

Capítol 4. Propagació anòmla i bloqueig topogràfic

En el capítol anterior s'ha vist que al llarg de l'any es produeixen variacions significatives en les condicions de propagació electromagnètica a la zona de Barcelona. Aquestes variacions poden comportar canvis en l'altura del feix d'un radar meteorològic operant en aquesta àrea. Aquest canvi en l'altura del feix pot afectar les correccions de bloqueig topogràfic que es fan sobre les observacions radar per minimitzar l'efecte d'apantallament causat pels obstacles del terreny. A continuació s'avaluen quins efectes tenen els canvis observats en les condicions de propagació sobre la correcció de bloqueig topogràfic.

4.1 Bloqueig Topogràfic

Els radars meteorològics ubicats en zones muntanyoses habitualment experimenten el que es coneix com a bloqueig topogràfic. El bloqueig consisteix en el fet que una part de l'energia emesa pel radar és interceptada per les muntanyes que l'envolten (Fig. 4-1). Aquest efecte pot restringir seriosament l'ús dels escombrats del radar amb menor angle d'elevació. Justament són els escombrats amb elevacions inferiors els que proporcionen informació més útil per a l'estimació de la intensitat de precipitació a nivell del terra (on tenen major interès hidrometeorològic) tal com exposen Joss and Waldvogel (1990), Sauvageot (1994), Collier (1996), o Smith (1998).

4.1.1. Introducció al problema del bloqueig

A causa del bloqueig topogràfic, en zones muntanyoses sovint s'apliquen correccions sobre l'energia rebuda pel radar amb la finalitat de minimitzar els efectes de la topografia sobre les observacions, especialment si es desitja obtenir estimacions quantitatives de precipitació (o EQP; en la literatura anglesa s'utilitza el terme QPE, acrònim de *Quantitative Precipitation Estimate*). Exemples d'aquest tipus de correccions en procediments operatius d'EQP poden trobar-se a Harrold et al. (1974), Kitchen et al. (1994), Joss and Lee (1995), Fulton et al. (1998), o Seltsmann and Reidl (1999).

El desenvolupament de radars amb capacitat de realitzar mesures polarimètriques va conduir fa uns anys a noves aproximacions al problema del bloqueig topogràfic. Blackman i Illingworth (1995), Zrnic i Ryhzhkov (1996), Ryhzhkov i Zrnic (1998) o Vivekanandan *et al.* (1999) van mostrar que, entre d'altres avantatges, l'ús de la magnitud coneguda com a propagació de fase específica, K_{DP} , permetia realitzar millors EQPs en condicions de bloqueig topogràfic del que és possible assolir amb radars de polarització simple.

No obstant, la majoria de radars meteorològics operatius són encara sistemes que funcionen amb polarització simple. Per exemple, a Europa hi ha alguns radars multipolarimètrics de recerca i tan sols alguns radars polarimètrics operatius (Meischner *et al.* 1997). En general, aquests darrers únicament proporcionen mesures de reflectivitat diferencial, Z_{DR} , (cfg. Alberoni *et al.* 2000, Bechini *et al.* 2002).

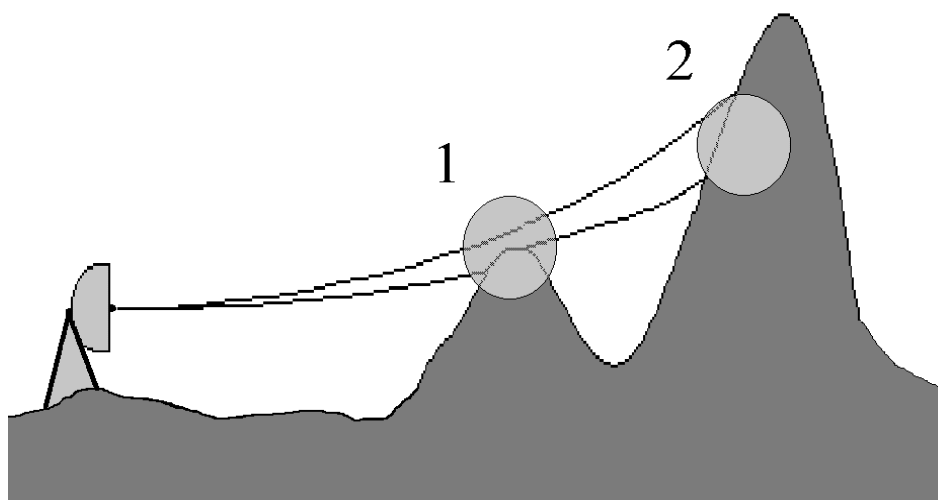


Fig. 4-1 Exemple de bloqueig topogràfic parcial (1) i total (2) d'un feix radar

Per tant, les correccions de bloqueig topogràfic efectuades sobre mesures radar fetes amb polarització simple són encara un procediment necessari per a l'obtenció d'EQP en zones muntanyoses.

A les zones de topografia complexa, en general, hi ha una menor densitat de pluviògrafs i de les xarxes de radar que en zones més planes. Igualment s'observa una major variabilitat

del camp de precipitació, sovint a causa de circulacions induïdes per la pròpia orografia. Per tot això, l'obtenció de EQPs en regions muntanyoses té un interès especial (veure per exemple els treballs de Westrick et al. 1999, Hagen et al. 2000 o Volkert, 2000).

La idea que assumir condicions de propagació normals en les observacions radar pot no ser sempre una bona opció no és nova (tot i que en la majoria d'ocasions sovint sí és la millor primera aproximació). Així, l'ús d'observacions locals climatològiques de la refractivitat de l'aire per a un radar concret va ser suggerit a l'informe final de l'acció integrada COST-73 (Newsome, 1992) i també, en un context diferent, avaluat per Pittman (1999) per tal de millorar les altures mesurades per radars militars a diferents indrets del món.

4.1.2. Correccions de bloqueig topogràfic

Per tal d'avaluar els efectes de la propagació anòmla sobre les correccions de bloqueig topogràfic s'ha seleccionat un esquema particular de correcció. En concret es tracta de l'esquema operatiu de la xarxa de radars nordamericana NEXRAD (*NEXt generation weather RADar*), implementada la darrera dècada del segle XX als Estats Units.

Aquest procediment forma part del complex algorisme de correccions de les observacions radar, conegut com a NEXRAD Precipitation Processing System (PPS), destinat a obtenir una estimació quantitativa de la precipitació (EQP). Aquest algorisme es descriu detalladament a Fulton et al. (1998).

L'esquema de correcció s'aplica als feixos del radar que estan parcialment bloquejats, o apantallats, per l'orografia. En particular, es consideren apantallaments d'entre el 10% i el 60% que es corregeixen afegint valors d'entre 1 i 4 dB. En cas que el bloqueig sigui inferior, el feix no és corregit, mentre que, si és superior, el feix es desestima i s'utilitza l'elevació immediatament superior per fer l'EQP. Aquest procediment s'aplica a les quatre primeres elevacions d'escombrats del radar.

A la Taula 4-1 es detallen les correccions a cada tipus d'ocultació segons Fulton et al. (1998). Aquesta correcció s'aplica a tots els píxels del feix del radar a partir del primer píxel interceptat per l'orografia, menystenint-se els efectes de difracció. Pot veure's que la correcció únicament depèn del percentatge de secció transversal del feix del radar que ha quedat ocultada. Fulton no menciona explícitament cap referència a la distribució de potència del feix

que, per tant, podem assumir constant (en contra de la pràctica habitual de suposar una distribució gaussiana amb simetria radial al voltant de l'eix del feix).

Taula 4-1 Correccions d'ocultació parcial NEXRAD.

Ocultació (%)	Correcció (dB)
0-10, >60	0
11-29	+1
30-43	+2
44-55	+3
56-60	+4

Tot això ens permet considerar una funció d'intercepció simplificada, assumint que els factors de correcció additius ja tenen present consideracions sobre els detalls de la geometria d'intercepció tal com els mencionats en relació a la distribució de potència.

Aquest procediment de correcció de bloqueig del feix s'utilitza conjuntament amb d'altres del NEXRAD PPS. Entre ells s'inclou una comprovació de la continuïtat vertical dels ecos (en general la precipitació s'estendrà a diverses elevacions i els ecos de terra no) o l'elaboració d'un escombrat híbrid per sectors (Shedd et al., 1991).

Altres autors han proposat aproximacions al problema del bloqueig topogràfic del radar amb diferents graus de sofisticació (veure per exemple Delrieu et al., 1995, Gabella i Perona 1998, o Michelson et al. 2000). En tots els casos es parteix de la base que el feix del radar es propaga en condicions de propagació estàndar i, per tant, per elles mateixes aquestes correccions també són sensibles a la variació de les condicions de propagació i han d'anar acompanyades amb d'altres tipus de comprovacions addicionals per ser realment robustes.

4.2 Condicions de propagació

Per tal d'avaluar els efectes de la variació de les condicions de propagació sobre el bloqueig del radar s'han utilitzat observacions del radiosondatge de Barcelona. Concretament,

s'han fet servir mesures de les 12 Z obtingudes amb sondes Vaisala model RS-80 llançades entre 1997 i 2000 (Bech et al. 2000).

4.2.1. Radiosondatges i refractivitat

Les sondes mostrejaven cada 10 s proporcionant una resolució vertical major que l'habitual de les mesures operatives d'aquest tipus. Això permet caracteritzar millor la variabilitat de l'índex de refracció de l'aire i, alhora, detectar capes super refractives més primes que haurien passat desapercibudes per observacions de radiosondatge estàndar però que poden tenir efectes significatius en la propagació del feix del radar.

Després d'aplicar un control de qualitat sobre les dades, es van seleccionar 862 radiosondatges representant totes les estacions de l'any, centrant-se l'anàlisi en els primers 1000 m sobre el nivell del terra. Aquest conjunt pot considerar-se una bona representació de la climatologia local i proporciona una àmplia variació de les condicions de propagació per tal d'avaluar els efectes de la variabilitat d'aquestes sobre les correccions del feix del radar per bloqueig topogràfic.

A partir de les dades van calcular-se tres magnituds: ocurrència de capes de guiatge o conductes (*ducts*) en els primers 1000 m d'altura, gradients verticals de refractivitat (GVR) individuals de cada capa i gradients de refractivitat de l'estrat sencer de 1000 m de gruix.

Aquest darrer gradient de tot l'estrat necessàriament proporciona una visió suavitzada (pot ocultar gradients de capes fines molt superiors comparats amb el gradient mitjà de tot l'estrat) però s'ha calculat d'aquesta forma seguint les recomanacions de la Unió Internacional de Telecomunicacions (ITU, 1997).

4.2.2. Distribució de freqüències

Per tal d'obtenir una distribució de freqüències de GVR van agrupar-se les mesures en 21 classes equiespaiades en intervals de 5 km^{-1} , estenent-se de -115 km^{-1} a -15 km^{-1} . La distribució de freqüència i l'histograma del GVR per la capa dels primers 1000 m sobre el nivell del mar a Barcelona es mostra a la Fig. 4-2. La moda del GVR fou de -40 km^{-1} (propagació estàndar) i el valor màxim i mínim foren de -119 km^{-1} i -15 km^{-1} , respectivament. Cal destacar que el 2% de la mostra presentava un GVR inferior a -90 km^{-1} .

Sobre les capes de gruix inferior contingudes a l'estrat dels primers 1000 m, va observar-se que presentaven condicions de guiatge (o *ducting*) en un 37% dels casos analitzats. A més un 60% del total tenien GVR inferiors a 300 km^{-1} (caràcter super refractiu molt marcat).

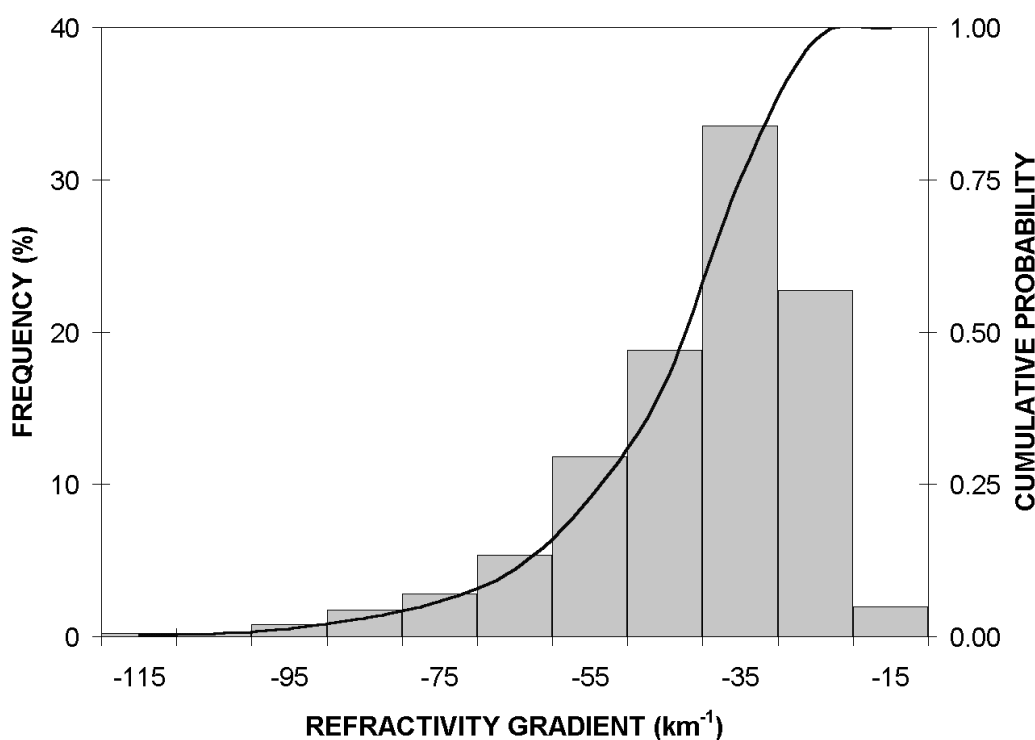


Fig. 4-2 Histograma de freqüències i probabilitat acumulada del GVR de les 12Z a Barcelona.

4.2.3. Variació diària

L'anàlisi d'un major conjunt de dades de radisondatge que contenia observacions de les 00 Z (Bech et al., 2002a), confirma que el subconjunt considerat per aquest estudi, basat en dades de les 12 Z, té un caràcter menys super refractiu del que resulta en considerar dades diürnes i nocturnes. Això és degut a l'efecte dominant del refradament radiatiu nocturn que provoca inversions de temperatura a nivells baixos.

Aquest conjunt major estava format per 2140 radiosondatges (864 de les 12Z i 1276 de les 00Z). A partir de l'anàlisi de les diferències entre les medianes de GVR de les 00 i les 12 va estimar-se l'oscil·lació diària d'aquest valor. En promig, va trobar-se una diferència de 7

unitats N km^{-1} entre les medianes del GVR del migdia i la mitjanit. No obstant, aquest rang varia considerablement al llarg de l'any: als mesos d'estiu pot doblar-se (18 unitats N km^{-1} a l'agost), i a l'hivern es redueix fins a assolir valors de 1 o 2 unitats N km^{-1} .

4.3 Simulació de bloqueig del radar de Vallirana

El radar de Vallirana està ubicat al cim del Puig Bernat (41°22'28" N, 1°52'52" E). Fou instal·lat l'any 1996 per la Universitat de Barcelona i des del 1997 és operat pel Servei Meteorològic de Catalunya. L'antena del radar proporciona una amplada del lòbul principal del feix de 1.3 graus a 3 dB de potència. Per tal d'avaluar la sensibilitat de les correccions de bloqueig a la propagació anòmla s'han considerat diversos blancs (ecos de terra) al voltant del radar de Vallirana. Concretament, es tracta de tres blancs que en condicions de propagació normal presenten bloqueig parcial en ser observats pel radar meteorològic de Vallirana (Fig. 4-3).

4.3.1. Blancs considerats

Quan es va iniciar la instal·lació de la xarxa de radars meteorològics del *Instituto Nacional de Meteorología* (INM) i es van començar a fer observacions radar de forma rutinària, es va veure que algunes zones eren més favorables a la propagació anòmla que d'altres. Així, en elaborar-se els primers mapes d'ecos fixes (o màscares de *clutter*), s'observà que la combinació de topografia complexa i zones costaneres podia reforçar el bloqueig natural per efecte de la propagació anòmla (Camacho i Lamela, 1996).

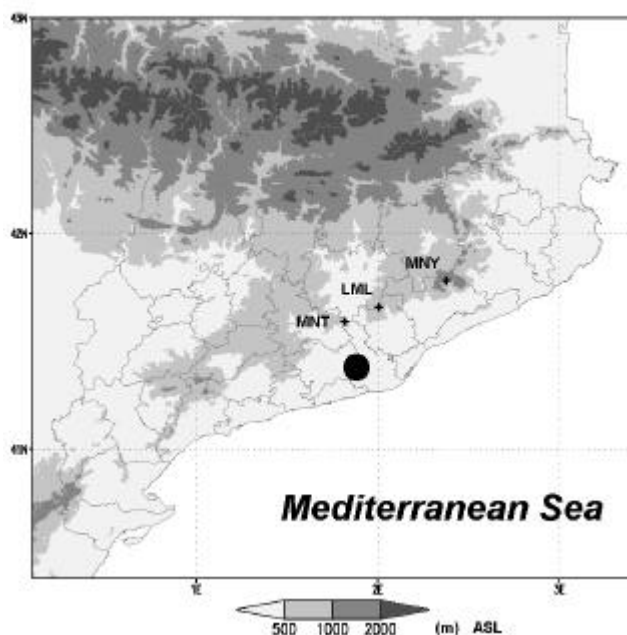


Figura 4-3 Mapa topogràfic de Catalunya on es mostra la posició dels blancs seleccionats (creus) i del radar de Vallirana (cercle).

Catalunya, situada al NE de la Península Ibèrica, presenta una topografia complexa, formada per diverses serralades distribuïdes en diferents orientacions. Els Pirineus dominen el sector nord amb altituds superiors als 3000 m mentre que, més o menys paral·leles a la costa, les serralades litoral i prelitoral s'alcen aproximadament fins als 1700 m (Montseny), 1200 (Montserrat) o 1100 (Sant Llorenç del Munt).

Els blancs escollits s'utilitzen rutinàriament per a la comprovació de l'alineació de l'eix principal de l'antena del radar. La Taula 4-2 llista, per a cada blanc, el nom del massís o muntanya on es troba el blanc, el codi de tres lletres amb el qual s'identifica, la distància al radar i la seva altitud aproximada, obtinguda a partir d'un model digital d'elevacions.

Taula 4-2 Característiques dels blancs considerats

Massís/Cim	Codi del Blanc	Distància (km)	Altitud (m)
Montserrat	MNT	26	1100
La Mola	LML	32	1000
Montseny	MNY	65	1400

Aquests tres blancs presenten diferents graus d'ocultació parcial del feix en condicions de propagació normal, estan a diferents distàncies del radar i tenen diferent altitud, així que poden considerar-se representatius dels obstacles topogràfics que envolten el radar de Puig Bernat.

A més, els blancs estan en en la zona d'interés per a la EQP amb el radar de Vallirana i tots tres es troben a la Serralada Prelitoral, compartint unes condicions de propagació comparables a les donades pel radiosondatge de Barcelona. Per exemple, l'àrea considerada està habitualment influïda per la circulació de la marinada, tal com passa a la pròpia ciutat de Barcelona (Redaño et al., 1991). En estudis preliminars (Bech et al. 2001, Bech et al. 2002b) es van considerar altres obstacles orogràfics ubicats al Pirineu i Prepirineu, que finalment s'han descartat per tal d'assegurar que les dades de propagació del radiosondatge són aplicables a tots els blancs de forma consistent.

4.3.2. Proposta de funció de bloqueig

Assumint l'aproximació habitual de l'òptica geomètrica i considerant tan sols el lòbul principal del diagrama d'antena del radar (Skolnik, 1980), quan el feix del radar intercepta un obstacle, com ara una muntanya, hi ha dues situacions possibles (veure Figura 4-1) : 1) tan sols una part de la secció transversal del feix il·lumina el blanc interceptat (situació coneguda com a *bloqueig parcial*) o bé, 2) el feix del radar queda completamet bloquejat (*bloqueig total*).

El percentatge d'àrea de la secció transversal del feix del radar que queda bloquejada per la topografia pot expressar-se com una funció del radi de la secció transversal del radar, a , i la diferència de l'altura mitjana del terreny i el centre del feix radar, y , (veure Figura 4-4). Depenent de la posició relativa del feix respecte l'obstacle orogràfic, la magnitud y pot prendre valors positius o negatius.

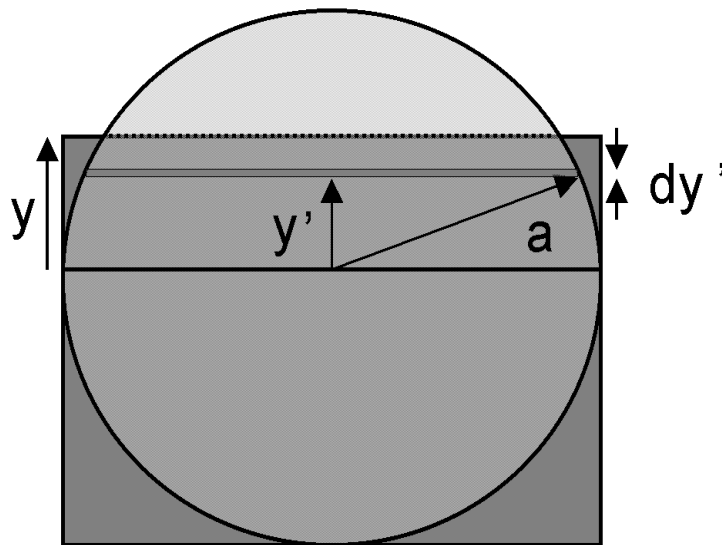


Figura 4-4 Elements considerats en la funció d'intercepció (veure detalls en el text).

D'acord amb aquestes definicions, existeix bloqueig parcial quan $-a < y < a$, bloqueig parcial si es compleix que $y \geq a$ i, finalment, no es produeix bloqueig si es verifica que $y \leq -a$.

Utilitzant la notació introduïda anteriorment, el bloqueig parcial del feix *BPF* pot escriure's (veure Apèndix 2) com:

$$BPF = \frac{y\sqrt{a^2 - y^2} + a^2 \arcsin \frac{y}{a} + \frac{\delta a^2}{2}}{\delta a^2}. \quad \text{Eq. 4-1}$$

D'altra banda, l'altura del centre del feix del radar, h , a una distància r , ve donada per l'expressió (veure, per exemple, Doviak and Zrnic, 1993):

$$h = \sqrt{r^2 + (k_e R)^2 + 2 r k_e R \sin \varphi - k_e R} + H_0, \quad \text{Eq. 4-2}$$

on R és el radi de la Terra, k_e és el quocient entre R i el radi de la terra equivalent, φ l'angle d'elevació de l'antena i H_0 l'altitud de l'antena. La informació sobre les condicions de propagació està continguda en k_e , magnitud que, tal com s'ha vist en capítols anteriors, pot escriure's en termes del gradient de refractivitat com:

$$k_e = \frac{1}{1 + R \left(\frac{dN}{dh} \right)}. \quad \text{Eq 4-3}$$

Com a referència, recordem que el valor habitual de k_e en el primer kilòmetre de la troposfera, assumint el valor normal del GVR de -40 km^{-1} , és aproximadament de $4/3$. Substituint les equacions 4-3 i 4-2 en 4-1, s'obté una expressió del bloqueig del feix del radar en termes de les condicions de propagació i la geometria de la intercepció amb un obstacle orogràfic (poden consultar-se els detalls a l'Apèndix 2).

4.4 Resultat i discussió de la simulació

El bloqueig topogràfic del feix del radar pot simular-se considerant els dos elements descrits anteriorment: d'una banda la informació empírica de les condicions de propagació (continguda en la distribució de freqüències del GVR), i d'altra, la funció d'intercepció del feix amb la topografia. Per efectuar la simulació cal assumir un GVR homogeni per la totalitat del feix del radar i en tota la zona de cobertura on hi ha els blancs analitzats i, posteriorment, calcular el bloqueig associat a cada obstacle topogràfic considerat (Taula 4-3).

4.4.1. Gradient de refractivitat vs bloqueig del feix

La figura 4-5 mostra un conjunt de gràfiques on, per un cert rang de GVR, es calcula el bloqueig associat per diferents angles d'elevació de l'antena del radar. Els valors del gradient de refractivitat considerats contenen els extrems observats (-119 km^{-1} and -15 km^{-1}) i també s'extenen per tal d'incloure la subrefracció pura (0 km^{-1}) i condicions de super refracció molt intensa –gairebé de capa de guiatge o *ducting*– (-156 km^{-1}) per tal d'il·lustrar els efectes en el bloqueig en aquestes situacions límit. Aquests casos extrems semblen plausibles considerant la presència d'estrats de relativament petit gruix mencionats anteriorment (comparats amb els primers 1000 m de la troposfera considerats) però que tenen elevats GVR encara que l'estrat global que els conté presenti un gradient inferior. Això s'explica perquè el corbament del feix del radar és el resultat d'un procés additiu de tota la capa d'aire travessada (la corbatura final integra totes les corbatures experimentades al llarg de tot el camí òptic recorregut pel feix del radar).

Taula 4-3 Correccions per ocultació en diferents condicions.

Gradient Vertical de Refractivitat (unitats N / km)					
	0	-19	-40	-119	-156
BLANC	Correcció de reflectivitat (dB)				
MNT	2	2	2	3	3
LML	0	0	0	1	1
MNY	0	1	1	1	1

Tal com era previsible, en augmentar l'angle vertical de l'antena, el bloqueig es redueix. Per exemple, per un angle d'elevació d'antena de 0.7° cal esperar un bloqueig del feix relativament petit (nul sense obstacles topogràfics) ja que el límit inferior del lòbul principal de l'antena (amb un feix de 1.3° com el del radar de Vallirana) parteix paral·lel a la superfície del terra (estrictament, amb una elevació d'antena de 0.65° , la meitat de 1.3°). No obstant, en els blancs considerats, que lògicament presenten un cert obstacle al feix del radar, es produeixen ocultacions d'entre el 30% i el 80%. D'altra banda, les ocultacions produïdes amb un angle d'elevació d'antena de 1.3° són quasi sempre inferiors al 20% i fins i tot, per alguns

dels blancs, són sempre nul·les tret de produir-se una situació de superrefracció extrema. La simulació amb 1° d'elevació d'antena presenta una situació intermitja entre les dues anteriors.

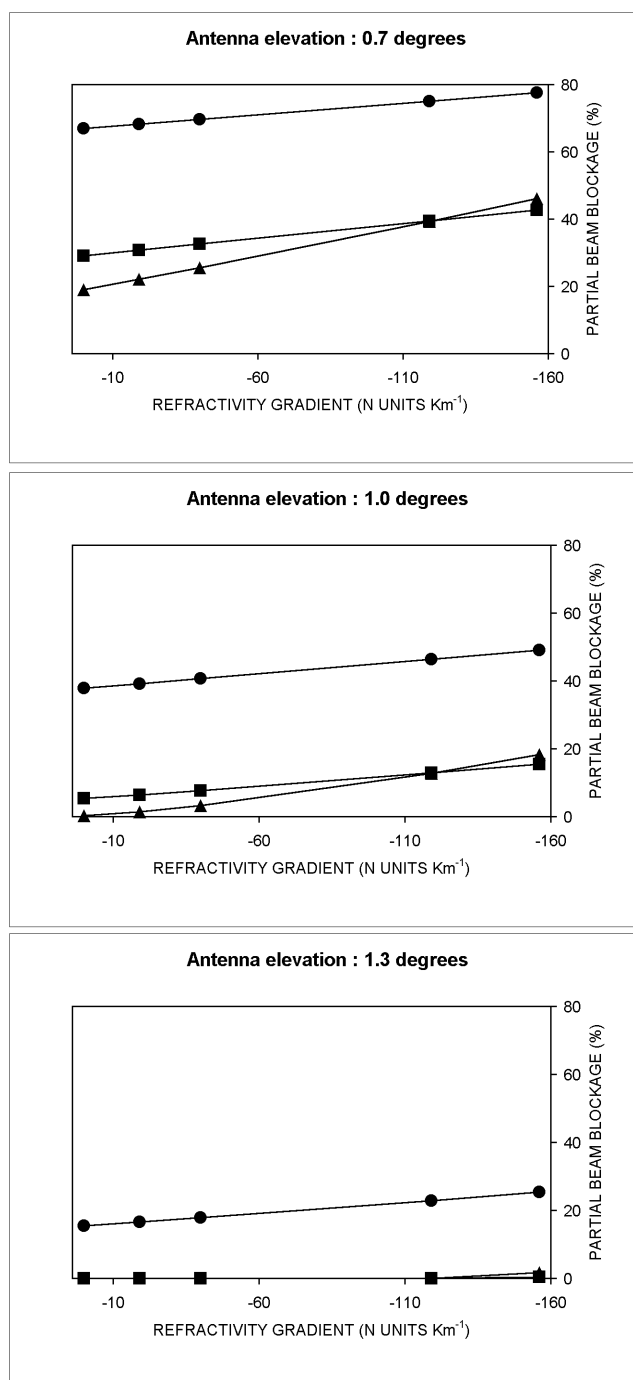


Fig. 4-5. Simulació de bloqueig parcial vs. GVR pels blancs (MNT, cercle; LML, quadrat; i MNY, triangle) per diversos

Depenent de la particular geometria de la intercepció de cada blanc considerat, la variació del bloqueig amb el GVR varia de forma diferent. Per exemple, dels casos mostrats, MNY -el blanc més llunyà-, mostra un bloqueig per situacions refractives molt intenses major del que presenta el blanc LML. En canvi, en la resta de condicions (normals i subrefractives) es dona la situació inversa.

4.4.2. Variabilitat del bloqueig del feix

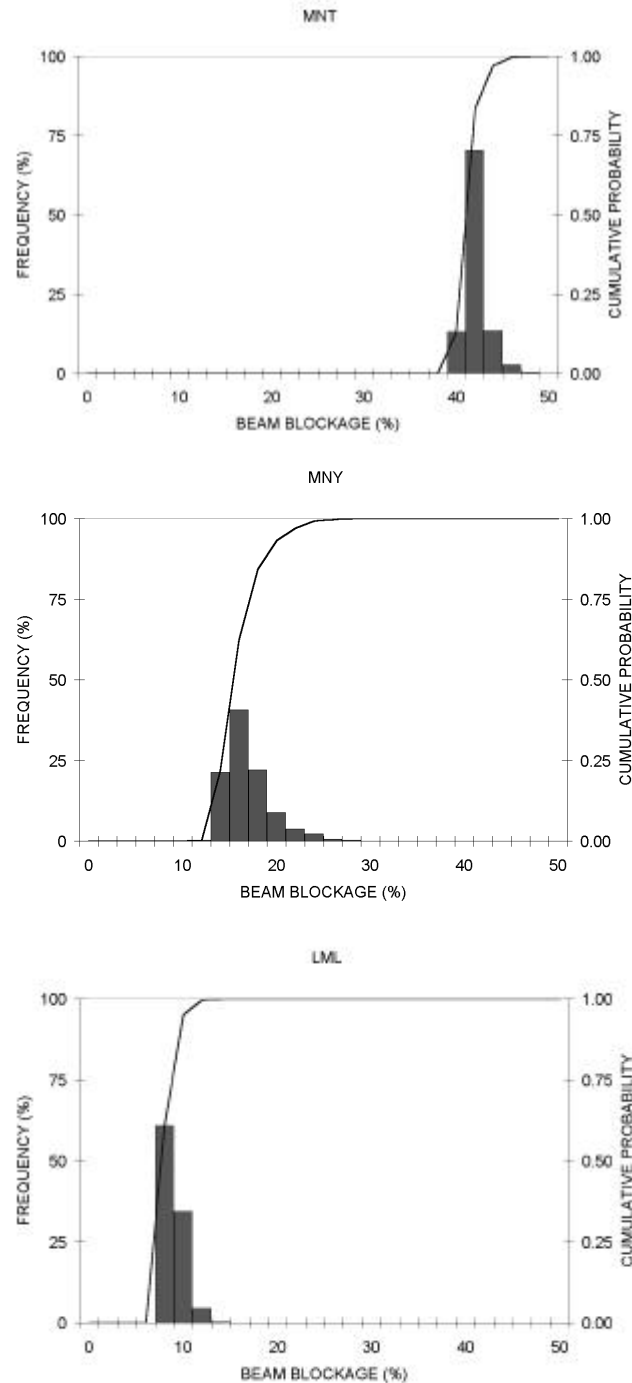
Considerant la distribució de freqüències del GVR obtinguda anteriorment, pot estimar-se la variabilitat del bloqueig del feix per un obstacle topogràfic donat. En aquest cas, l'estimació la farem sense estendre el rang del GVR com s'ha fet abans (incloent valors de GVR extrems), i s'utilitzarà únicament la distribució real del GVR obtinguda empíricament. En principi, això ha de produir un resultat més conservador, o suavitzat, del que es pot esperar en la realitat ja que, a la pràctica, es produeix més superrefracció que la reflectida a l'histograma de distribució de freqüències del GVR.

La figura 4-6 mostra les distribucions de freqüència de bloqueig i la corresponent probabilitat acumulada per diversos blancs interceptats amb un feix obtingut amb un angle d'elevació inicial de 1°. Aquests histogrames s'han construït considerant classes del 2% del bloqueig del feix. Els blancs més propers, MNT i LML, mostren un grau de bloqueig relativament moderat (40%) a baix (10%), respectivament. El blanc més distant, MNY, intercepta el feix del radar entre un 8% i un 14%. El rang de variacions en el feix del radar observat en els blancs anteriors oscil·la entre 8% (LML) i 10% (MNT) fins a 18% (MNY).

A partir de les distribucions acumulades de freqüència pot veure's que tant MNT com LML mostren classes individuals que representen més del 50% del total dels casos, mentre MNY presenta una distribució més suavitzada on els casos queden més repartits. Considerant la correcció de bloqueig aplicada a la xarxa NEXRAD, descrita anteriorment, pot construir-se un histograma avaluant amb quina freqüència s'aplicaria cada nivell de correcció a un blanc topogràfic particular. Això es mostra a la Figura 4-7, on apareix l'histograma de correccions en el valor del factor de reflectivitat equivalent del radar pels diferents blancs donats a la Taula 4.2 tenint present la distribució de bloqueig de la figura anterior. La simulació s'ha fet assumint una elevació inicial d'antena de 1°.

En el cas que la correcció de bloqueig topogràfic del feix del radar considerada, en lloc de ser una funció esglaonada amb tan sols uns pocs valors possibles com la de NEXRAD,

hagués estat una funció contínua (o, estrictament, amb molts més valors possibles), és possible que la dispersió dels histogrames del bloqueig de cada blanc hagués quedat més reflectida en la dispersió de l'histograma de correccions. No obstant, aquest clarament no és el cas del tipus particular de correcció escollida ja que tan sols quatre únics valors correctors són possibles en funció del grau de bloqueig.



4-14 *Fig. 4-6 Histogrames de freqüència i probabilitat acumulada de bloqueig de feix radar considerant intercepcions a un angle d'elevació d'antena de 1° pels diferents blancs.*

Per tant, en general pot afirmar-se que la dispersió del bloqueig (condicionada per la dispersió de les condicions de propagació), no necessàriament implica la mateixa dispersió en la distribució de freqüències de les correccions de bloqueig topogràfic.

Aquest efecte queda il·lustrat pel blanc més distant MNY. En aquest cas una variabilitat relativament elevada en el bloqueig (de 10% al 16%) produeix en realitat dos únics valors possibles de correccions, exactament com passa amb els altres dos blancs que tenen una variabilitat de bloqueig inferior. El canvi d'un factor de correcció a l'altre es produeix sempre en condicions de superrefracció, per la qual cosa, en aquest cas, la subrefracció no és prou significativa per a produir canvis rellevats en l'histograma de bloqueig topogràfic. De fet això podia anticipar-se a partir de la distribució de freqüències del GVR, la qual presenta una cua molt més reduïda en la zona subrefractiva que en la superrefractiva.

Malgrat la variabilitat mostrada en la correcció de bloqueig cal destacar que, en els tres blancs considerats, la correcció de bloqueig més habitual es produeix més del 85% del temps. Per tant, en principi, pot concloure's que la correcció de bloqueig NEXRAD és prou estable i robusta amb les condicions de propagació considerades de la zona de Barcelona.

No obstant, l'existència de capes de guiatge intenses (o *ducts*, en la terminologia anglesa habitual) revelades per l'anàlisi dels radiosondatges sembla indicar que, a la pràctica, els valors de les correccions simulades que es donen a la Taula 4-3 podrien arribar a superar-se. Tot i que és difícil quantificar de forma precisa els efectes de les capes amb superrefracció intensa sobre el feix (caldrà considerar una funció d'intercepció molt més sofisticada, fora de l'abast dels mitjans operatius actuals per ser aplicada en temps real), la possibilitat d'efectes més importants sobre el bloqueig sembla que hauria de considerar-se d'acord amb les condicions de propagació avaluades en un indret particular.

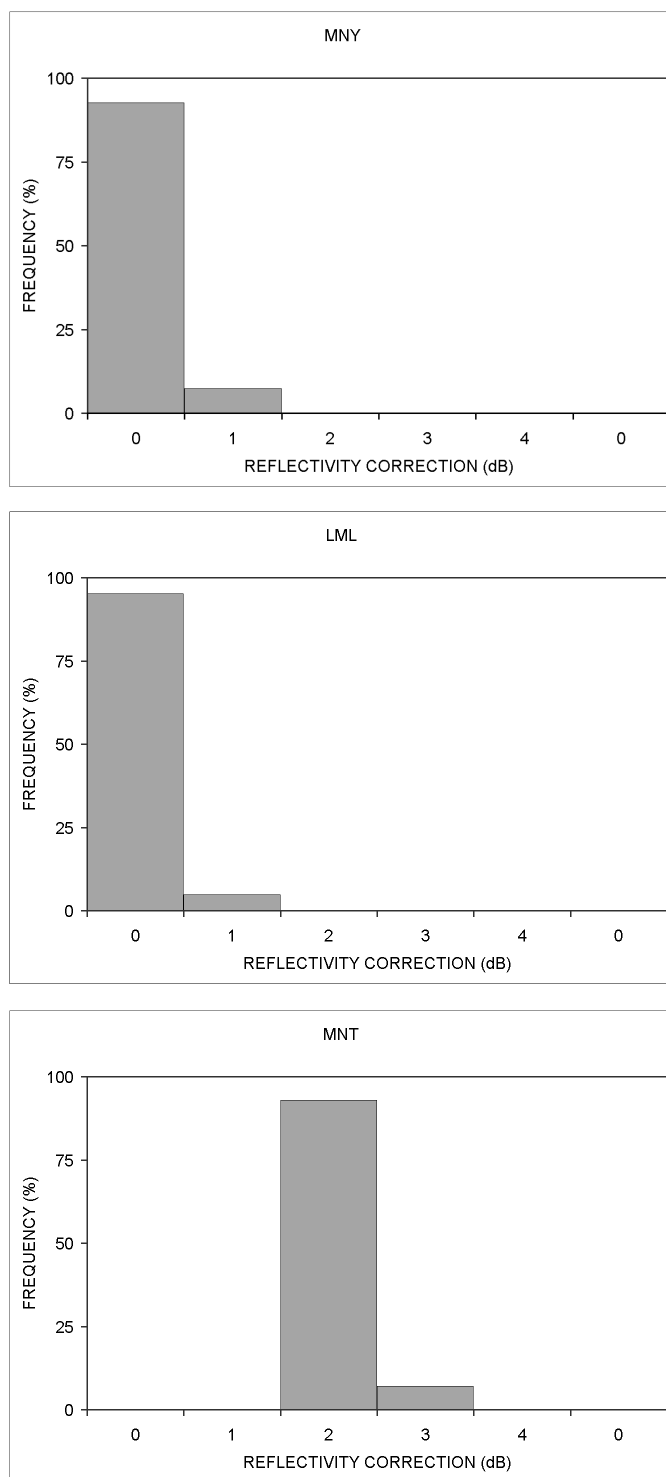


Fig. 4-7 Histogrames de freqüència de correccions de bloqueig de feix radar considerant intercepcions a un angle d'elevació de 1° pels diferents blancs.

4.4.3. Rang diürn del GVR

Com s'ha comentat a la secció segona d'aquest capítol, l'amplitud o rang diürn mitjà anual del GVR s'ha estimat en uns 7 km^{-1} , amb importants variacions estacionals que fan que, per exemple, a l'estiu aquest valor s'estengui a 18 km^{-1} . A partir d'aquesta informació pot plantejar-se la qüestió de quina variació diària pot experimentar el bloqueig del feix i, per tant, quina variació en els factors de correcció associats es produeix dins d'un període diari.

Per respondre aquesta pregunta s'han realitzat simulacions del bloqueig del feix radar amb una elevació inicial d'antena de 1° avaluades als tres blancs seleccionats considerant les dues possibles amplituds: d'una banda la simulació estàndar de les 00Z i, per cada GVR considerat, l'estimada corresponent a les 12 Z per un rang anual mitjà i estival (Figura 4-8). Pot apreciar-se que les diferències en el bloqueig provocades pels rangs considerats són relativament petites (entre 1% i 2% de bloqueig). Per tant, es pot concloure que l'efecte de la variació diària és molt limitat sobre el bloqueig i, en general, nul sobre les correccions de bloqueig (tret dels casos particulars que l'ocultació estigui al límit de dues classes de correcció com ara el 10%, 29%, 43% o el 55% de bloqueig).

Una altre comentari sobre l'efecte de la variació del rang diürn del GVR és que, atès que el seu efecte és relativament petit a escala diària, no ho és tant en períodes temporals més extensos. Així doncs, sí que és possible que sigui significatiu a escala mensual i estacional.

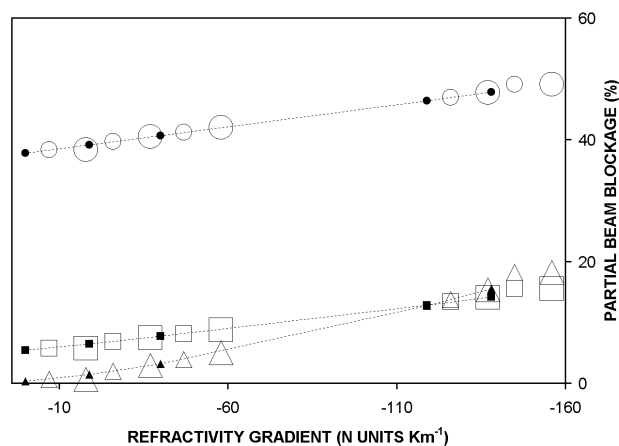


Figura 4-8 Simulació del diferent bloqueig causat per l'oscil·lació diària del GVR: els símbols sòlids petits corresponen a les 12 Z i els mitjans i grans a les 00 Z per una oscil·lació promig anual i estival, respectivament. Els tres blancs considerats són: MNT (cercle), LML (quadrat), i MNY (triangle).

4.4.4. Precisió de l'alineament de l'antena

Una altra font de variabilitat en les correccions d'ocultació és la precisió de l'alineació de l'eix principal de l'antena amb l'horitzó del radar. Com succeeix en qualsevol equip de mesura, l'angle d'elevació de l'antena d'un radar té un cert error associat. Per antenes de radars meteorològics operatius estàndars (amb amplada del lòbul principal del feix de 1°) sol existir un error de calibració al voltant de 0.1° . Aquest error és degut a la diferència entre l'angle real del sistema de control de l'antena respecte l'horitzó del radar (els sistemes mecànics de control d'antena proporcionen precisions al voltant de 0.01°). Igualment existeix un error associat a l'azimut de l'antena que sovint té un valor similar a l'anterior, o lleugerament superior, pel fet de no ser tan crític. En aquest cas s'avalua l'efecte de l'error en l'angle vertical de l'antena.

De fet, en radars de recerca l'error d'alineació vertical de l'antena pot ser sensiblement inferior si bé la metodologia per aconseguir-los és relativament costosa i, per aquest motiu, els radars operatius solen tenir l'error esmentat. En general, però, si un radar meteorològic vol utilitzar-se amb finalitats quantitatives (per exemple per fer EQP) cal que l'error associat a l'alineació de l'antena sigui inferior a 0.1° .

La figura 4.9 mostra la simulació del bloqueig del feix radar als tres blancs seleccionats per un angle inicial d'antena de 1° d'elevació comparant l'efecte d'errors d'alineació d'antena. D'una banda es suposa que no existeix error (el feix es comporta segons l'angle nominal de 1°) i també es representa en la figura el bloqueig assumint errors mitjans estàndar de 0.10° i 0.05° (quatre simulacions més amb l'angle nominal $+0.10^\circ$, $+0.05^\circ$, -0.05° i -0.10° , respectivament).

Pot veure's que els errors causats per errors de 0.1° són molt rellevants i tenen efectes significatius, comparables o fins i tot molt superiors als causats per les variacions màximes possibles en el GVR (al voltant del 10% del bloqueig). Els errors de 0.05° indueixen variacions d'un 5% en el bloqueig topogràfic del feix. Per tenir una referència, aquest valor és més del doble del que es produeix a causa de l'amplitud diürna estival del GVR.

Per tant, la importància d'una bona calibració de l'antena (amb errors inferiors a 0.1° i a ser possibles de l'ordre de 0.05°) queda clara per tal de poder efectuar EQP i realitzar de forma consistent les correccions necessàries en cas de bloqueig topogràfic.

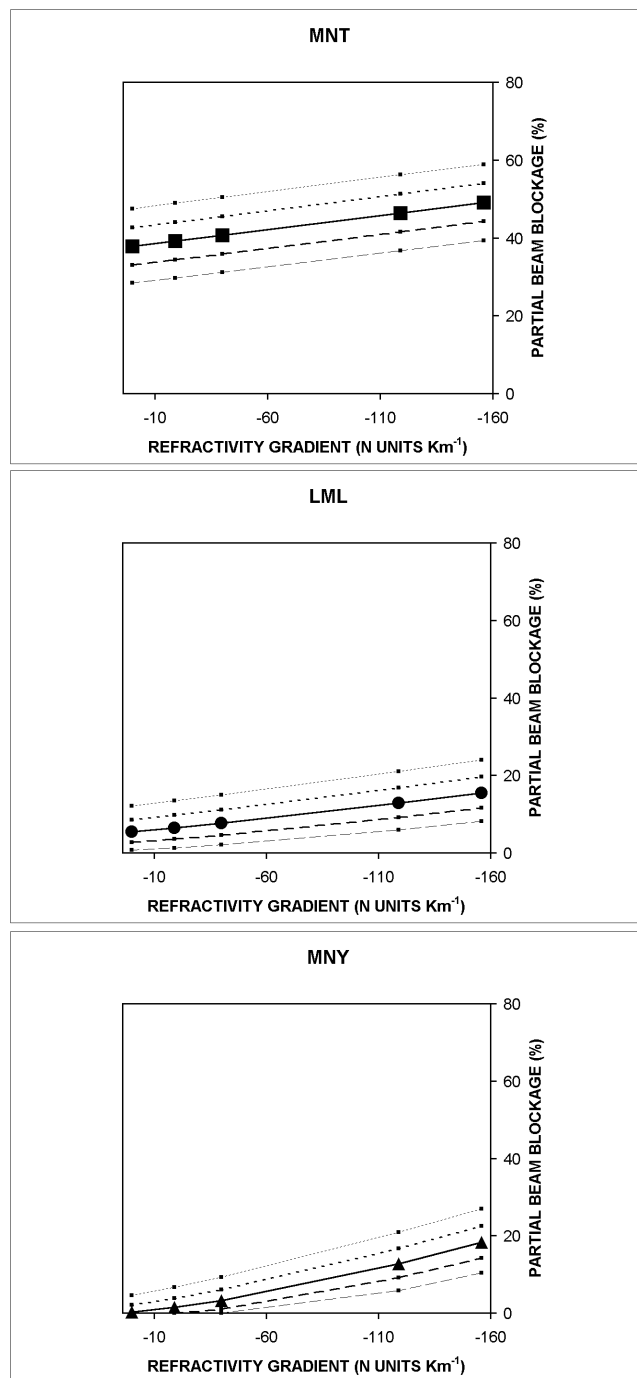


Figura 4-9 Comparació del diferent bloqueig d'un feix amb elevació de 1° amb el corresponent a errors estàndar de 0.10° i 0.05° en la precisió de l'antena.

Referències

- Alberoni, P.P., V. Levizzani, R. J. Watson, A R. Holt, S. Costa, P. Mezzasalma, and S. Nanni, 2000: The 18 June 1997 companion supercells: multiparametric Doppler radar analysis. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **75**, 101-120.
- Bech, J., A. Sairouni, B. Codina, J. Lorente, and D. Bebbington, 2000: Weather radar anaprop conditions at a Mediterranean coastal site. *Phys. Chem. of the Earth (B)*, **25**, 829-832.
- Bech, J., B. Codina, J. Lorente, D. Bebbington D., 2001: Anomalous propagation effects on weather radar beam blockage corrections. 30th American Met. Soc. International Conference on Radar Meteorology, p. 267-268.
- Bech, J., B. Codina, J. Lorente, and D. Bebbington, 2002a: 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., B. Codina, J. Lorente, and D. Bebbington, 2002b: COST 717 Working Document. Weather radar beam blockage sensitivity to anomalous propagation conditions. [Available at <http://www.smhi.se/cost717>]
- Bechini, R., E. Gorgucci, G. Scarchilli, and S. Dietrich, 2002: The operational weather radar of Fossalon di Grado (Gorizia, Italy): accuracy of reflectivity and differential reflectivity measurements. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **79**, 275-284.
- Blackman, T. M., and A.J. Illingworth, 1995: Improved measurements of rainfall using differential phase techniques. COST 75 Int. Seminar on Weather Radar Systems, ed. C.G. Collier, EUR 16013 EN.
- Camacho, J. L., and P. Lamela, 1996: Mapping blocked and blind areas in the Spanish INM radars. COST 75 Working Document, 11pp. [Available from Instituto Nacional de Meteorología (INM), Apartado 285, 08080 Madrid, Spain]

- Collier, C.G., 1996: *Applications of weather radar systems*. Wiley, 390 pp.
- Delrieu, G., J. D. Creutin, and H. Andrieu, 1995: Simulation of radar mountain returns using a digitized terrain model. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **12**, 1038-1049.
- Doviak, R. J., and D. S. Zrnic, 1993: *Doppler radar and weather observations*. Academic Press, 562 pp.
- Fulton R.A., Breidenbach, J.P., D. Seo, D. Miller, and T. O'Bannon, 1998: The WSR-88D Rainfall Algorithm. *Wea. Forecasting*, **13**, 377-395.
- Gabella, M., and G. Perona, 1998: Simulation of the orographic influence on weather radar using a geometric-optics approach, *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 1486-1495.
- Hagen, M., H. H. Schiesser, and M. Dorninger, 2000: Monitoring of mesoscale precipitation systems in the Alps and the Northern Alpine Foreland by radar and rain gauges. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **72**, 87-100.
- Harrold, T., E. English, and C. Nicholass, 1974: The accuracy of radar-derived rainfall measurements in hilly terrain. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **100**, 201-208.
- ITU, 1997: The Radio Refractive Index: Its Formula and Refractivity data. ITU-R P.453-6 Recommendation. ITU Radiocommunication Assembly, *ITU-R P-Series*, 9 pp.
- Joss, J., and A. Waldvogel, 1990: Precipitation measurement and hydrology, a review. *Radar in Meteorology*, D. Atlas, Ed., American Meteorol. Soc., Boston, ed. D. Atlas, Chapter 29a, pp. 577-606
- Joss, J., and R. Lee, 1995: The application of radar-gauge comparisons to operational precipitation profile corrections, *J. Appl. Meteor.*, **34**, 2612-2630.
- Kitchen, M., R. Brown, A.G. Davies, 1994: Real-time correction of weather radar data for the effects of bright band, range and orographic growth in widespread precipitation, *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, **120**, 1231-1254.

- Meischner P., C.G. Collier, A. Illingworth, J. Joss, W. Randeau, 1997: Advanced weather radar systems in Europe: the COST 75 action. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**, 1411-1428.
- Michelson, D. B., T. Andersson, J. Koistinnen, C. G. Collier, J. Riedl, J. Szturc, U. Gjertsen, A. Nielsen, S. Overgaard, 2000: *BALTEX radar data centre products and their methodologies*. RMK **90**. Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköpping, Sweden.
- Newsome, D.H., 1992: *Weather Radar Networking COST Project 73 Final Report*, Kluwer Academic Publishers, 254 pp.
- Pittman T.S. (1999), A climatology-based model for long-term prediction of radar beam refraction, Master's Thesis, US Air Force Institute of Technology, 184 pp
- Redaño, A., J. Cruz and J.Lorente, 1991: Main features of sea breeze in Barcelona, *Meteorol. Atmos. Phys.*, **46**, 175-179
- Ryzhkov A. V., and D. S. Zrnic, 1998: Polarimetric rainfall estimation in the presence of anomalous propagation. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 1320-1330.
- Sauvageot, H., 1994: Rainfall measurement by radar: a review. *Atmos. Res.*, **35**, 27-54.
- Seltnann, J. E. E., Reidl, J., 1999: Improved clutter treatment within the German radar network: first results. Advanced Weather Radar Systems, Inter. Seminar on COST 75, Locarno, European Communities, Bruxelles, Belgium, pp. 267-279.
- Shedd, R., J. Smith, and M. Walton, 1991: Sectorized hybrid scan strategy of the NEXRAD precipitation-processing system. *Hydrological Applications of Weather Radar*, I. Cluckie and C. Collier, Eds. Ellis Horwood Limited, 151-159.
- Skolnik, M., 1980: *Introduction to radar systems*. New York, McGraw-Hill, 581 pp.
- Smith, P. L., Jr., 1998: On the minimum useful elevation angle for weather surveillance radar scans. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **15**, 841-843.

- Vivekanandan, J., D. N. Yates, and E. Brandes, 1999: The influence of terrain on rainfall estimates from radar reflectivity and specific propagation phase observations. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **16**, 837-845.
- Volkert, 2000: Heavy precipitation in the alpine region (HERA): areal rainfall determination for flood warnings through in-site measurements, remote sensing and atmospheric modelling. *Meteorol. Atmos. Phys.*, **72**, 73-85.
- Westrick, K., C. Mass, and B. Colle, 1999: The limitations of the WSR88-D radar network for quantitative precipitation measurement over the coastal western United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **80**, 2289-2298.
- Zrnic, D., and A. Ryhkov, 1996: Advantages of rain measurements using specific differential phase. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **13**, 454-464.

CAPÍTOL 4. PROPAGACIÓ ANÒMALA I BLOQUEIG TOPOGRÀFIC.....	4-1
4.1 BLOQUEIG TOPOGRÀFIC.....	4-1
4.1.1. <i>Introducció al problema del bloqueig.....</i>	<i>4-1</i>
4.1.2. <i>Correccions de bloqueig topogràfic</i>	<i>4-3</i>
4.2 CONDICIONS DE PROPAGACIÓ.....	4-4
4.2.1. <i>Radiosondatges i refractivitat.....</i>	<i>4-5</i>
4.2.2. <i>Distribució de freqüències</i>	<i>4-5</i>
4.2.3. <i>Variació diària</i>	<i>4-6</i>
4.3 SIMULACIÓ DE BLOQUEIG DEL RADAR DE VALLIRANA	4-7
4.3.1. <i>Blancs considerats.....</i>	<i>4-7</i>
4.3.2. <i>Proposta de funció de bloqueig</i>	<i>4-9</i>
4.4 RESULTAT I DISCUSSIÓ DE LA SIMULACIÓ.....	4-10
4.4.1. <i>Gradient de refractivitat vs bloqueig del feix</i>	<i>4-11</i>
4.4.2. <i>Variabilitat del bloqueig del feix</i>	<i>4-13</i>
4.4.3. <i>Rang diürn del GVR.....</i>	<i>4-17</i>
4.4.4. <i>Precisió de l'alineament de l'antena</i>	<i>4-18</i>
REFERÈNCIES	4-20