitats N/km (Doviak and Zrnica, 1993). En aquest cas s'ha obtingut segons el procediment estàndar a partir de la refractivitat superficial i el valor interpolat a

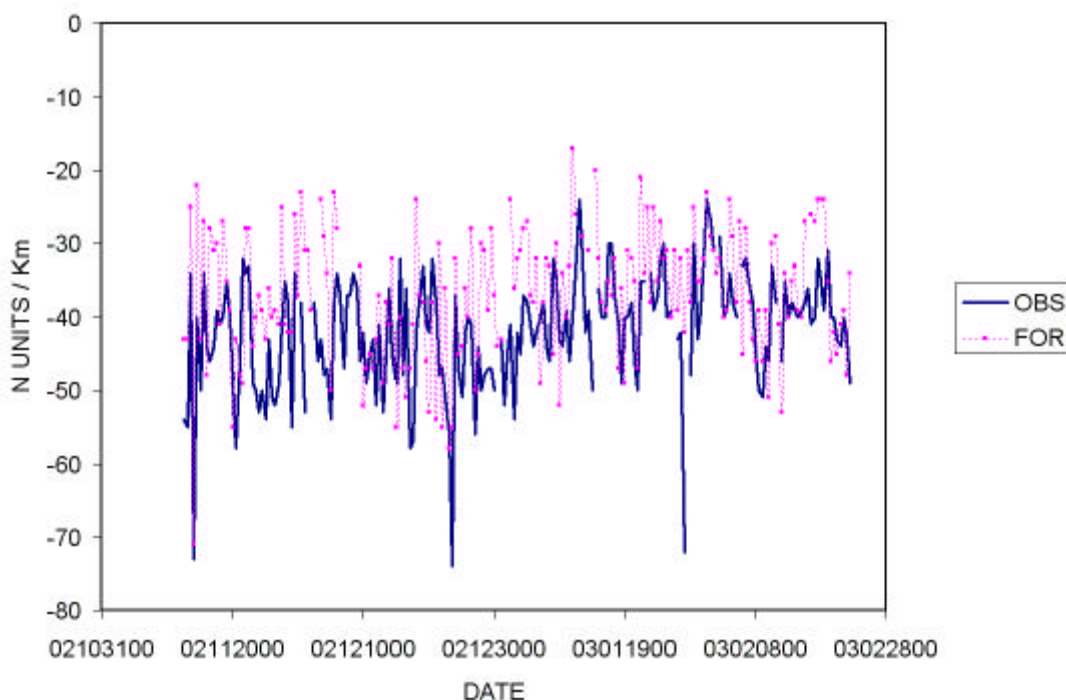


Fig. 5-5. Gradient vertical de refractivitat dels primers 1000 m observat (OBS) i pronosticat (FOR).

1000 m sobre la superfície (ITU, 1997b). La figura 5-5 mostra la comparació d'observacions i pronòstics del gradient vertical de refractivitat de l'aire dels primers 1000 m sobre Barcelona. Visualment s'aprecia una major bondat del pronòstic respecte el que passava amb el gradient del primer hectòmetre. D'entrada no apareix una subestimació sistemàtica tan exagerada com en el cas anterior. No obstant la mitjana de les diferències entre observacions i pronòstics segueix essent positiva, amb una sobreestimació mitjana de 5.01 unitats N /km. Per tal d'apreciar millor les semblances i diferències entre ambdues sèries temporals, aquestes s'han representat promitjades en diferents finestres mòbils (Fig. 5-6).

Valors promitjats temporalment i tendència

En els promitjos temporals s'observa com, a mesura que s'eixampla la finestra de promig, lògicament els valors es suavitzen. En el primer cas (promig a 2 dies), ja es veu com els pronòstics van seguint, pràcticament de forma majoritària, les variacions de les observacions però sobreestimant-les a una certa distància, aproximadament donada per les 5 unitats N mencionades anteriorment. Hi ha algunes discrepàncies notables com la de mitjans de febrer en que les observacions indiquen un marcat descens quan els pronòstics apunten encara un increment.

Les diferències minven considerablament promitjant a una setmana, i encara més a dues. En aquest darrer cas, es veu com les corbes són pràcticament paral·leles i les tendències dels pronòstics segueixen fidelment les observacions. Per tant, pot avançar-se que el model, si bé té algunes limitacions en pronosticar el gradient que es produirà a 12 h vista, en canvi sí és capaç de proporcionar una bona estimació de les condicions mitjanes dels darrers dies.

Vist aquest comportament, sembla adequat veure ara amb cert detall les variacions de les tendències, és a dir, els canvis que experimenten els gradients entre dues observacions o pronòstics successius. Les tendències dels gradients verticals, expressades en unitats N/km/12h prenen valors positius o negatius si el gradient esdevé més subrefractiu o més superrefractiu, respectivament.

La figura 5-7 mostra la comparació de tendències del gradient de refractivitat dels primers 1000 m d'aire en les observacions i els pronòstics. De forma semblant a com s'ha fet amb els valors pronosticats anteriorment, també es mostren els promitjos temporals a 2 i 7 dies de les tendències (Fig. 5-8).

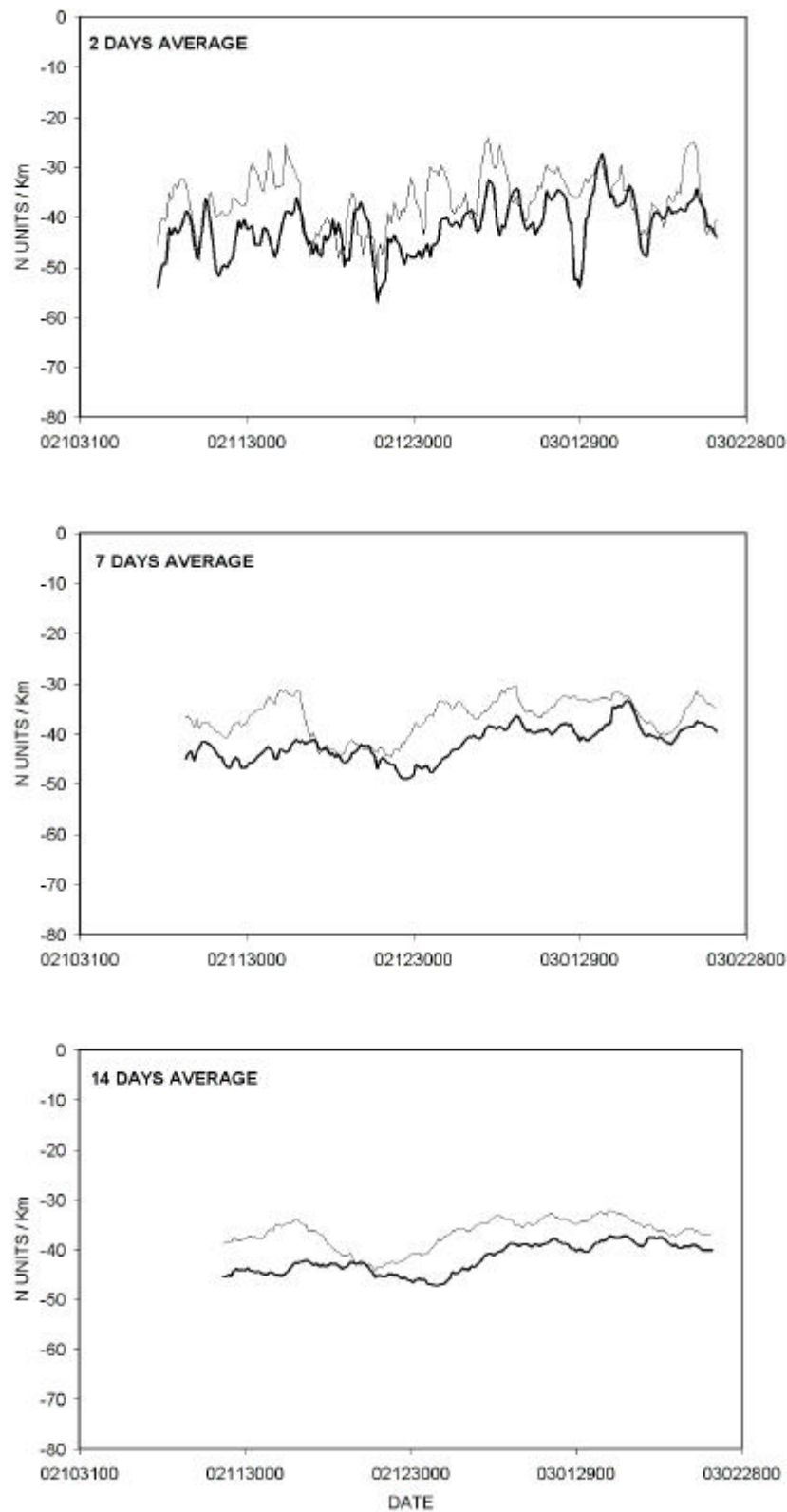


Fig. 5-6. Pronòstics (línia prima) i observacions (línia gruixuda) del gradient vertical de refractivitat de l'aire pel primer kilòmetre promitjats temporalment a 2, 7 i 14 dies.

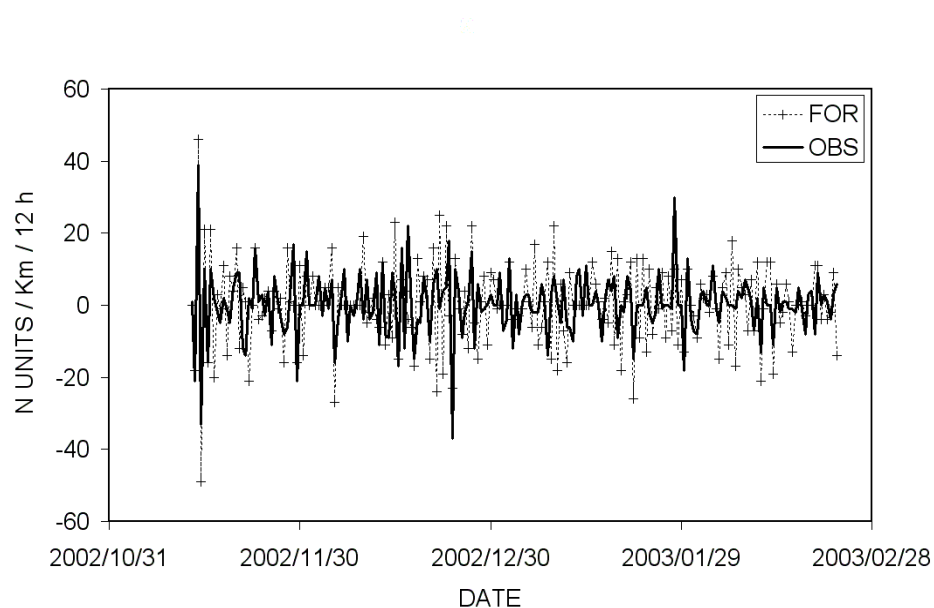


Fig. 5-7. Tendència del gradient de la refractivitat dels primers 1000 m d'aire observada (OBS) i pronosticada (FOR).

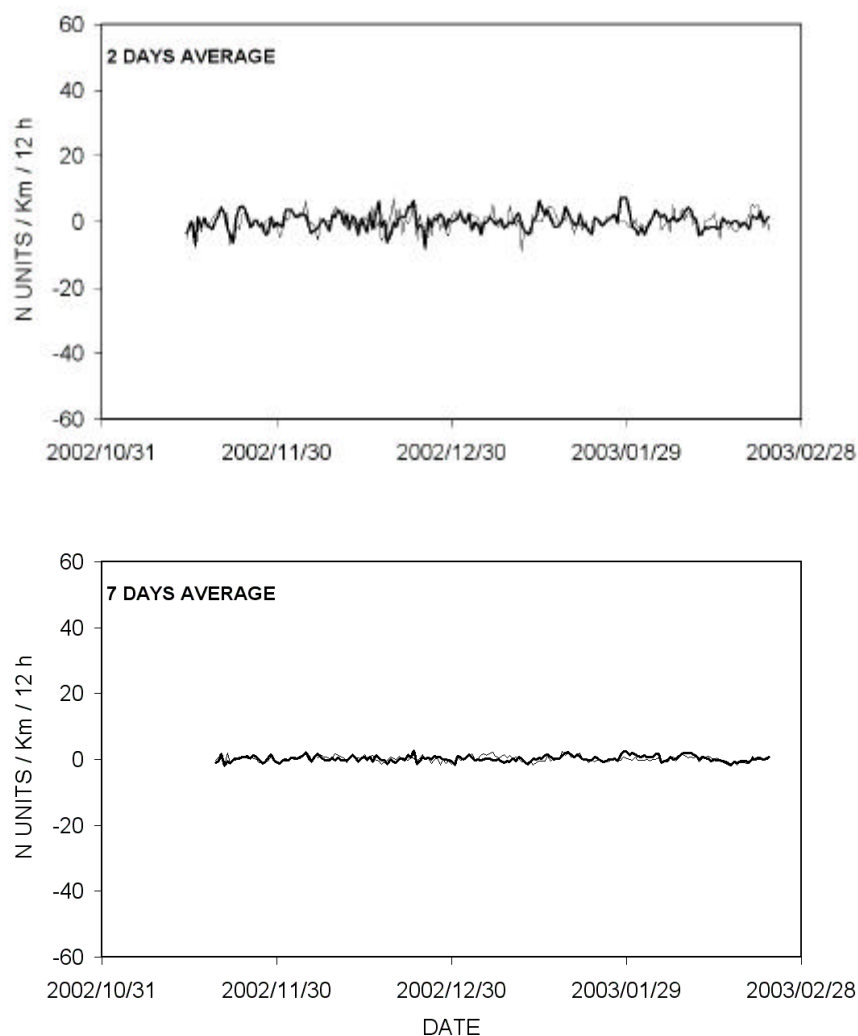


Fig. 5-8. Tendència del gradient de refractivitat dels primers 1000 m d'aire observada (línia gruixuda) i pronosticada (línia prima) promitjada a 2 i 7 dies.

Com s'havia vist en la figura 5-5, tant el gradient previst com l'observat oscil·len al voltant d'un cert valor constant, sense apreciar-se una tendència clara en el període temporal seleccionat. Això queda reflectit en la figura 5-7 de la tendència: els valors oscil·len al voltant de les 0 unitats N/km/12h. Tal com és esperable, l'oscil·lació al voltant d'aquest valor promig de la tendència disminueix en fer promitjos temporals. Efectivament, d'un rang de tendències de ± 40 unitats N/km/12h es passa a ± 10 i ± 3 unitats N/km/12h en promitjar 2 i 7 dies respectivament, tant per les observacions com pels pronòstics. No obstant, tot i minvar el rang, les diferències entre ambdues variables es mantenen visibles tot i fer els promitjos temporals.

5.2.3. Pronòstics vs. persistència

Per poder avaluar la bondat d'un pronòstic resulta d'interés poder comparar-lo amb la persistència de les observacions de la magnitud pronosticada (Wilks, 1995). Cal esperar, que com a mínim, el pronòstic realitzat millori els resultats que s'obtidrien considerant el valor de la persistència com a pronòstic. En cas contrari, cal concloure que el pronòstic considerat no compleix la seva funció i que és preferible utilitzar la persistència en el seu lloc.

En el cas que ens ocupa, es compara la persistència del gradient vertical, prenent com pronòstic observacions passades fins a 10 dies en intervals de 12 hores, que és la freqüència amb que estan disponibles les observacions. És a dir, primerament es considera que el pronòstic del gradient per un cert instant és el corresponent a l'observat 12 hores abans (persistència a 12 hores); en segon lloc, es considera que el pronòstic és l'observació realitzada fa 24 hores (persistència a 24 hores), i així succesivament fins a la persistència a 240 hores. Cal esperar que els errors augmentin amb el temps, ja que la situació atmosfèrica estarà més descorrelacionada amb la situació anterior a mesura que ens hi allunyem. Per tal d'il·lustrar aquest efecte s'ha avaluat la persistència fins a 10 dies (240 hores).

La funció d'autocorrelació i diversos tipus d'error (error mitjà, *ME* o *EM*; error absolut mitjà, *MAE* o *EAM*; i error quadràtic mitjà, *RMSE* o *EQM*) es mostren a les figures 5-9 i 5-10, respectivament. Tal com era d'esperar, l'autocorrelació tendeix a disminuir i els errors a augmentar amb el temps. Cal notar que el valor mínim de l'error mitjà s'assoleix amb la persistència a 24 h (i no a 12h). Molt probablement això és degut a que les condicions atmosfèriques són més semblants si es comparen en períodes de 24 hores que en períodes de 12 hores, tenint present el cicle diürn. D'altra banda, a partir de 36 hores s'observa com l'error mitjà oscil·la al voltant d'aproximadament 0,3 unitats N/km, creixent d'amplitud amb

el temps. En aquest procés s'assoleix un valor mínim proper a zero que no sembla tenir sentit físic. De fet els màxims i mínims locals s'assoleixen en múltiples ($n=1, 2, \dots$) de $24n$ hores i $24(n+0,5)$ fins a les 168 hores, mostrant la major semblança al moment del dia de l'observació segons el cicle diürn ja comentat. Aquest efecte també és visible en els errors absolut mitjà i quadràtic mitjà. No obstant, tant en el EAM com en el EQM assoleixen el seu mínim a les 12 h, incrementant-se més tard fins a les 36 i començant les oscil·lacions comentades a partir de les 48 h. De fet aquests dos errors tenen comportaments similars i per això la posterior discussió es fa tan sols en termes del EAM.

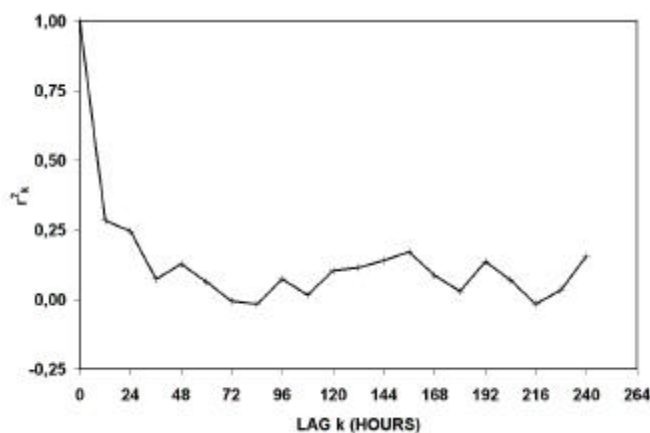


Fig. 5-9. Funció d'autocorrelació del gradient vertical de l'aire del primer kilòmetre.

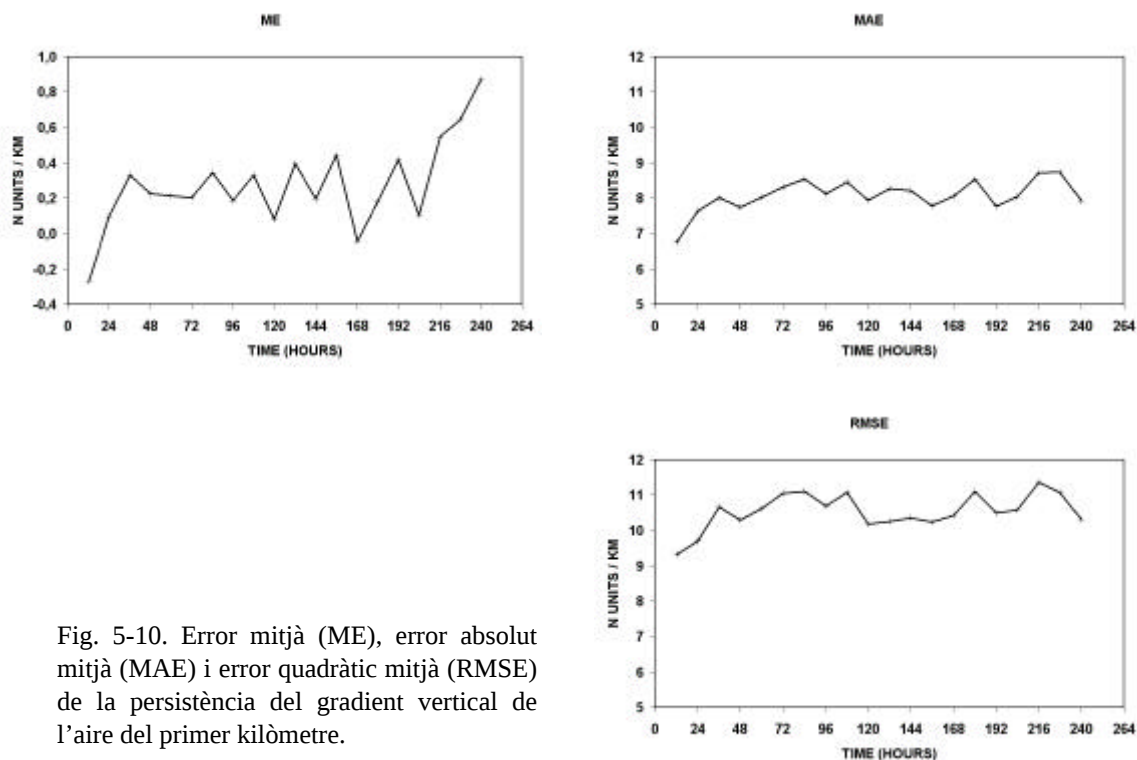


Fig. 5-10. Error mitjà (ME), error absolut mitjà (MAE) i error quadràtic mitjà (RMSE) de la persistència del gradient vertical de l'aire del primer kilòmetre.

L'error mitjà (EM) i l'error absolut mitjà (EAM) de la persistència pot comparar-se amb el que s'obté de considerar com a predictand el gradient procedent del perfil de refractivitat previst pel model MASS. De la mateixa manera, hipotèticament es podria considerar un altre nou pronòstic fet a partir del pronòstic del model al qual restem l'error mitjà anterior per tal que l'error sigui zero. Lògicament el valor mitjà de l'error es coneix *a posteriori*, i per tant simplement es tracta d'il·lustrar quin seria l'error absolut mitjà resultant.

Com es pot apreciar, l'EM associat a la sortida directa del model és molt gran comparat amb el donat per la persistència, atesa la subestimació sistemàtica que fa el model del gradient. L'EAM és també superior a l'associat a les persistències a 12, 24 i 48 hores. En el cas de considerar com a predictand el pronòstic del MASS menys l'EM anterior, l'EAM baixa considerablement (de 8,03 a 6,94 unitats N/km) però encara és superat per la persistència a 12h.

Taula 5-2. Errors mitjans i errors absoluts mitjans del pronòstic del MASS (PMASS), el mateix pronòstic menys l'error mitjà (PMASS-ME) i la persistència (Phh) de les observacions del gradient vertical de refractivitat.

Predictand	Casos	Error Mitjà (unitats N/km)	Error Absolut Mitjà (unitats N/km)
PMASS	180	-5,09	8,03
PMASS-ME	180	0,00	6,94
P12	183	-0,27	6,77
P24	181	0,09	7,64
P36	181	0,33	8,02
P48	181	0,23	7,74
P60	178	0,21	8,03
P72	177	0,20	8,32
P84	177	0,34	8,55
P96	176	0,19	8,13
P108	175	0,33	8,46
P120	173	0,08	7,94
P132	172	0,40	8,27
P144	173	0,20	8,22
P156	171	0,44	7,79

5.2.4. Nous predictands pel gradient de refractivitat

Fins el moment s'ha vist que el model MASS presenta limitacions alhora de pronosticar el gradient vertical de refractivitat del primer kilòmetre en comparar els pronòstics amb la persistència de les observacions. També s'ha vist que el model reproduïx raonablement bé els valors mitjans si els pronòstics es promitgen en el temps i que el rang d'errors també disminueix en les tendències del gradient si aquestes es promitgen.

Tenint present tot l'exposat, i els valors d'errors llistats a la Taula 5-2, es pot plantejar la proposta de nous pronòstics del gradient de refractivitat basats en els elements disponibles (observacions i pronòstics anteriors) amb la finalitat de millorar el pronòstic resultant de la sortida directa del perfil de refractivitat del model.

Una forma de plantejar aquests nous pronòstics, P'_i , és considerar que són igual a un cert valor de partida més un increment:

$$P'_i = P'_{i0} + \Delta P'_i \quad \text{Eq. 5-1}$$

Per exemple, considerant que per un cert instant i el pronòstic donat pel model és P_i , llavors pot considerar-se que el valor de partida és el pronòstic anterior P_{i-1} i l'increment és la diferència entre el nou gradient i l'anterior. És a dir, pel cas avaluat fins ara de la sortida directa del model, el nou pronòstic P'_i podria escriure's com:

$$P'_i = P_{i-1} + (P_i - P_{i-1}) \quad \text{Eq. 5-2}$$

Es tracta d'avaluar altres expressions on poden aparèixer també les observacions del gradient de refractivitat. No obstant, cal buscar una expressió útil per realitzar un pronòstic; per tant no pot considerar-se O_i sinó O_{i-1} , O_{i-2} ,... ja que lògicament en el moment de fer el pronòstic encara no es disposa de l'observació corresponent.

La Taula 5-3 recull un seguit d'expressions proposades com a predictands (el nom assignat, el valor de partida i l'increment), el nombre de casos avaluats (en el mateix període de prova considerat al llarg d'aquest capítol) i els errors mitjans (EM) i errors absoluts mitjans (EAM) obtinguts en cada cas. El predictand A representa la sortida directa del model.

Taula 5-3. Errors mitjans (EM) i errors absoluts mitjans (EAM) dels predictands considerats.

NOM	P'_{i0}	DP'_i	Casos	EM (unitats N/km)	EAM (unitats N/km)
A	P_{i-1}	$P_i - P_{i-1}$	180	-5,09	8,03
B	O_{i-1}	$P_i - P_{i-1}$	164	-0,26	8,60
C	O_{i-1}	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2}) / 2$	159	-0,42	7,64
D	$(O_{i-1} + O_{i-2}) / 2$	$P_i - P_{i-1}$	155	0,09	9,29
E	$(O_{i-1} + O_{i-2}) / 2$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2}) / 2$	151	-0,23	7,36
F	O_{i-2}	$P_i - P_{i-2}$	162	0,01	8,19
G	O_{i-2}	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2}) / 2$	159	0,23	8,63
H	$(O_{i-1} + O_{i-2} + O_{i-3}) / 3$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2} + P_{i-3}) / 3$	139	-0,16	7,37
I	$(O_{i-1} + O_{i-2}) / 2$	$P_i - P_{i-2}$	151	-0,41	7,75
J	O_{i-2}	$P_i - P_{i-1}$	159	0,43	11,15

Sembla evident que introduir en els predictands les observacions anteriors representa un avenç considerable ja que això permet reduir radicalment l'error mitjà (tots els EM estan molt lluny del cas A). A diferència del que passa amb l'EM, diversos predictands nous generen EAM superiors a l'original del cas A. En el cas B, per exemple, s'ha considerat com a valor de partida l'anterior observació i com a increment la variació entre el darrer pronòstic del model i l'actual. L'EM baixa a -0,26 però l'EAM augmenta lleugerament. Idealment, la nova predicció hauria de millorar alhora l'EM i l'EAM.

Els predictands F, D, H, E i G assoleixen els menors EM, amb valors absoluts iguals o inferiors a 0,23 unitats N/km. D'altra banda, els predictands amb EAM inferior al cas A (8,03 unitats N/km) són E, H, C i I.

Comparant les Taules 5-2 i 5-3 s'aprecia com el menor EAM ve donat per la persistència a 12 h amb un valor de 6,77 unitats N/km mentre que el menor EM ve donat pel predictand F (que es construeix a partir de l'observació i la tendència únicament de les darreres 24 h). No obstant, aquest predictand genera un EAM superior al de la sortida directa del model. Per això sembla més robusta l'opció dels predictands H ó E, construïts a partir de promitjos temporals de 24 i 36 h tant en les tendències com en les observacions. Aquests predictands, si bé no milloren l'EAM de la persistència a 12 h sí superen el seu EM. A més aquestes dues opcions són també les dues úniques que presenten un EAM inferior al de la persistència a 24 h.

Per tant, s'han trobat nous predictands que milloren sensiblement la sortida original proporcionada pel model, presentant inferior EM i EAM. Aquests predictands estan construïts amb finestres mòbils temporals de 24 i 36 h i presenten millor EM que la persistència a 12 h i menor EAM que la persistència a 24 h. No obstant, el predictand que presenta menor EM i EAM inferior a l'original de la sortida del model és la persistència a 24 h.

5.3 Pronòstics de capes conductores

En la secció anterior s'ha tractat el pronòstic del gradient vertical de refractivitat del primer kilòmetre. Com es va comentar en el Capítol 2, aquesta magnitud, si bé s'utilitza de forma estàndar per a classificar el caràcter de les condicions de propagació electromagnètica, no sempre és prou representativa. En particular poden existir capes conductores o de marcat caràcter superrefractiu dins del primer kilòmetre que no es manifestin en el valor del gradient. Cal recordar que aquest es calcula simplement a partir del valor de la refractivitat en superfície i la refractivitat a 1000 m sobre el terra.

5.3.1. Índex de conducció

Per tal d'evitar els problemes de representativitat que pot suposar el gradient vertical del primer kilòmetre d'aire s'han buscat d'altres magnituds que permetin caracteritzar de forma més fiable una certa capa d'aire. Per exemple, Johnson et al. (1999) intentant relacionar els ecos de propagació anòmala de radar meteorològic amb els perfils de refractivitat predits pel

model numèric de mesoescala del Servei Meteorològic Britànic menciona el treball de Todd et al. (1991) on es defineix un cert índex de conducció (*ducting index*) I_D , com:

$$I_D = 78 dz - dM, \quad \text{Eq. 5-3}$$

on z és l'altura de la capa en kilòmetres i M la refractivitat modificada. El valor de 78 és justament el llindar a partir del qual es considera que el gradient de refractivitat modificada correspon a superrefracció. Per tant, un I_D elevat indica que la capa és molt superrefractiva i un valor inferior a la unitat indica que no ho és.

La forma concreta com Johnson et al. (1999) calcula l'índex de conducció per una certa capa a partir dels diferents nivells disponibles en la sortida del model numèric és a partir del nivell 2 del model fins el n (on n correspon al nivell de 3 km). Llavors, el valor de l'índex correspon al màxim dels obtinguts fent:

$$I_D = 78(z_n - z_1) - (M_n - M_1). \quad \text{Eq. 5-4}$$

Cal notar que no s'està calculant el gradient individual de cada capa del model sinó el gradient entre el primer nivell ($n=1$) i la resta. Això permet incloure tant capes conductores superficials com capes conductores de base superficial.

En el treball de Johnson es van relacionar valors positius de I_D a la zona d'un radar amb les seves imatges, per tota una xarxa de radars. Concretament es van classificar subjectivament més de 1600 imatges radar segons el seu contingut d'ecos de propagació anòmala en sis classes diferents. Aquesta classificació es va relacionar amb el I_D corresponent a cada imatge comprovant que valors de l'índex elevat indicaven una probabilitat d'ecos de propagació anòmala. Van trobar una correlació positiva de 0.777 entre els valors de l'índex i l'ocurrència de propagació anòmala i una correlació negativa de 0.878 entre l'ocurrència de precipitació i l'índex. També van derivar una probabilitat condicionada de que un eco donat fos causat per propagació anòmala, de forma similar a com proposa Pamment and Conway (1998).

5.3.2. Pronòstics d'índex de conducció

En aquest apartat es mostra els pronòstics d'índex de conducció tal com s'ha descrit anteriorment. La figura 5-11 mostra la comparació entre l'índex pronosticat a partir del perfil de refractivitat generat pel model MASS i l'observat a partir del radiosondatge.

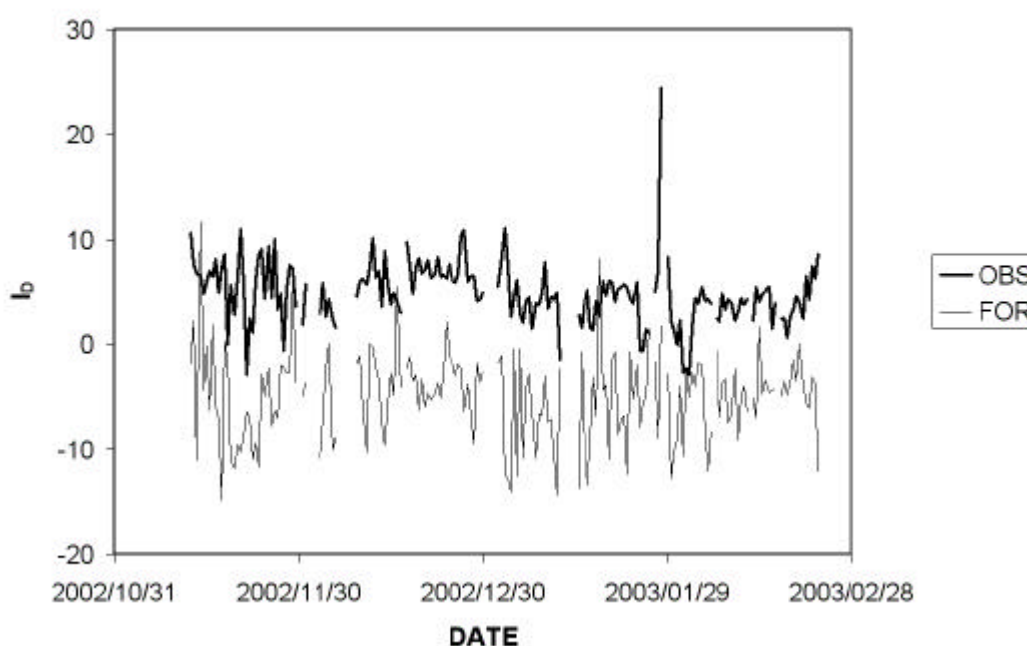


Fig. 5-11. Pronòstic (FOR) i observació (OBS) de l'índex de conducció.

Pot apreciar-se com hi ha algunes diferències significatives entre l'índex obtingut a partir de la sortida del model numèric i el de l'observació. Possiblement la més visible és la subestimació del model en relació a l'observació. Aquest efecte ja s'havia observat en el cas del gradient vertical de refractivitat del primer kilòmetre i pot relacionar-se amb la suavització del valor de refractivitat superficial vist també anteriorment. A més també s'observen discrepàncies entre les variacions de l'índex. No obstant, si es promitgen els índexs en el temps, es veu com el comportament de les dues variables és força similar (Fig. 5-12).

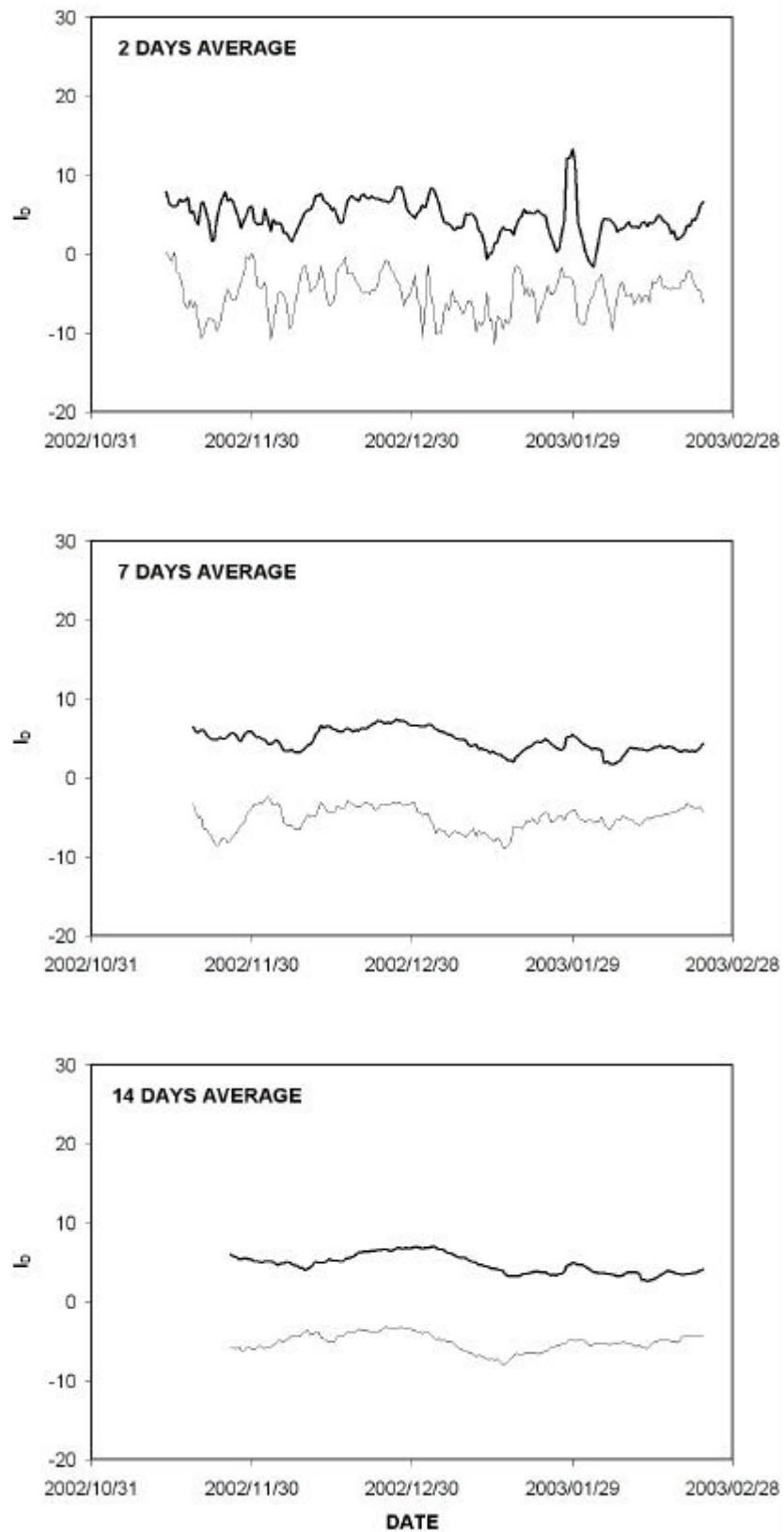


Fig. 5-12. Observació (línia gruixuda) i pronòstic (línia prima) de l'índex de conducció promitjada a 2, 7 i 14 dies.

Per tant, sembla novament que, en general, el pronòstic directe del model és capaç de donar una bona idea de les variacions de l'índex de conducció promitjat en el temps, més que no pas un valor molt acurat a 12 o 24 hores vista.

La figura 5-13 mostra les variacions entre dos pronòstics (o observacions) consecutives, és a dir, la tendència de l'índex. Queda patent que, si bé en promig les dues corbes tenen comportaments semblants, les oscil·lacions donades pel model tenen major amplitud que els de les observacions. Visualment sembla apreciar-se que en general el model és capaç de seguir de forma qualitativa el comportament de les observacions, si bé tendeix a sobrestimar els canvis. Una excepció és la de finals de gener, on l'observació assoleix el màxim de la tendència superant el pronòstic.

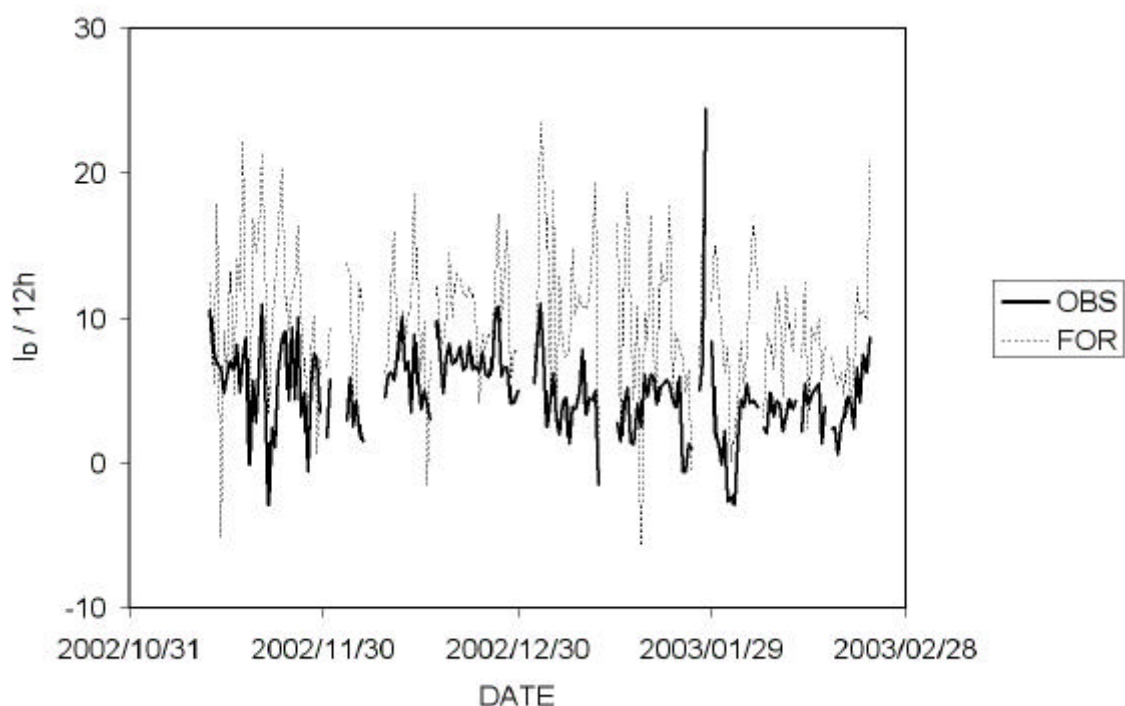
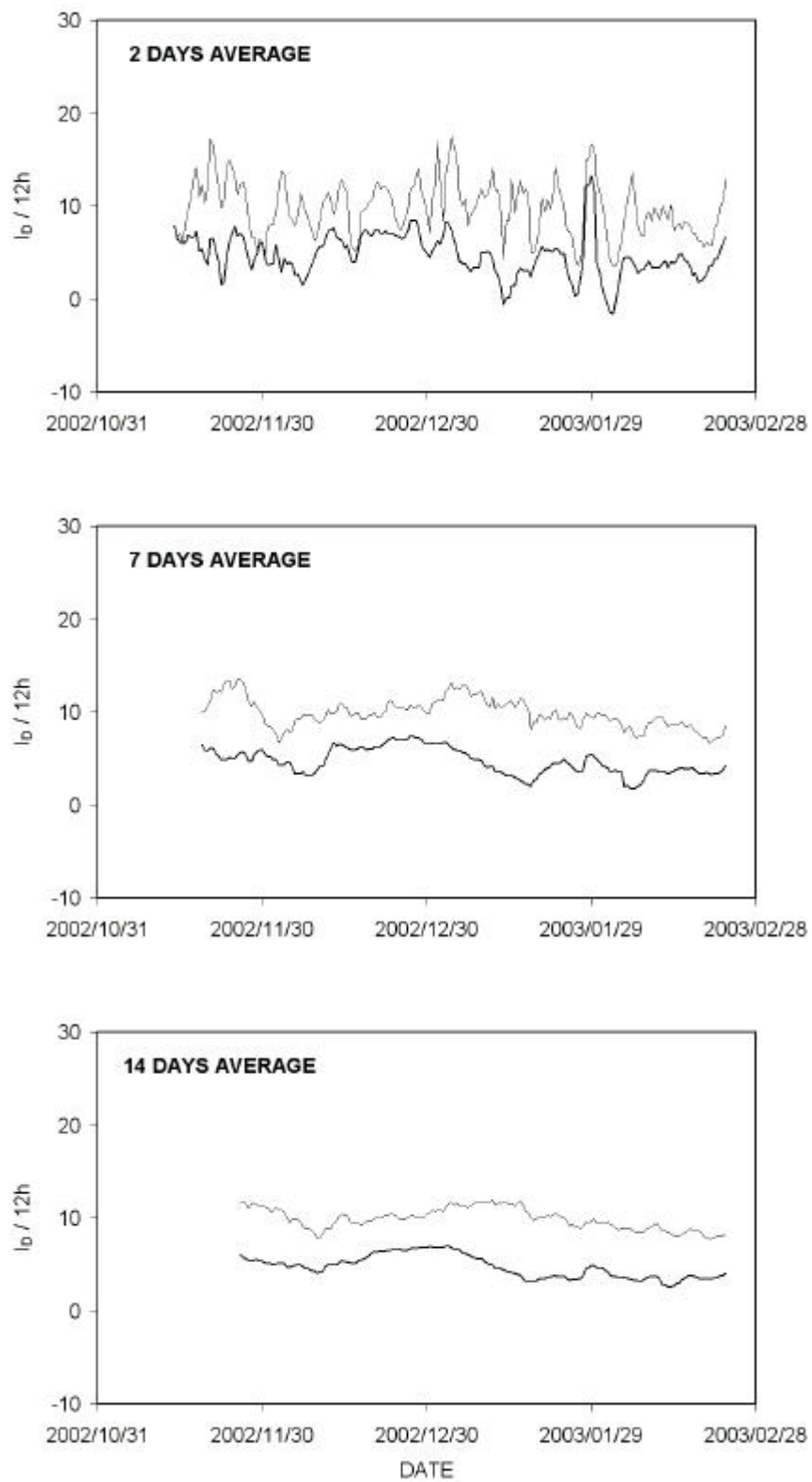


Fig. 5-13. Tendència de l'índex de conducció observat i pronosticat.

Els valors promitjats temporalment de la tendència a dos, set i catorze dies (Fig. 5-14) mostren com, tot i suavitzar-se les diferències entre observacions i pronòstics, aquestes es mantenen fins i tot en el promig a dues setmanes. Aquest comportament difereix clarament de l'observat en el gradient de refractivitat del primer kilòmetre d'aire on les tendències minvaven més ràpidament. Probablement aquest comportament es pot atribuir al fet que l'índex està definit com un valor màxim i el model difícilment pot reproduir-lo exactament.



Gràfic 5-14. Tendència de l'índex de conducció observat (línia gruixuda) i pronosticat (línia prima) promitjada a 2, 7 i 14 dies.

Tal com s'ha fet en la secció anterior, a continuació es compara l'error del pronòstic del model amb el donat per la persistència de les observacions. La funció d'autocorrelació i la variació de l'error mitjà, error absolut mitjà i l'error quadràtic mitjà de les observacions es mostra en les figures 5-15 i 5-16 respectivament.

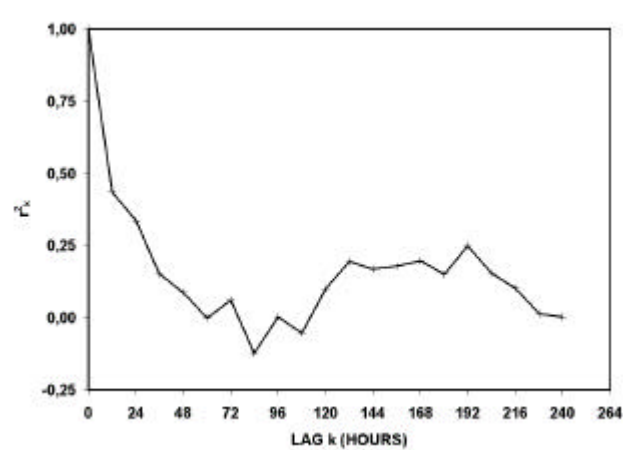


Fig. 5-15. Funció d'autocorrelació de l'índex de conducció.

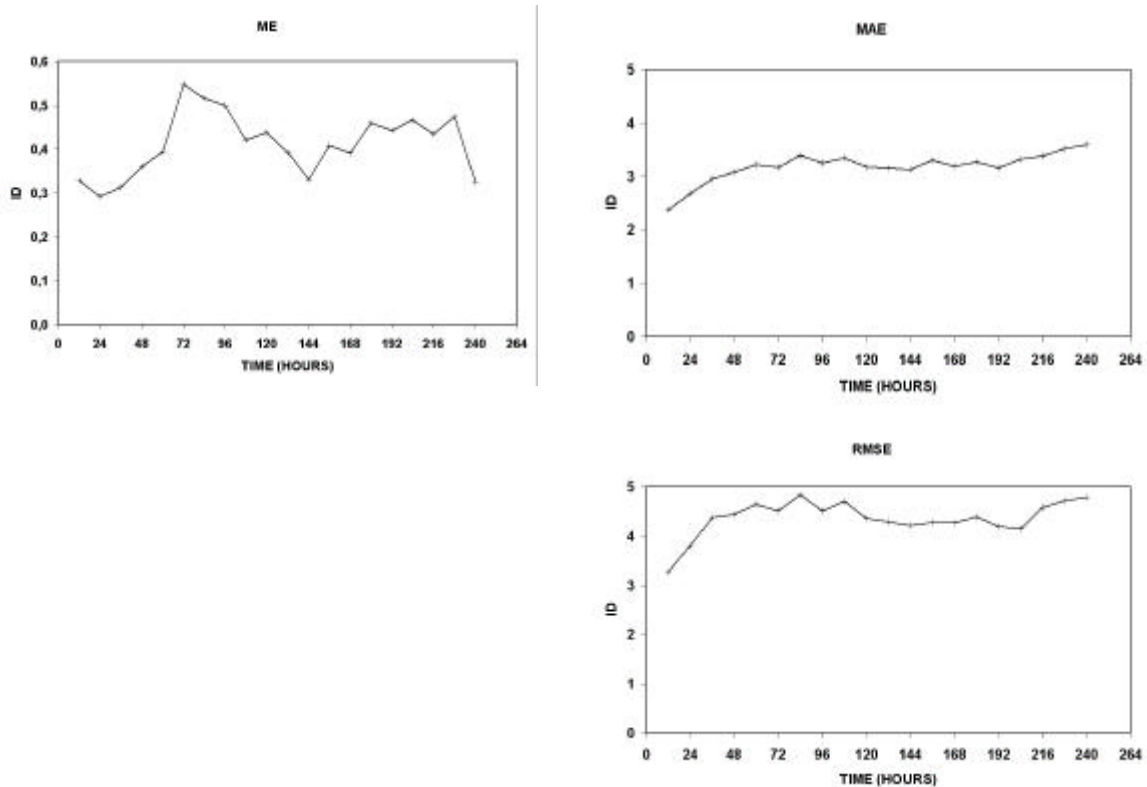


Fig. 5-16. Error mitjà (ME), error absolut mitjà (MAE) i error quadràtic mitjà (RMSE) de l'índex de conducció.

Tal com és d'esperar, els errors tendeixen a augmentar amb el temps i l'autocorrelació a minvar. En el cas del EM el mínim s'assoleix amb la persistència a 24 h (tal com passava amb el gradient de refractivitat del primer kilòmetre). Pels EAM i EQM es dóna amb la persistència a 12 h (coincidint també amb el cas del gradient). Pel EAM s'observa com els increments amb el temps són gairebé monòtons, a diferència del que succeïa amb el gradient de refractivitat, tot i tendir a créixer igualment.

La Taula 5-4 llista els valors dels errors mitjans i errors absoluts mitjans del pronòstic generat directament a partir del model MASS, el pronòstic restant-li l'error mitjà i la persistència fins a 156 h.

Taula 5-4. Errors mitjans i errors quadràtics mitjans del pronòstic del MASS (PMASS), el mateix pronòstic menys l'error mitjà (PMASS-ME) i la persistència (Phh) de les observacions de l'índex de conducció.

Predictand	Casos	EM	EAM
PMASS	180	9,92	10,00
PMASS-ME	180	0,00	3,83
P12	183	0,10	2,31
P24	181	0,05	2,62
P36	181	-0,02	2,88
P48	181	0,16	3,17
P60	178	0,17	3,35
P72	177	0,46	3,40
P84	177	0,52	3,75
P96	176	0,62	3,69
P108	175	0,61	3,87
P120	173	0,70	3,73
P132	172	0,67	3,74
P144	173	0,83	3,89
P156	171	0,90	4,14

En aquesta taula queda clarament reflectit que el pronòstic obtingut a partir de la sortida directa del model és pitjor que el resultant de considerar la persistència. Per exemple l'error mitjà de la persistència a 12 h és gairebé dos ordres de magnitud inferior al del pronòstic del MASS. L'error absolut mitjà, sense ser tan diferent, és igualment força superior (al voltant d'un factor 4 per la persistència a 24 h).

5.3.3. Nous predictands per l'índex de conducció

Per intentar millorar les limitacions del pronòstic derivat directament de la sortida del perfil de refractivitat previst pel model, a continuació es consideren nous predictands elaborats a partir del pronòstic del MASS i les observacions. Seguint l'esquema de l'apartat anterior, cada predictand P'_i es compon de la suma d'un valor inicial P'_{i0} i d'un increment DP'_i . La Taula 5-5 llista els errors mitjans (EM) i errors absoluts mitjans (EAM) dels diferents predictands considerats. El primer d'ells, cas A, correspon a la sortida directa del model MASS. Es pot veure com els nous predictands generen EM sensiblement inferiors als de la sortida directa del model (de 0,01 a 0,04 en front de 9,92). L'EAM també es redueix, essent el mínim el donat pel cas I (3,87 en front de 10,00 del pronòstic original del model). Tot i aquestes millores, si es comparen amb els de la persistència a 12 h i 24 h (Taula 5-4) es veu com aquelles tenen menor EAM. Per tant, per una aplicació concreta on es vulgui obtenir un pronòstic amb EAM mínim, sembla més recomanable triar la persistència a 12 h, mentre que si es desitja minimitzar l'EM, segons els casos avaluats, el millor resultat el dona el predictand del cas C.

Taula 5-5. Errors mitjans (EM) i errors absoluts mitjans (EAM) dels predictands considerats.

NOM	P'_{i0}	DP'_i	Casos	EM	EAM
A	P_{i-1}	$P_i - P_{i-1}$	180	9,92	10,00
B	O_{i-1}	$P_i - P_{i-1}$	164	0,03	4,98
C	$(O_{i-1} + O_{i-2}) / 2$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2}) / 2$	151	0,01	4,44
D	O_{i-2}	$P_i - P_{i-2}$	162	0,07	5,14
E	$(O_{i-1} + O_{i-2}) / 2$	$P_i - P_{i-1}$	155	-0,02	4,83
F	O_{i-1}	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2}) / 2$	159	0,04	4,63
G	$(O_{i-1} + O_{i-2} + O_{i-3}) / 3$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2} + P_{i-3}) / 3$	139	-0,20	4,13
H	$(O_{i-1} + O_{i-2} + O_{i-3} + O_{i-4}) / 4$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2} + P_{i-3} + P_{i-4}) / 4$	128	-0,21	3,87
I	$(O_{i-1} + O_{i-2} + O_{i-3} + O_{i-4} + O_{i-5}) / 5$	$P_i - (P_{i-1} + P_{i-2} + P_{i-3} + P_{i-4} + P_{i-5}) / 5$	127	-0,29	3,96

5.3.4. Índexs de verificació

Fins el moment s'han avaluat les diferències entre el valor previst i l'observat per l'índex de conducció, tal com s'havia fet pel gradient de refractivitat del primer kilòmetre d'aire en termes de l'error mitjà i l'error quadràtic mitjà. És a dir, s'ha avaluat el comportament quantitatiu del valor pronosticat en relació a l'observació posterior.

Un altre enfoc consisteix en avaluar l'habilitat del pronòstic en predir la superació d'un cert valor llindar de la magnitud pronosticada. Es tracta de valorar un pronòstic categòric on es prediu o no l'existència d'un cert event, en aquest cas la superació del llindar per part de la magnitud pronosticada. Aquest plantejament és molt habitual en d'altres àmbits de la predicció meteorològica i la verificació de pronòstics (Wilks, 1995). Es poden trobar nombrosos exemples com ara en el cas de la precipitació (McBride and Ebert, 2000; Wilson, 2001) o les ratxes màximes de vent (Marzban and Stumpf, 1998). En el cas que ens ocupa pot aplicar-se a la superació del valor de la unitat per part de l'índex de conducció, indicant la possibilitat d'ecos de propagació anòmala a la imatge radar.

Per avaluar la bondat dels pronòstics de superació d'un llindar primerament cal construir una taula de contingència (Taula 5-6). En aquesta taula apareixen quatre variables, que indiquen les freqüències observades de : A) nombre de vegades que l'ocurrència de l'event s'ha predit i s'ha observat posteriorment, B) nombre de vegades que s'ha predit però no s'ha observat, C) nombre de vegades que l'event no s'ha predit però sí s'ha observat i C) nombre de vegades que no s'ha predit i efectivament no s'ha observat. El nombre total de previsions avaluades, N, ve donat per la suma de les quatre variables anteriors.

Taula 5-6. Taula de contingència de pronòstics categòrics (Wilson, 2001).

	OBSERVATIONS YES	OBSERVATIONS NO	FORECASTS TOTAL
FORECASTS YES	A	B	A + B
FORECASTS NO	C	D	C + D
OBSERVATIONS TOTAL	A + C	B + D	N = A+B+C+D

A partir de les variables que apareixen en la taula de contingència poden definir-se diversos índexs de verificació dels pronòstics (Taula 5-7). Aquests índexs informen sobre diversos aspectes del pronòstic i, en general, són complementaris els uns dels altres; no existeix un únic índex que permeti sintetitzar ell sol la qualitat del pronòstic.

La Probabilitat de Detecció (*POD*), per exemple, informa sobre la capacitat del pronòstic de que l'event en qüestió sigui predit, independentment de la freqüència en que la no ocurrència del event sigui correctament predita. Justament aquest altre concepte s'estima amb l'índex de Falsa Alarma (*FAR*). En general interessarà que el *POD* sigui alt i el *FAR* baix; com es veu calen dos índexs diferents per caracteritzar aquests dos aspectes independents.

Taula 5-7. Índexs de verificació (parcialment adaptat de Wilson, 2001)

VERIFICATION SCORE	FORMULATION	RANGE	PERFECT
Probability of Detection	$POD=A/(A+C)$	[0,1]	1
Probability of False Detection	$POFD=B/(B+D)$	[0,1]	0
Frequency of Misses	$FOM=C/(A+C)$	[0,1]	0
Probability of a Null Event	$PON=D/(B+D)$	[0,1]	1
Succes Ratio	$SR=A/(A+B)$	[0,1]	1
False Alarm	$FAR=B/(A+B)$	[0,1]	0
Percentage Correct	$PC=100(A+D)/N$	[0,100]	100
Frequency BIAS	$FBI=(A+B)/(A+C)$	[0,inf]	1
Critical Succes Index	$CSI=A/(A+B+C)$	[0,1]	1
True Skill Statistic	$TSE=(AD-BC)/((A+C)(B+D))$	[-1,1]	1
Equitable Threat Score(*)	$ETS=(AD-BC)/((B+C)N+(AD-BC))$	[-1/3,1]	1
Heidke Skill Score(*)	$HSS=(AD-BC)/((A+B)(B+D)+(A+C)(C+D))$	[-inf,1]	1

*: També es poden calcular amb una altra formulació considerant la persistència o la climatologia.

5.3.5. Verificació dels pronòstics

Els índexs llistats a la Taula 5-7 s'han calculat pels predictands considerats per a l'elaboració del pronòstic de l'índex de conducció I_D . Primerament, a la Taula 5-8, es mostren els índexs calculats per la sortida directa del model (PMASS), per la sortida del model modificada restant-li el valor mitjà de les observacions (PMASS-ME) i per la persistència a

12 (P12H) i 24 h (P24H). A la Taula 5-9 es mostren també per la resta de predictands llistats anteriorment a la Taula 5-5. Per cada índex s'indica el millor predictand subratllant-ne el valor.

Taula 5-8. Avaluació dels pronòstics directes del model i la persistència de l'índex de conducció.

ÍNDEX	PMASS	PMASS-ME	P12H	P24H
POD	0,064	0,843	<u>0,962</u>	0,955
POFD	<u>0,000</u>	0,900	0,700	0,800
FOM	0,936	0,157	<u>0,038</u>	0,045
PON	<u>1,000</u>	0,100	0,300	0,200
SR	<u>1,000</u>	0,942	0,956	0,949
FAR	<u>0,000</u>	0,058	0,044	0,051
PC	11,5	80,2	<u>92,2</u>	91,0
FBI	0,064	0,895	<u>1,006</u>	<u>1,006</u>
CSI	0,064	0,801	<u>0,921</u>	0,909
TSS	0,064	-0,057	<u>0,262</u>	0,155
ETS	0,004	-0,015	<u>0,159</u>	0,089
HSS	0,007	-0,031	<u>0,275</u>	0,163

Taula 5-9. Avaluació dels pronòstics dels diferents predictands de la Taula 5-5 (excepte el cas A, que ja apareix a la Taula 5-8 com PMASS).

VARIABLE	B	C	D	E	F	G	H	I
POD	0,796	0,821	0,769	0,800	0,800	0,851	0,880	<u>0,896</u>
POFD	0,800	0,800	0,900	<u>0,700</u>	<u>0,700</u>	<u>0,700</u>	0,889	0,889
FOM	0,204	0,179	0,231	0,200	0,200	0,149	0,120	<u>0,104</u>
PON	0,200	0,200	0,100	<u>0,300</u>	<u>0,300</u>	<u>0,300</u>	0,111	0,111
SR	0,940	0,937	0,930	<u>0,943</u>	<u>0,943</u>	0,942	0,932	0,928
FAR	0,060	0,063	0,070	<u>0,057</u>	<u>0,057</u>	0,058	0,068	0,072
PC	76,0	78,1	72,9	76,8	76,8	81,3	82,8	<u>83,9</u>
FBI	0,847	0,876	0,827	0,848	0,848	0,903	0,944	<u>0,965</u>
CSI	0,758	0,778	0,727	0,763	0,763	0,809	0,827	<u>0,837</u>
TSS	-0,004	0,021	-0,131	0,100	0,100	<u>0,151</u>	-0,009	0,007
ETS	-0,001	0,006	-0,028	0,025	0,025	<u>0,049</u>	-0,003	0,003
HSS	-0,002	0,011	-0,058	0,049	0,049	<u>0,094</u>	-0,007	0,006

A la vista dels resultats exposats en les dues taules anteriors sembla clar que els predictands proposats milloren sensiblement alguns dels índexs de verificació del pronòstic directe del model (PMASS). Per exemple el valor de *POD* augmenta en un factor 10 en qualsevol dels predictands respecte MASS. Igualment la *FAR* és més baixa en els nous predictands i el *PC* millora notablement (del 12% al 70 o 80%).

D'entre tots els predictands de la Taula 5-9 sembla que el cas I (generat a partir de promitjos a 60 h tant en els pronòstics com en les observacions) genera millors resultats. No obstant en els tres darrers indicadors, que tenen un caràcter més general, no puntua tan favorablement. Cal mencionar com a curiositat que casualment, els predictands E i F que són formalment similars, obtenen les mateixes puntuacions en generar la mateixa taula de contingència –tot i tenir diferents errors mitjans i error absoluts mitjans diferents.

També queda patent que la persistència a 12 h (P12H) obté els millors resultats globals; de fet obté la millor puntuació en tots els índexs tret dels associats a la detecció falsa. En aquest cas guanya el pronòstic del model (PMASS). Cal però interpretar aquesta victòria relativa: el model subestima molt el valor de l'indicador de conducció i per aquest motiu no es dona cap cas on el model predigui un valor positiu i no es produeixi. En canvi el resultat general queda molt minvat (*PC* de tan sols 11,5%). Igualment cal notar que aquests resultats difereixen dels obtinguts en analitzar l'error mitjà i l'error absolut mitjà. En aquell cas alguns predictands sí superaven la persistència en l'error mitjà.

D'altra banda, cal afegir que aquests resultats dels nous predictands encara podrien millorar-se ajustant de forma precisa els valors dels coeficients d'observacions anteriors i prediccions considerades. L'ajust pot fer-se empíricament com una regressió multilínia per tal de minimitzar l'error tal com es fa habitualment en les tècniques d'ajust estadístic de les sortides de models numèrics com ara MOS (*Model Output Statistics*) o PerfectProg (veure per exemple Wilks, 1995 o Codina et al. 2001) . Per aplicar aquestes tècniques amb garanties fora desitjable disposar d'una major quantitat de dades de pronòstics per tal de representar adequadament totes les estacions de l'any. L'estudi presentat, en canvi, s'ha centrat a uns pocs mesos durant els quals habitualment les condicions van evolucionant de poc a moderadament super refractives. Tot i així ha permès il·lustrar com aprofitar la sortida operativa d'un model de predicció numèrica de mesoescala i les potencialitats i limitacions d'aquesta eina en comparació amb les observacions de radiosondatge.

5.4 Referències

- Almond, T., and J. Clarke, 1983: Consideration of the usefulness of microwave propagation prediction methods on air-to-ground paths. *IEEE Proc. Part F.*, **130**, 649-656
- Bean, B. R., and E. J. Dutton, 1968: *Radio meteorology*. Dover Publications, 435 pp.
- Bech, J., B. Codina, J. Lorente, and D. Bebbington, 2002: Monthly and daily variations of radar anomalous propagation conditions: How "normal" is normal propagation? 2nd European Meteorological Radar Conference, Delft, Netherlands, 35-39.
- Bech, J., D. Bebbington, B. Codina, A. Asairoun, J. Lorente, 1998a: Evaluation of atmospheric anomalous propagation conditions: an application for weather radars. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology*, SPIE, **3499**, 111-115
- Bech, J., J. Lorente, B. Codina, 1998b: Preliminary results of diagnostic and forecast of weather radar anomalous propagation conditions using operational radiosonde observations and mesoscale NWP model data. Proc. Summer School of Meteorology at the Balearic Islands, XIV Trobades Científiques de la Mediterrània, Maó (Menorca).
- Codina, B., A. Sairouni, J. Bech, A. Redaño, 1997b: Operational Application of a nested mesoscale numerical model in Catalonia (Meteo'96 Project). *INM/WMO International Symposium of Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, ISBN 84-7632-329-8, 657-667
- Codina, B., M. Aran, S. Young and A. Redaño, 1997a: Prediction of a Mesoscale Convective System over Catalonia (Northeastern Spain) with a nested Numerical Model. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **62**, 9-22

- Codina, B., J. Vidal, A. Aniento, J.W. Zack and J. J. Nocera, 2001: Operational forecasts with a continuous trained MOS system. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 3. European Geophysical Society, XXVI General Assembly, Nice (France). ISSN 1029-7006
- Doviak, R. J., and D. S. Zrnic, 1993: *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, 562 pp.
- Hsu, S.A., 1988: *Coastal meteorology*, Academic Press, 260 pp.
- ITU, 1997a: *Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media*. Recommendation ITU-R PN.310-9, Int. Telecom. Union, 4 pp.
- ITU, 1997b: *The Radio Refractive Index: its Formula and Refractivity data*. Recommendation ITU-R P.453-6, Int. Telecom. Union, 9 pp.
- Johson, C., D. Harrison, B. Golding, 1999: Use of atmospheric profile information in the identification of anaprop in weather radar images. *Observation Based Products Technical Report No. 17, Forecasting Systems*, UK Meteorological Office, 30 pp. [Available from the National Meteorological Library, London Road, Bracknell, RG12, 2SZ, UK]
- Kaplan, M. L., J. W. Zack, V. C. Wong, J. J. Tuccillo, 1982: Initial results from a mesoscale atmospheric simulation system and comparisons with an AVE-SESAME I data set. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 1564-1590,.
- Koch, S. E., W. C. Skillman, P. J. Kocin, P. J. Wetzel, K. F. Brill, D. A. Keyser, M. C. McCumber, 1985: Synoptic scale forecast skill and systematic errors in the MASS 2.0 model. *Mon. Wea. Rev.*, 113, 1714-1737
- Marzban C., G. J. Stumpf, 1998: A Neural Network for Damaging Wind Prediction. *Weath. and Forecast.* , 13, No. 1, 151–163
- Mass, C.F. and Y. Kuo, 1998: Regional real-time numerical weather prediction: current status and future potential. *Bull. Amer. Met. Soc.* **79**(2), 253-262

- McBride, J L, and E E Ebert, 2000: Verification of quantitative precipitation forecasts from operational Numerical weather prediction models over Australia. *Weath. and Forecast.*, 15,103-121
- Pamment, J.A., and B. J. Conway, 1998: Objective Identification of Echoes Due to Anomalous Propagation in Weather Radar Data, *J. Atmos. Oceanic Techmol.* **15**(1), 98-113
- Patterson, W. L., 1987: Historical Electromagnetic Propagation Condition Database Description. Technical Document 1149, ADA-A189 157, NOSC 1149, US NAVY, 71 pp.
- Salvador, R., J. Calbó and M. Millán, 1999: A horizontal grid selection and its influence on mesoscale model simulation. *J. Appl. Meteor.*, **38**, 1311-1329
- Sauvageot, H., 1991: *Radar Meteorology*. Artech House, 366 pp.
- Segala, S., A. Sairouni, J. Bech, 2002: Hail forecasts with NWP derived instability indexes. European Geophysical Society. 4th Plinius Conference on Mediterranean Storms, Mallorca, Spain. Abstracts book, p. 26
- Todd, I. D., J. D. Turton and K. S. Groves, 1991: Forecasting elevated radio ducts using mesoscale model data. Meteorological Office Defence Services Division Report. [Available from the National Meteorological Library, London Road, Bracknell, RG12, 2SZ, UK]
- Vilaclara, E. , A. Sairouni, J. More, J. Bech, 2001: Numerical mesoscale forecast of a heavy rainfall event over Catalonia (NE Spain)", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 3, Oceans and Atmosphere, 26th General Assembly European Geophysical Society, ISSN 1029-7006
- Vilaclara, E., A. Sairouni, J. More, J. Bech, 2000: Contribució del model meteorològic MASS a la determinació de les causes de l'aiguat del 10 de juny de 2000. VI Jornades de

Meteorologia Eduard Fontserè, Associació Catalana de Meteorologia, ISBN-84-930328-1-6, p.69-76

Wilks, D.S., 1995: Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press, 467 pp.

Wilson C., 2001: Review of current methods and tools for verification of numerical forecasts of precipitation. COST 717 Working Document WDF_02_200109_1, Met. Office, UK, 14 pp.

CAPÍTOL 5. PREDICCIÓ DE CONDICIONS DE PROPAGACIÓ DE RADAR METEOROLÒGIC ..5-1

5.1 MODELITZACIÓ DE LA PROPAGACIÓ I PREDICCIÓ NUMÈRICA DEL TEMPS	5-1
5.1.1. <i>El model MASS</i>	5-2
5.1.2. <i>Període i dades analitzades</i>	5-4
5.2 PRONÒSTICS DE REFRACTIVITAT I EL SEU GRADIENT	5-5
5.2.1. <i>Pronòstics de refractivitat superficial i el gradient del primer hectòmetre</i>	5-6
5.2.2. <i>Gradient vertical de refractivitat del primer kilòmetre</i>	5-9
5.2.3. <i>Pronòstics vs. persistència</i>	5-13
5.2.4. <i>Nous predictands pel gradient de refractivitat</i>	5-16
5.3 PRONÒSTICS DE CAPES CONDUCTORES	5-18
5.3.1. <i>Índex de conducció</i>	5-18
5.3.2. <i>Pronòstics d'índex de conducció</i>	5-20
5.3.3. <i>Nous predictands per l'índex de conducció</i>	5-26
5.3.4. <i>Índexs de verificació</i>	5-27
5.3.5. <i>Verificació dels pronòstics</i>	5-28
5.4 REFERÈNCIES	5-31