

10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades

ESTEBAN ABELLÁN VILLARDÓN

Setembre 2010

Màster en Meteorologia UB
Tutor: Dr. Bernat Codina

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ.....	7
1. EL RADIOSONDATGE	
1.1. Què és un radiosondatge?.....	9
1.2. Història dels radiosondatges.....	10
1.3. Els radiosondatges en l’actualitat. Una eina indispensable.....	13
1.4. El radiosondatge de Barcelona.....	16
1.5. Altres sondatges atmosfèrics.....	18
2. INSTRUMENTACIÓ	
2.1. La radiosonda.....	19
2.1.1. Temperatura.....	23
2.1.2. Pressió.....	25
2.1.3. Humitat.....	26
2.1.4. Vent.....	28
2.1.5. Geopotencial.....	29
2.2. La preparació del sondatge (<i>Ground Check</i>).....	30
2.3. El globus.....	32
2.3.1. Gasos emprats en l’inflament dels globus.....	35
2.4. El <i>software</i>	35
3. ARXIU DE DADES I REPRESENTACIONS DEL RADIOSONDATGE	
3.1. Codis <i>temp</i> i <i>text</i>	39
3.2. Diagrames termodinàmics.....	45
4. CONROL DE QUALITAT DE DADES	
4.1. Base de dades.....	49
4.2. Precedents.....	49
4.3. Filtres emprats.....	50
4.3.1. Filtre zero.....	51
4.3.2. Filtre A1.....	51
4.3.3. Filtre A2.....	52
4.3.4. Filtre A3.....	52
4.3.4. Filtre A4.....	52
4.3.5. Filtre B1.....	53
4.3.6. Filtre B2.....	54
4.4. Resultats.....	54
4.4.1. Filtres aplicats als fitxers de codi text.....	54
4.4.2. Filtres aplicats als fitxers de codi temp.....	85
5. TRACTAMENT ESTADÍSTIC	
5.1. Procediment.....	97
5.2. Sèrie meteorològica 2000-2009.....	99

6. REANÀLISI	
6.1. Procediment.....	106
6.2. Resultats.....	107
CONCLUSIONS.....	116
COMENTARIS.....	117
REFERÈNCIES.....	118

ÍNDIX DE TAULES I FIGURES

Capítol 1

Fig. 1.1.	Estructura vertical de l'atmosfera terrestre.....	9
Fig. 1.2.	Germans Montgolfier.....	10
Fig. 1.3.	Equip de mesures meteorològiques a bord d'un globus aerostàtic a Alemanya a finals del segle XIX.....	11
Fig. 1.4.	Professor Vilho Väisälä.....	12
Fig. 1.5.	Primer prototipus de radiosonda, la primera entrega de radiosondes Vaisala (RS11) i un model de receptor de radiosonda de 1942.....	12
Fig. 1.6.	Sistema de sondatge manual i quarta generació de radiosondes.....	13
Fig. 1.7.	Mapa global d'algunes estacions de radiosondatge actualment.....	13
Fig. 1.8.	Estacions de radiosondatge al voltant de la nostra àrea geogràfica.....	14
Fig. 1.9.	Mapa d'ASAP i radiosondatge a bord d'un vaixell.....	14
Fig. 1.10.	Observacions meteorològiques.....	15
Fig. 1.11.	Preparació d'un sondatge l'any 1914. Preparació llançament.....	16
Fig. 1.12.	Localització de l'estació de radiosondatge de Barcelona.....	17

Capítol 2

Fig. 2.1.	Radiosonda Vaisala RS92-SGP.....	19
Fig. 2.2.	Parts d'una radiosonda.....	21
Fig. 2.3.	Bateria seca RSB511 i bateria activada amb aigua RSB912P.....	22
Fig. 2.4.	Radiosonda Vaisala RS92-SGP.....	24
Fig. 2.5.	Col·locant el sensor de pressió en la posició correcte pel llançament.....	26
Fig. 2.6.	Radiosonda RS-92, sense GPS.....	27
Fig. 2.7.	<i>Ground Check</i> Vaisala GC25.....	30
Fig. 2.8.	Imatges d'estacions automàtiques de radiosondatge de VAISALA.....	32
Fig. 2.9.	Accessoris opcionals del radiosondatge.....	34
Fig. 2.10.	Estat de l'equip de sondatge després de la caiguda.....	34
Taula 2.1.	Gruix i diàmetre del globus.....	35
Fig. 2.11.	Cara frontal del subsistema processador de sondatge.....	36

Capítol 3

Fig. 3.1.	Primeres dades d'un fitxer <i>text</i>	40
Fig. 3.2.	Fitxer <i>temp</i> complet de la mateixa observació que la figura anterior.....	41
Fig. 3.3.	Perfils verticals de temperatura segons nivells.....	42
Fig. 3.4.	Ídem.....	43
Fig. 3.5.	Radiosondatges bessons.....	44
Taula 3.1.	Trets característics dels diagrames termodinàmics.....	46
Fig. 3.6.	Diagrama Skew-T.....	46
Fig. 3.7.	Diagrama Stüve.....	47
Fig. 3.8.	Emagrama.....	47
Fig. 3.9.	Tefigrama.....	48

Capítol 4

Fig. 4.1.	Totes les estacions de radiosondatge que formen part de l'IGRA.....	50
Taula 4.1.	Intervals vàlids de les variables meteorològiques observades.....	51
Taula 4.2.	Lindars de pressió.....	52
Taula 4.3.	Diferències entre valors consecutius d'una mateixa variable.....	53

Taula 4.4. Llindars mínims i màxims de temperatura, geopotencial, etc.....	54
Taula 4.5. Diferències màximes entre dos valors consecutius.....	54
Fig. 4.2. Gràfica amb el nombre de fitxers de codi text que presenten algun tret característic classificat segons els anys i el tipus de problema detectat.....	55
Fig. 4.3. Percentatge d'observacions que presenten algun tipus d'error.....	55
Fig. 4.4. Ídem.....	56
Fig. 4.5. Percentatge d'observacions de cada filtre.....	56
Fig. 4.6. Part del fitxer 01103000.txt.....	57
Fig. 4.7. Línia de dades totalment desplaçada.....	57
Fig. 4.8. Part del fitxer 01071500.txt.....	58
Fig. 4.9. Llançament 08012112 repetit.....	58
Fig. 4.10. Codi PILOT entremig de les dades del sondatge.....	59
Fig. 4.11. Format il·legible.....	59
Fig. 4.12. Petita part del resultat d'aplicar el filtre A1 a l'any 2002.....	60
Fig. 4.13. Imatge del fitxer .txt del radiosondatge 02071200.....	61
Fig. 4.14. Dada de pressió incompleta en el radiosondatge 02071812.....	62
Fig. 4.15. Representació gràfica de valors propers a la dada que hi manca.....	62
Taula 4.6. Valors de Z, T i gradient vertical d'un radiosondatge incomplet.....	63
Fig. 4.16. Variació de la T segons Z de la mateixa observació anterior.....	64
Fig. 4.17. Radiosondatge 01021600 on hi manca un valor d'humitat relativa.....	64
Fig. 4.18. Ídem però d'un altre dia on conté el punt de saturació i la T.....	65
Fig. 4.19. Radiosondatge 02071712, on falta xifra decimal al punt de rosada.....	65
Fig. 4.20. Primers radiosondatges detectats pel filtre A1 l'any 2008.....	66
Fig. 4.21. Sondatge 08022100, on la T excedeix el límit inferior del filtre A1.....	67
Fig. 4.22. Temperatures i humitat relativa del radiosondatge anterior.....	67
Fig. 4.23. Camp de T a 30 hPa el dia 21 de febrer de 2008 a les 00 UTC.....	68
Fig. 4.24. Diagrama d'Stüve del radiosondatge 09111512.....	68
Fig. 4.25. Mapa de T a la TRP el dia 15/11/2009 a les 12 UTC.....	69
Fig. 4.26. Primeres dades del radiosondatge 04090700.....	70
Fig. 4.27. Representació gràfica de la variació de la P segons Z.....	70
Fig. 4.28. Velocitat vertical del globus molt baixa.....	71
Fig. 4.29. Exemple del filtre A4 aplicat a totes les observacions de l'any 2009.....	71
Fig. 4.30. Percentatge de tots els radiosondatges detectats pel filtre A4.....	72
Fig. 4.31. Fort gradient vertical del grau d'humitat relativa.....	72
Fig. 4.32. Emagrama del mateix dia que la figura anterior.....	73
Fig. 4.33. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 09021600 de Palma.....	74
Fig. 4.34. Radiosondatge 08092400.....	74
Fig. 4.35. Imatge del canal infraroig 10.8 µm del satèl·lit METEOSAT 9.....	75
Fig. 4.36. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 07012300.....	76
Fig. 4.37. Radiosondatge 04011100 amb canvi de T brusc.....	76
Fig. 4.38. Emagrama del radiosondatge 04011100.....	77
Fig. 4.39. Mapa global de la concentració d'ozó estratosfèric.....	77
Fig. 4.40. Radiosondatge de Palma a la mateixa hora que la figura anterior.....	78
Fig. 4.41. Diagrama termodinàmic del radiosondatge de Madrid.....	79
Fig. 4.42. Camp de T a 20 hPa el dia 10 de gener de 2004 a les 12 UTC.....	79
Fig. 4.43. Emagrama del radiosondatge 03091912.....	80
Fig. 4.44. Radiosondatge 03021412 on es detecta clarament errors d'HR.....	80
Fig. 4.45. Primeres dades del fitxer 06022200.txt.....	81
Fig. 4.46. Representació gràfica del radiosondatge 99121200.....	81
Fig. 4.47. Dades sospitoses del radiosondatge representat a la figura anterior.....	82
Fig. 4.48. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 99121200 de Nimes.....	82

Fig. 4.49. Valor de la temperatura en superfície incorrecte.....	83
Fig. 4.50. Valor de la temperatura que s’ha detectat amb el filtre A4.....	83
Fig. 4.51. T enregistrada cada 30’ a Esplugues el 12 /02/2007.....	84
Taula 4.7. Comparació de T entre la ciutat comtal i les illes Balears.....	84
Fig. 4.52. Inici del fitxer 700 hPa.dat.....	85
Fig. 4.53. Primers fitxers temp detectats pel filtre B1 al nivell de 850 hPa.....	86
Fig. 4.54. Nombre d’observacions que han sigut detectades pel filtre B1.....	86
Fig. 4.55. Nivell de 925 hPa repetit.....	87
Fig. 4.56. Camp de T a 850 hPa al Mediterrani Occidental el dia 07/07/2000.....	87
Fig. 4.57. Fitxer temp del dia 01102900 en que manquen algunes dades.....	88
Fig. 4.58. Parts d’interès del fitxer text del dia 01102900.....	88
Fig. 4.59. Variació de l’altura amb la pressió del sondatge 01102900.....	89
Fig. 4.60. Fitxer temp del dia 01102900 completat a partir del fitxer text.....	89
Fig. 4.61. Fitxer temp del dia 01102812, amb format incorrecte.....	89
Fig. 4.62. Camp de T a 500 hPa el dia 27/07/2002.....	90
Fig. 4.63. Camp de T a 500 hPa el dia 01/03/2004.....	90
Fig. 4.64. Camp d’isotaques a 300 hPa el dia 21/06/2008.....	91
Fig. 4.65. Camp de geopotencial a 850 hPa el 5/03/2009.....	91
Fig. 4.66. Radiosondatges totals detectats pel filtre B2.....	92
Fig. 4.67. Radiosondatges detectats pel filtre B2 aplicat al nivell de 400 hPa.....	92
Fig. 4.68. Camp de T a 500 hPa el dia 07/02/2002.....	93
Fig. 4.69. Camp de Z a 500 hPa el dia 18/01/2004.....	94
Fig. 4.70. Pressió reduïda a nivell del mar el 24/01/2009.....	95

Capítol 5

Fig. 5.1. Part del radiosondatge del 6 d’agost de 2010 a les 12 en el codi <i>text</i>	96
Fig. 5.2. Part del fitxer <i>.tem</i> de la mateixa observació que la figura anterior.....	96
Fig. 5.3. Encapçalament i primera part del fitxer <i>temp</i> d’un dia qualsevol.....	97
Fig. 5.4. Nombre de dades que manquen en els fitxers temp.....	98
Fig. 5.5. Superfície isobàrica de 1000 hPa es trobava a 38 m.....	99
Taula 5.1. T mitjanes anuals per cada nivell estàndard i valor mig i desv. Est.	99
Fig. 5.6. Representacions gràfiques de la T mitjana anual.....	101
Fig. 5.7. Representacions gràfiques de T per cada observació.....	104

Capítol 6

Fig. 6.1. Línies de <i>grid</i> establertes en els mapes de reanàlisi de NCEP-NOAA.....	105
Fig. 6.2. T mitjanes anuals des de 1950 a 2009 de reanàlisi NCEP-NOAA.....	108
Taula 6.1. Rectes de regressió, valor mig i desviació estàndard de les fig. anteriors.....	108
Fig. 6.3. Temperatura mitjana anual segons la variació en Z i temps.....	109
Fig. 6.4. Anomalia de T mitjana anual segons la variació a Z-t.....	109
Fig. 6.5. Anomalia global de la T a diferents zones de l’atmosfera.....	111
Fig. 6.6. Tendències de la T lineals (°C per dècada).....	111
Fig. 6.7. Tendència global de la T pel període 1979-2005.....	112
Fig. 6.8. Comparació de T mitjanes anuals radiosonda vs. reanàlisi.....	113
Fig. 6.9. Diferències de T entre les radiosondatges i reanàlisi.....	114

La finalitat del document que es presenta és realitzar un exhaustiu control de qualitat de les dades mesurades a l'estació de radiosondatge de Barcelona al llarg d'una dècada (2000-2009). Alguns filtres implementats per Durre et al. (2008) en el projecte IGRA (*Integrated Global Radiosonde Archive*) i d'altres d'elaboració pròpia, es posaran en pràctica a la base de dades de l'estació 08190. Un cop els valors erronis són eliminats o corregits, segons els casos, es presenta la sèrie termomètrica d'aquests darrers deu anys així com la correlació amb la base de dades de reanàlisi d'NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*).

ABSTRACT

The main aim of this dissertation is to implement a robust quality control of the data obtained from the Barcelona rawinsonde station throughout a decade (2000-2009). Some checks used by Durre et al. (2008) in the IGRA (Integrated Global Radiosonde Archive) project and others created by myself will be used at 08190 station data set. When erroneous values are either deleted or corrected, depending on the case, the clear data set is shown as well as its comparison with the data set of reanalysis by NCEP (National Centers for Environmental Prediction).

Introducció

Des de les primeres societats organitzades, l'ésser humà ha sentit una gran fascinació i interès per a conèixer i intentar predir els fenòmens atmosfèrics, ja que aquests els influenciaven molt. A diferència d'altres branques de la física com la quàntica o l'atòmica, l'observació dels meteors no requereix cap laboratori ni cap especialista en la matèria ja que simplement mirant cap a l'horitzó des d'una finestra es poden contemplar una diversitat de processos físics. Tanmateix, durant molts segles, l'observació era l'única eina per intentar entendre el que succeïa a l'atmosfera. Amb el desenvolupament dels globus aerostàtics i la invenció de la radiosonda es va iniciar un mètode eficaç, i ben establert avui dia, per explorar la part inferior de l'atmosfera: el radiosondatge.

Les dades que s'obtenen en les estacions meteorològiques terrestres donen una idea de les condicions dominants sobre la superfície terrestre. La descripció de l'estat de l'atmosfera resulta incompleta sense el coneixement de les condicions meteorològiques dominants a tota la troposfera, que es mesuren amb el llançament de globus amb sondes meteorològiques.

El present document pretén elaborar un exhaustiu control de qualitat de les dades del radiosondatge de Barcelona amb una base de dades de més d'una dècada. Prèviament, els dos primers capítols (teòrics) donaran un visió àmplia del que és un radiosondatge; analitzant la instrumentació necessària i el passat i present d'aquestes observacions, tant a nivell global com a la ciutat comtal. El capítol 3 presenta els formats en que es registren les mesures de la radiosonda ja que això serà important a

l’hora de realitzar un control de validació de les mateixes. L’extensa secció 4 mostra tot el treball pràctic emprat en el control de verificació esmentat anteriorment. En primer lloc, s’explicarà en detall quins són els diferents filtres que s’han aplicat a la base de dades de l’estació de radiosondatge de Barcelona. Posteriorment, es mostren els resultats obtinguts així com els del projecte IGRA, alguns filtres dels quals s’han posat en pràctica en el cas de l’estació d’estudi. Un cop s’han eliminat o corregit, segons els casos, els errors de mesura identificats a partir dels filtres, es presenta en el capítol cinquè la sèrie de temperatura per diferents nivells de l’atmosfera. Finalment, a la darrera secció es correlaciona les dades mesurades al llarg d’aquests 10 anys amb les obtingudes per reanàlisi.

1. El radiosondatge

En aquest primer capítol es pretén donar una visió general sobre un radiosondatge meteorològic. Per fer-ho, es començarà definint en que consisteix aquest tipus d'observació així com la seva història i evolució al llarg de les darreres dècades. A més, s'explicarà la gran utilitat d'aquestes dades en els models numèrics i les observacions de radiosondatge que es realitzen actualment en el món. Finalment, es detalla la història de l'estació de radiosondatge de Barcelona.

1.1 Què és un radiosondatge?

Segons l'agència americana de meteorologia, un radiosonda és un instrument meteorològic, suspès per un globus de vol lliure que mesura, des de la superfície a l'estratosfera, el perfil vertical de variables atmosfèriques i transmet les dades via ràdio a un sistema de recepció de terra (*American Meteorological Society, AMS*).

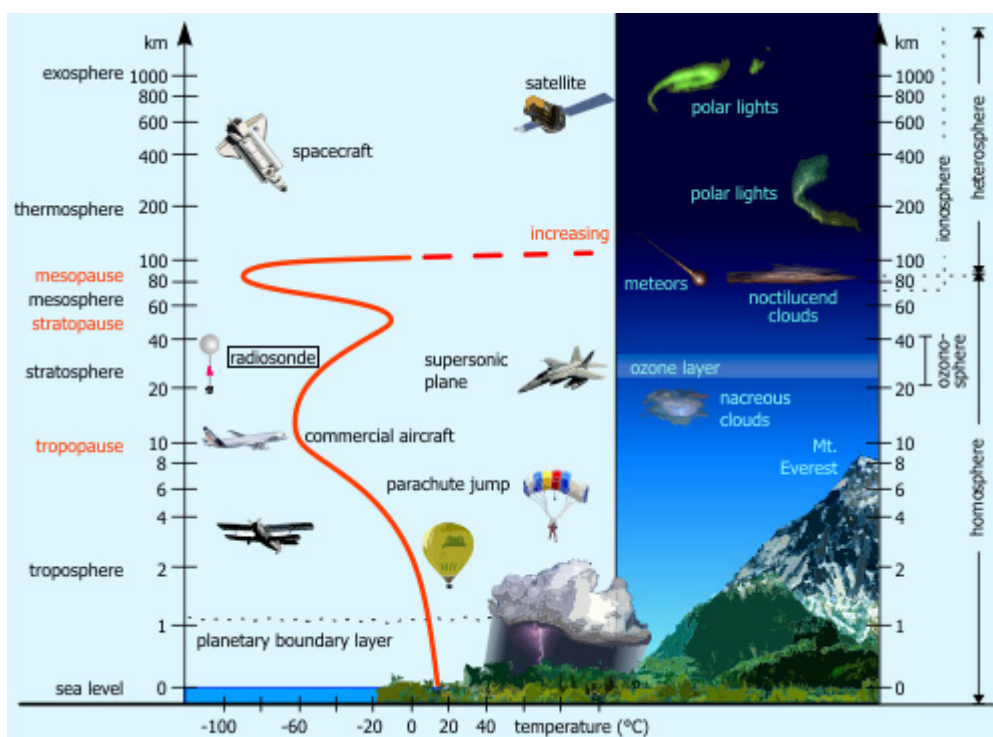


Figura 1.1. Estructura vertical de l'atmosfera terrestre. Es pot observar com els radiosondatges exploren tota la troposfera i la part inferior de l'estratosfera (Kowoma, 2009)

Habitualment, les radiosondes mesuren la temperatura, la humitat i la pressió. Els sensors de temperatura de la radiosonda, en general, mesuren aquesta variable a partir dels canvis en la resistència elèctrica, capacitat o tensió d'un cert material. Els sensors d'humitat poden ser substàncies que responen d'una forma coneguda als canvis d'humitat en l'ambient o bé mesuren directament una característica de l'aire que depengui del seu contingut de vapor d'aigua. Els de pressió solen ser cèl·lules

aneroides, una part de les quals es flexiona segons els canvis de pressió. Algunes radiosondes (*radiosonde*, en anglès) també mesuren la velocitat i la direcció del vent. Aleshores en la literatura anglesa aquestes reben el nom de *rawinsonde* (*radio-windsonde*), distinció lèxica que en català no existeix i, popularment, s’anomena simplement radiosonda (Institut d’Estudis Catalans, IEC).

Així doncs, el radiosondatge es considera un mètode d’exploració de l’atmosfera que permet conèixer l’estructura vertical (des de la superfície fins a uns 25 o 30 km d’altitud) mitjançant el mesurament, amb la radiosonda, de les principals variables termodinàmiques de l’atmosfera. Sovint, en el món de la meteorologia fan referència a aquest tipus d’observacions com a RAOB, acrònim de *RA*di*o*sonde *O*bservation (*The weather channel*).

Com s’ha comentat anteriorment, la tècnica del radiosondatge es basa en el llançament d’un globus inflat amb un gas lleuger (heli en el cas de Barcelona) en el qual s’instal·la la radiosonda dotada de sensors d’alta tecnologia. El globus ascendeix empès per la força ascensional i es van obtenint mesures al llarg del seu recorregut.

1.2 Història dels radiosondatges

Molt abans de l’aparició dels sondatges tal com es coneixen avui dia, concretament l’any 1783, es realitza el primer vol tripulat amb globus. Aquest fet va ser possible gràcies a l’enginyer de Joseph Montgolfier, que observant el fum de les xemeneies se li va ocórrer la utilitat de la força ascensional de l’aire calent per elevar una massa. Quan es va adonar d’aquest fet va convèncer els seus pares i el seu germà, fabricants de paper en un poble a prop de Lió (França), per a la fabricació d’un globus de paper amb la finalitat de comprovar la seva hipòtesi. Després de molts assajos, porta a terme la primera demostració pública el 4 de juny de 1783, fet que va resultar tot un èxit. Tal és així, que els germans Montgolfier són considerats com els inventors del globus aerostàtic.

En aquella demostració pública van fer pujar una bossa esfèrica de lli folrada de paper d’11 m de diàmetre, 800 m³ i una massa de més de 220 kg plena d’aire calent. El vol, de 10 minuts, va recórrer 2 km i assolí una altura màxima de gairebé 2000 m. En els següents assajos van enviar els primers éssers vius (una ovella, un ànec i un pollastre) en un cistell enganxat al globus per tal d’investigar els efectes de l’aire en altura. Aquests fets van tenir lloc al palau de Versalles ja que Lluís XVI de França havia de donar permís per fer el vol amb humans.

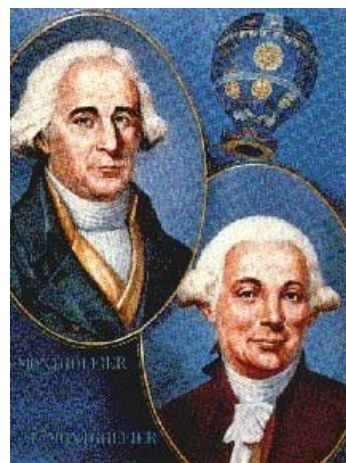


Figura 1.2. Germans Montgolfier (*Allstar*)

El públic era un gran apassionat d'aquestes experiències davant de la possibilitat de poder veure algun dia l'home alçar-se amb l'ajuda d'un globus.

No va ser però fins el 21 de novembre de 1783 en que el primer vol tripulat, en el qual es va sobrevolar París a una altura d'uns 100 m i durant 25 minuts, va ser una realitat. Dies més tard, Jacques Charles i Marie-Noel Robert també van volar però en aquell cas mitjançant un globus de gas.



No obstant, va haver de passar gairebé un segle fins que no es van inventar les radiosondes. Fins llavors, les mesures a baixa altitud (normalment per sota dels 300 m) es realitzaven amb globus captius. Si l'experiment requeria més altitud aleshores es realitzaven exclusivament mitjançant vols tripulats com el que es pot observar a la fotografia de l'esquerra. Els accidents sovintejaven i l'equip de mesures era car i de grans dimensions.

Figura 1.3. Equip de mesures meteorològiques a bord d'un globus aerostàtic a Alemanya a finals del segle XIX. (*The weather doctor*)

Com a conseqüència de la manca d'eficàcia d'aquestes mesures, l'11 d'octubre de 1892, George Gustave Hermite i Besancon van portar a terme el primer llançament de globus-sonda. El globus duia un barògraf de construcció molt simple basat en una càpsula aneroide. Aquest rudimentari experiment va viatjar al llarg de 75 km i assolí una alçada de tan sols 1200 m. Aquest llançament forma part del primer d'una sèrie d'estudis realitzats a França obtenint altituds superiors a 8000 m. Els alemanys no van trigar gaires mesos en intentar experiments semblants per a mesurar la temperatura i la pressió tot batejant aquesta sèrie de globus com a *Cirrus*. La millora respecte els veïns francesos va ser important ja que van aconseguir superar els 16000 m i van enregistrar temperatures de fins a -50°C (Dabberdt et al. 2003).

A partir de 1896 els esforços de tres grans potències d'aquells moments (Alemanya, França i Rússia) s'uniren. D'altra banda, Teisserenc Bort, meteoròleg francès, que treballava a la Oficina Meteorològica Central, va fundar el mateix any el seu propi observatori meteorològic. Gràcies als més de 200 llançaments de globus-sonda, va comprovar l'existència d'una capa (l'estratosfera), situada a sobre de la troposfera, on la temperatura augmentava amb l'altura més enllà d'un cert límit (la tropopausa) així com les variacions d'aquestes capes segons l'estació de l'any i la geogràfica. Aquests balons sonda portaven incorporats un equip que enregistrava la temperatura i la pressió mitjançant una gràfica (meteorògrafs). Un cop el globus rebentava, la instrumentació queia en paracaigudes i hom esperava pacientment a que algun excursionista, agricultor o llenyataire la trobés i la retornés.

D'altra banda, les radiosondes de l'actualitat tenen origen al gener de 1929. Dos anys abans, el físic Pierre Idrac (1885-1935) instal·là un transmissor de vàlvules en un globus, fet que va demostrar que era possible rebre els senyals emesos més enllà de l'estratosfera. Seguint l'èxit d'aquest científic, Robert Bureau va treballar en la

construcció d'una radiosonda capaç de transmetre a terra les dades de temperatura i pressió relacionant-les amb l'altitud. El llançament de la primera radiosonda de la història tingué lloc el 17 de gener de 1929 i va assolir una altitud de 13000 m¹. Al cap d'un any Pavel A. Molchanov (meteoròleg rus) llança amb èxit una radiosonda elaborada per ell mateix al palau Pavlovsk de Sant Petersburg amb l'objectiu de sondar, d'una forma barata, l'atmosfera per tal d'obtenir dades de temperatura, humitat i vent. Posteriorment, entre els anys 1930 i 1936 es van realitzar milers de sondatges a l'antiga Unió Soviètica (URSS) amb el prototipus de la radiosonda de Molchanov.

Mentrestant, a França i Alemanya l'any 1930 es llancen radiosondes assolint alçades de fins a 15000 m. El 30 de desembre de 1931 el professor Vilho Väisälä va enviar la primera radiosonda finlandesa (Shellhorn et al. 2003). La seva idea fonamental es basava en la variació de la capacitat elèctrica dels sensors de radiosonda. El nou instrument va ser presentat per a la comunitat meteorològica internacional l'any 1935, i un any més tard l'aparell ja fou considerat com l'adequat als usos meteorològics. L'èxit fou tan important que al poc temps el professor Väisälä va iniciar a comercialitzar amb el seu invent, fet que anys més tard l'ha convertit en el fabricant de radiosondes més gran del món.



Figura 1.4. Professor Vilho Väisälä (1889-1969)

Posteriorment, s'organitzà als Estats Units una xarxa que permetia realitzar mesures de radiosondatge coherents i coordinades a gran escala.

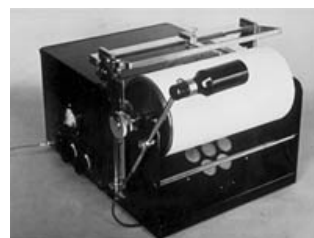


Figura 1.5. Esquerra: primer prototipus de radiosonda, que només mesurava la temperatura, elaborada per Vilho Väisälä. Centre: La primera entrega de radiosondes Vaisala (RS11) a l'Institut de Tecnologia de Massachusetts va tenir lloc l'any 1936. Aquesta ja era més completa que l'anterior que mesurava pressió, temperatura i humitat. Dreta: un model de receptor de radiosonda de 1942.

¹ Aquesta informació ha estat contrarestatada per diferents fonts ja que segons la procedència de les mateixes discrepava de la nacionalitat del inventor (vegeu referències al final d'aquest treball).



Figura 1.6. Esquerra: Sistema de sondatge manual. No va ser fins el 1976 que la companyia Vaisala Oy (Finlàndia) va introduir el primer computador que controlava els sondatges. Dreta: quarta generació de radiosondes (anys 80).

Respecte les mesures del vent (direcció i mòdul) van començar als anys 40, utilitzant ràdio i teodolits, amb els que manualment se seguia la radiosonda. Més tard, el moviment de les radiosondes fou seguit per radar. L'any 1995, apareix al mercat la primera radiosonda que mesurava vent utilitzant GPS (*Global Position System*).

1.3 Els radiosondatges en l'actualitat. Una eina indispensable.

Avui dia en tot el món existeixen, aproximadament, 1500 estacions de radiosondatge, de les quals dues terceres parts fan dues observacions diàries (a les 00 i 12 UTC). Entre 100 i 200 estacions realitzen només una cada 24 hores.

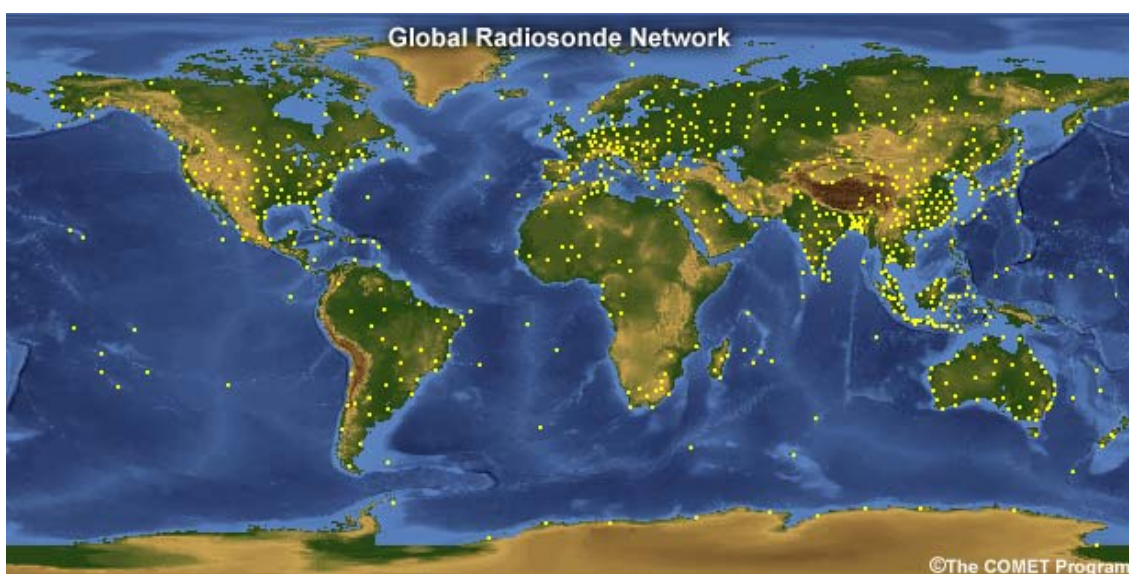


Figura 1.7. Mapa global d'algunes de les estacions de radiosondatge actualment. (Font: MetEd)

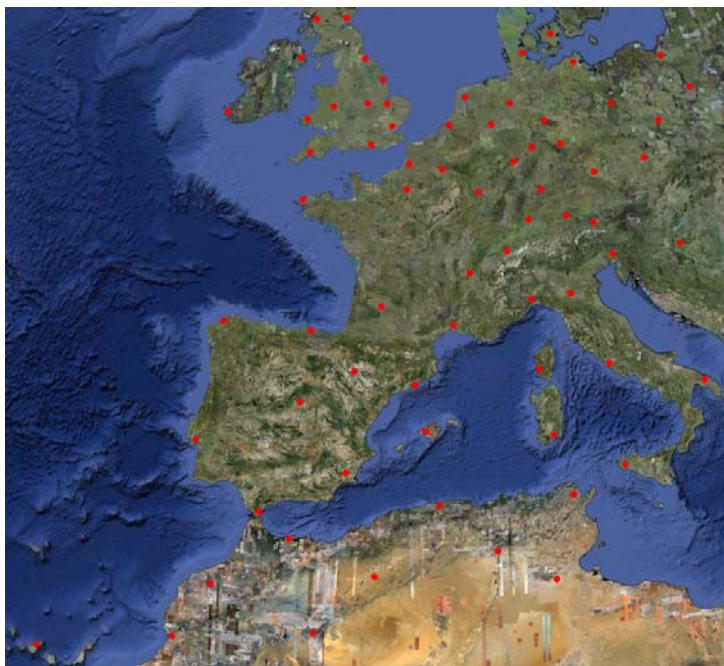


Figura 1.8. Estacions de radiosondatge al voltant de la nostra àrea geogràfica. (Font de dades geogràfiques: RAOB)

Durant els anys 80, l'Organització Meteorològica Mundial (OMM) va endegar el programa ASAP, per realitzar radiosondatges des de vaixells. Actualment, a l'oceà, els radiosondatges es porten a terme a 15 vaixells, que principalment fan el trajecte per l'Atlàntic Nord mitjançant un sofisticat sistema automàtic.



Figura 1.9. Mapa d'ASAP (Automated Shipboard Aerological Programme) de tots els radiosondatges realitzat al llarg d'un mes de l'any 2008. El contenidor, de 3 m de diàmetre, inclou tots els instruments necessaris per a la realització d'un radiosondatge. (Font: ASAP)



Gràcies als radiosondatges es pot caracteritzar l'estat de l'atmosfera segons la vertical, fet de gran importància en el procés d'inicialització dels models numèrics, que juguen un paper fonamental en el procés de la predicció meteorològica. De fet, les mesures de temperatura i humitat relativa de l'aire en altura són dues mesures bàsiques en la inicialització de l'anàlisi dels models de predicció numèrica del temps

per a les previsions operatives. Les mesures indiquen, entre d’altres, l’existència de núvols o capes d’inversió en la vertical. A més, l’estructura vertical de temperatura i de vapor d’aigua determinen l’estabilitat de l’atmosfera. D’altra banda, les dades obtingudes amb el radiosondatge són també necessàries per realitzar estudis locals, basats en la termodinàmica de l’atmosfera. Actualment, les observacions de radiosondatge són vitals per estudis de canvi climàtic en nivells mitjans i alts de la troposfera.

A part de les estacions de radiosondatges en superfície, les observacions mitjançant avions supleixen les de radiosondatge en aquelles zones on hi manquen aquestes mesures com, per exemple, a sobre dels oceans.

Tanmateix, a partir de l’any 2002 amb l’aparició dels satèl·lits Meteosat Segona Generació, que ofereixen un seguit de productes tals com el vent a partir del moviment dels núvols, anàlisi de núvols, humitat a l’alta troposfera, etc, es poden elaborar també perfils verticals d’algunes variables meteorològiques. (Cunillera, 2009). Precisament, el fet d’incloure dades de teledetecció, la millora en la predicció meteorològica a mig termini va fer un gran salt qualitatiu ja que els satèl·lits tenen bona cobertura espacial i temporal.

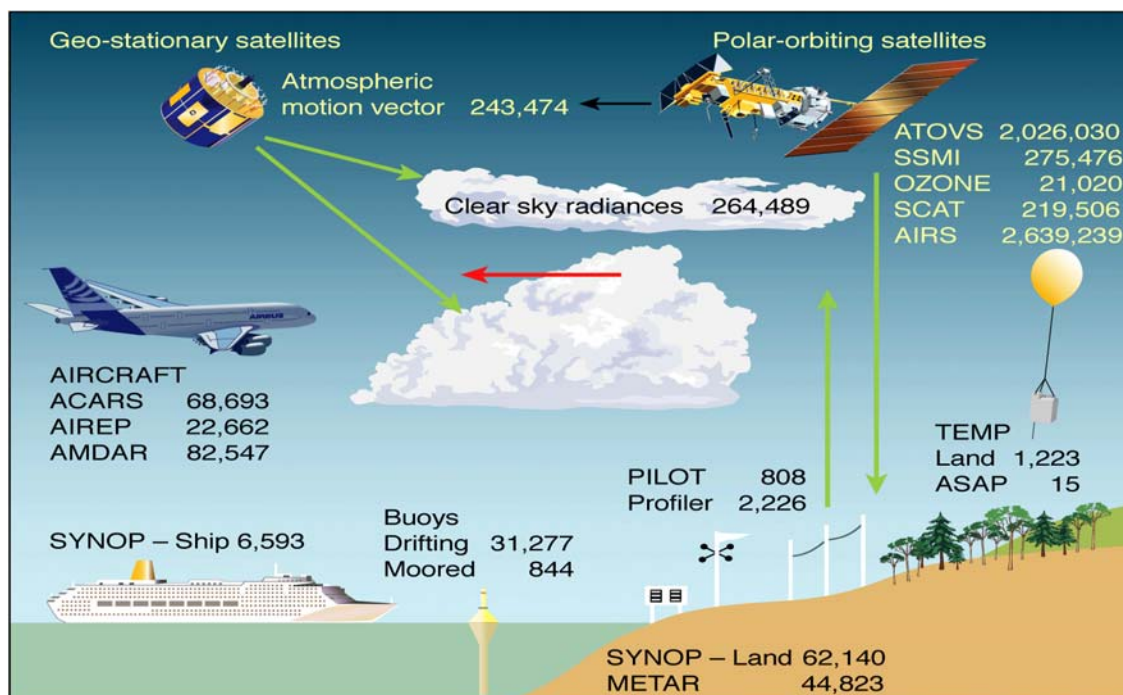


Figura 1.10. Per a la inicialització dels models numèrics és necessari disposar de bones observacions que intervenen en el procés d’assimilació de dades. Tal com s’ha comentat anteriorment, en aquesta figura s’observa que existeixen més de 1200 estacions de radiosondatge en tot el planeta. (García-Moya, 2010).

No obstant, les observacions amb satèl·lits de temperatura i distribució de vapor d’aigua tenen una resolució vertical més baixa que les radiosondes o les mesures amb avió.

1.4. El radiosondatge de Barcelona

L'any 1919 es crea, dins de l'organisme de l'Organització Meteorològica Internacional (1873), la Comissió Internacional per a l'Estudi de l'Alta Atmosfera. Aquesta es va encarregar, a partir de 1913, de coordinar el llançament de globus sonda en dies assenyalats (anomenats dies internacionals) amb el propòsit d'estudiar l'alta atmosfera a escala europea. A Catalunya, l'interès per aquests estudis es va concretar l'any 1914, quan l'Institut d'Estudis Catalans va aprovar el projecte del Dr. Eduard Fontserè per a la creació de l'Estació Aerològica de Barcelona. Aquesta estació es va ubicar a un àtic de la plaça Urquinaona, des d'on es llançaven i se seguïen els globus pilot. Amb els llançaments, que tan sols es duïen a terme en els dies internacionals, es realitzaven estudis locals de vent (marinada i tramuntana) amb la col·laboració del Dr. Ramon Jardí, Dr. Álvarez Castrillón i del Dr. Pólit.



Figura 1.11. Esquerra: Preparació d'un sondatge, l'any 1914 a Barcelona. Dreta: El professor Jardí i un ajudant inflen el globus i comproven la seva força ascensional. Darrera, Eduard Fontserè puja per l'escala al terrat. (Font: Publicacions breus del SMC)

Posteriorment, l'any 1921, amb la creació del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), l'Estació Aerològica va passar a formar part d'aquesta empresa pública, i els llançaments dels globus pilot es van passar a fer des de l'Edifici del Rellotge de la Universitat Industrial de Barcelona (Publicacions breus del SMC, 2005).

Les dades recollides eren de gran importància per a la navegació aèria de l'època i es difonien per ràdio poc després del sondatge diari. S'enviaven a Madrid a través de la l'estació militar de Montjuïc, i des de l'emissora de Carabanchel cap a tot Europa. D'altra banda, amb l'aparició del servei aeri que comunicava Barcelona amb Madrid i Marsella, i més tard amb Roma, les companyies aèries demanaven informació del temps al SMC i oferien observacions de vol. El període de funcionament de l'Estació Aerològica va acabar amb la destrucció de les instal·lacions del SMC l'any 1939 per raons històriques evidents.

Posteriorment, durant els anys 80 i 90, tant l'Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i Tractament de Residus com el Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya feien llançaments puntuals de globus captius per conèixer l'estat de l'atmosfera en els primers 1000 metres. L'objectiu d'aquestes mesures era bàsicament conèixer l'estat de la baixa troposfera per poder fer estudis relacionats amb episodis de forta contaminació atmosfèrica en àrees urbanes i industrials, estudis que van adquirir gran importància en aquests anys.

“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”

A partir de 1997, després de molts esforços, l'actual SMC gestiona l'estació de radiosondatge situada al terrat de la facultat de Física de la Universitat de Barcelona a 95 m sobre el nivell del mar².

Sistema de coordenades geogràfiques:	Lon: 2° 7' 4.440"	Lat: 41° 23' 4.838"
“ “ “ UTM (31N):	E(x): 426340.8 m	N(y): 4582041.0 m



Figura 1.12. Localització de l'estació de radiosondatge de Barcelona. (Font: ICC)

Després d'un període inicial de proves, al mes de maig de 1998 s'estableix el compromís de fer un radiosondatge diari (a les 12 UTC), i a partir del mes de maig de

² Concretament, el primer radiosondatge des d'aquesta nova localització tingué lloc el 2 de setembre d'aquell any.

1999 es duen a terme dos radiosondatges diaris (a les 00 UTC i 12 UTC) tots els dies de l'any, tal com es fa a la resta d'estacions de radiosondatge del món. De fet, l'OMM recomana fer aquests dos llançaments simultanis a totes les estacions repartides arreu del planeta.

Tanmateix, van haver de passar uns quants anys, per causes alienes al SMC, per tal que les dades mesurades a Barcelona s'integressin a la xarxa meteorològica mundial³. En particular, es va incloure dins de la Xarxa Global de Telecomunicacions de l'OMM per a la difusió de la informació meteorològica el 16 de desembre de 2008. Així doncs, amb el codi de l'estació, 08190, els altres serveis meteorològics i centres de recerca d'arreu del món poden consultar les dades registrades a Barcelona.

A part d'aquesta estació, el Servei Meteorològic de Catalunya ha realitzat alguns radiosondatges temporals a Lleida i a Sort. En el cas de la capital de la terra ferma es va implementar per a l'estudi de la calamarsa al llarg de l'estació estiuenca. En el cas del Pirineu, es va aprofitar l'estació ben completa que es troba en aquell indret. Durant la tardor de l'any passat, gràcies a la col·laboració del SMC amb el projecte MEDEX⁴, es van realitzar alguns radiosondatges extres a les 06 i 18 UTC en dies puntuals amb l'objectiu de millorar les previsions meteorològiques en situacions de fort forçament sinòptic a la Mediterrània Occidental. Més recentment, a conseqüència del núvol de cendres del volcà islandès que entrà en erupció la primavera d'enguany també es va realitzar alguna observació extra.

1.5. Altres sondatges atmosfèrics

Una variant més modesta del radiosondatge és la del globus captiu, o globus sonda, el qual s'infla igualment amb heli o hidrogen i es llança a l'atmosfera, però es deixa que voli en llibertat, sinó que es lliga a un cable que permet recuperar-ho en qualsevol moment (Costa et al. 2005). Els sensors mesuren les condicions meteorològiques en la vertical d'un punt, i per a determinats estudis és el mètode més apropiat.

Una varietat del radiosondatge ordinari són les sondes descendents, les quals són llançades des d'avions i transmeten les dades a les estacions terrestres mentre baixen. També és de gran utilitat per a l'estudi d'una determinada capa de l'atmosfera l'anomenat “globus sonda horitzontal”. Aquest globus està fabricat, a diferència dels ordinaris, d'un material molt poc dilatable, de manera que s'infla a una pressió que permet que aquest es mantingui en suspensió a un nivell prefixat dins de l'atmosfera. Són globus que perduren molt de temps en l'aire, fins i tot mesos, i van equipats amb sensors que envien les dades de mesura tant a estacions terrestres com a satèl·lits, els quals reenvien la informació a d'altres estacions terrestres.

³ D'aquest fet es treurà profit en el present treball tal com es veurà al capítol 6.

⁴ MEDEX (*Mediterranean Experiment Information Center*): Aquest projecte neix a partir d'un comitè format per diversos països amb l'objectiu de millorar el coneixement i el pronòstic de ciclons que produeixen gran impacte en el temps meteorològic del Mediterrani (Jansà et al., 2000).

2. Instrumentació

L'objectiu d'aquest capítol és donar a conèixer la instrumentació necessària per a la realització d'un radiosondatge. No només es comentaran les característiques tècniques dels instruments sinó també les fonts d'error d'aquests. Com ja s'ha comentat al principi d'aquest treball, ens centrarem en el radiosondatge de Barcelona, que des d'un principi l'empresa comercial en el subministrament del material ha sigut Vaisala.

Tal com s'ha vist en l'apartat anterior, una observació amb radiosonda permet obtenir un perfil vertical de l'atmosfera de diferents variables meteorològiques. Aquest instrument està lligat a un globus i disposa d'un transmissor de ràdio per a enviar aquesta informació a l'estació d'observació.

2.1. La radiosonda

Actualment, la radiosonda que s'empra en els radiosondatges de Barcelona és la que es pot veure a la següent figura:



Figura 2.1. Radiosonda Vaisala RS92-SGP

Els principals beneficis d'aquestes radiosondes són:

- Nivell de mesura de PTU més alt del món.
- Transmissió estable.
- Excel·lent disponibilitat de dades durant el sondatge.
- Compleix l'estàndard ETSI⁵ (operant a 400 MHz).
- Freqüència ajustada electrònicament.
- Reacondicionament del sensor d'humitat per a millors prestacions de mesura.

⁵ ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*): organització d'estandardització de la indústria de les telecomunicacions (fabricants d'equips i operadors de xarxes) d'Europa, amb projecció mundial.

- Cada radiosonda està empaçada en una bossa hermètica de foli metàl·lic que garanteix la seva protecció en magatzem a llarg termini.

A més, la radiosonda Vaisala RS92-SGP té un codi fiable que correlaciona amb el receptor de GPS. Aquest receptor, gràcies al seu ràpid buscador, assegura que tots els satèl·lits a la vista són localitzats. D'altra banda, el fet que tota la transmissió de dades sigui digital suposa un gran avantatge respecte la transmissió analògica. Per exemple, la disponibilitat de dades durant el sondatge és molt bona, els errors de telemetria⁶ sempre es detecten, es consumeix menys potència i es disposa de més canals en la banda de freqüència meteorològica. Finalment, assenyalar que els sensors de PTU de la radiosonda RS92-SGP estan calibrats amb la màquina CAL-4. Dissenyada i construïda per Vaisala, és la màquina més avançada del món per a la producció massiva de sensors de PTU.

A continuació, s'esmenten els principals trets característics de les radiosondes que els fabricants han de tenir ben present:

- Ampli rang de condicions meteorològiques que han de mesurar aquests instruments:
 - Pressió: de 1050 a 5 hPa
 - Temperatura: de 50 a -90°C
 - Humitat relativa: de l'1 al 100 %
- Les radiosondes han continuar sent operatives amb condicions de pluja intensa, de tempesta, de vent fort, etc.
- Ha de ser poc robusta, de pes lleuger i dimensions petites.
- Segons l'OMM convindria enregistrar-les cada segon per disposar-ne una mostra cada 5 metres en la vertical.
- En general, les radiosondes només es fan servir una vegada i, per tant, el seu cost de fabricació ha de ser el més baix possible.
- Un calibratge fàcil i estable és de gran importància, sobretot si les radiosondes han d'estar emmagatzemades durant un bon llarg període de temps (més d'un any) com, per exemple, a l'Antàrtida on les radiosondes no és poden entregar més d'una vegada l'any.
- Una radiosonda ha de ser capaç de transmetre un senyal intel·ligible al receptor de superfície a una distància de fins a 200 km.
- La tensió de la bateria de la radiosonda varia segons el temps i la temperatura. Així doncs, la radiosonda ha d'estar dissenyada per a acceptar variacions en la bateria sense pèrdua de precisió en les mesures.
- És important que les radiosondes siguin respectuoses amb el medi ambient ja que després de tornar a la superfície terrestre o caure sobre el mar, pot ser recollida per alguna persona o animal, o simplement deixada fins que es descompongui.

⁶ Telemetria: tecnologia que permet la mesura remota de magnituds físiques i el posterior enviament de la informació cap a l'operador del sistema.

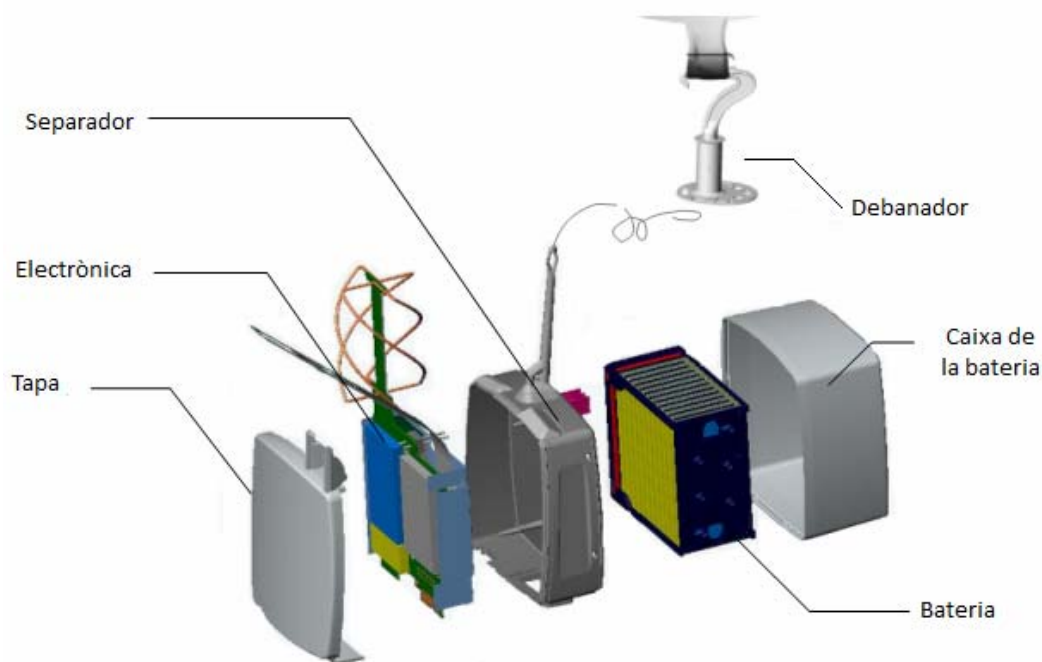


Figura 2.2. Parts d'una radiosonda (Font: Vaisala).

Dades tècniques de la radiosonda RS92-SGP

Dimensions:	220 x 80 x 75 mm
Massa amb la bateria:	227 g
Temps operatiu de la bateria:	135 min aproximadament
Banda de freqüència:	403 MHz
Rang de freqüències:	400 – 406 MHz
Estabilitat de la freqüència:	± 2 kHz

TRANSMISSIÓ PER RÀDIO

Les bandes de l'espectre de freqüències de ràdio són especificades per la *International Telecommunication Union* (ITU). Pels radiosondatges existeixen dos freqüències assignades: la banda de 400 MHz per radiosondes que mesuren també el vent i la banda de 1680 MHz per antenes mòbils i radioteodolits.

En alguns països, l'administració ha assignat part d'aquestes bandes a altres usuaris i, com a conseqüència, no està disponible tota la banda per les operacions de radiosondatges. En d'altres on la xarxa d'estacions d'aquest tipus és força densa, els llançadors es troben amb limitades longituds d'ona per a rebre el senyal. Actualment, molts governs intenten millorar l'eficiència de l'ús de freqüència de ràdio ja que, per exemple, els radiosondatges hauran de compartir amb un gran nombre d'usuaris en el futur. Per aquest motiu, la majoria de països hauria de permetre treballar als transmissors i receptors de radiosonda amb amplada de banda molt inferior a 1 MHz per tal d'evitar senyals d'interferència.

Respecte els transmissors, la majoria d'aparells moderns estan fets de vidre per tal d'assegurar estabilitat en la freqüència durant el sondatge. A una freqüència de 400 MHz (amb la que es treballa en el radiosondatge de Barcelona) es necessita un transmissor amb una potència inferior als 250 mW.

BATERIES

Tal com s'ha comentat en un dels punts de les principals característiques de les radiosondes, aquestes han de tolerar canvis importants en la tensió d'alimentació. D'altra banda, les bateries han de subministrar potència durant més de dues hores ja que l'enlairament pot patir algun retard i el vol durar fins a un parell d'hores. A més, les bateries han de ser lleugeres i factibles així com disposar d'una llarga vida en ser emmagatzemada. Independentment, les bateries han de ser respectuoses amb el medi ambient un cop el globus rebenta i la radiosonda cau a la superfície terrestre. Existeixen dos tipus de bateria útils per les radiosondes, les seques i les que s'activen amb aigua.

El gran avantatge de les bateries seques és el seu baix cost econòmic . No obstant, llur temps de vida emmagatzemades és baix i la tensió de sortida varia molt més durant la descàrrega que les bateries activades amb aigua. Aquestes últimes, poden estar emmagatzemades durant períodes de temps molt llargs. Les reaccions químiques generen calor interna, reduint la necessitat d'aïllament tèrmic i ajudant a establir la temperatura dels aparells electrònics de la radiosonda durant el vol. En els llançaments que es realitzen diàriament des del terrat de la facultat de Física s'empren les bateries que no produeixen tensió fins que no es remullen en aigua ja que a part d'aquests avantatges, no conté metalls pesants.



Figura 2.3. Bateria seca RSB511 i bateria activada amb aigua RSB912P (Font: Vaisala).

Les bateries que s'activen amb aigua s'han de submergir en aquest líquid durant 4 minuts. Després d'aquest procés, és recomana fer el llançament al cap de 15 minuts a tot estirar per tal d'assegurar 120 minuts de temps de vol.

2.1.1. Temperatura

La majoria de radiosondes modernes mesuren la temperatura a la troposfera amb un error estàndard entre 0.1 i 0.5 K. A pressions inferiors als 30 hPa (ja en l'estratosfera), la precisió de la radiosonda és similar a la que es dona al llarg de la troposfera.

Rang de mesura:	-90 ... +60°C	
Temps de resposta ⁷ :		
1000 hPa	< 0.4 s	
100 hPa	< 1 s	
10 hPa	< 2.5 s	
Resolució:	0.1°C	
Precisió		
Incertesa total en sondatge ⁸ :	0.5°C	
Repetibilitat en calibratge ⁹ :	0.15°C	
Reproductibilitat en sondatge ¹⁰ :		
1080 – 100 hPa	0.2 °C	
100 – 20 hPa	0.3°C	
20 – 3 hPa	0.5°C	

Els sensors de temperatura més moderns tenen una velocitat de resposta als canvis de temperatura suficientment ràpida per assegurar que l'error sistemàtic degut al retard tèrmic durant l'ascens sigui inferior a 0.1 K a qualsevol capa amb guix d'1 km. Amb un rang d'ascensió habitual, això s'aconsegueix amb un sensor amb una constant de temps inferior al segon (en el cas de Barcelona < 0.4 s) en els primers km de vol. A més, els sensors de temperatura han d'estar dissenyats de tal manera que s'eviti incloure en la mesura els errors de radiació. Els errors d'infraroig es poden evitar afegint una capa al sensor amb baixa emissivitat en aquest interval de l'espectre electromagnètic. D'altra banda, els sensors de temperatura també han de suportar la sacsejada durant el llançament i han de ser estables en la precisió de calibratge al llarg de molts anys.

Habitualment, el rang de resposta d'aquest sensor es mesura a partir de la constant de temps¹¹, τ :

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{1}{\tau} \cdot (T_e - T)$$

on T_e és la temperatura del sensor i T és la temperatura “real” de l'aire.

⁷ Temps que triga qualsevol instrument en respondre “completament” a un canvi en el senyal d'entrada.

⁸ 2 sigma (k=2) a nivell de confiança 95%. S'inclouen els efectes de repetibilitat, els efectes deguts a condicions de mesura, efectes dinàmics (temps de resposta)...

⁹ Desviació estàndard de diferències entre dos calibratges successius repetits, k=2 nivell de confiabilitat.

¹⁰ Desviació estàndard de diferències entre sondatges bessons.

¹¹ Temps que triga l'instrument en registrar el 63% del canvi produït en el senyal d'entrada (WMO,2008)

La constant de temps dels sensors de temperatura ve determinada no només pel material del qual està fet sinó també per la seva forma, concretament, és proporcional al radi del sensor de volum per unitat de superfície. És a dir, interessa que els sensors siguin prims i tinguin una superfície gran per tal que aquests siguin més efectius a l'hora d'obtenir una resposta ràpida. La variació de la constant de temps s'expressa de la següent manera:

$$\tau = \tau_0 \cdot (\rho \cdot v)^{-n}$$

on ρ és la densitat de l'aire, v la velocitat de l'aire sobre el sensor i n una constant (0.4 – 0.8) del sensor que depèn de la seva forma i l'estat característic del flux (laminar o turbulent).

La millor posició pels sensors de temperatura de la radiosonda és a sobre d'aquest aparell. Així doncs, l'aire escalfat o refredat en contacte amb el cos de la radiosonda o amb el suport del sensor no pot fluir sobre aquest. Això s'aconsegueix muntant el sensor amb un braç que el mantingui en la posició requerida durant el vol (figura 2.4.). A més, per mesurar correctament la temperatura a pressions baixes, tant el suport com les connexions elèctriques del sensor han de ser suficientment prims per tal que els errors d'escalfament i refredament de la conducció tèrmica a través de les connexions siguin negligibles.

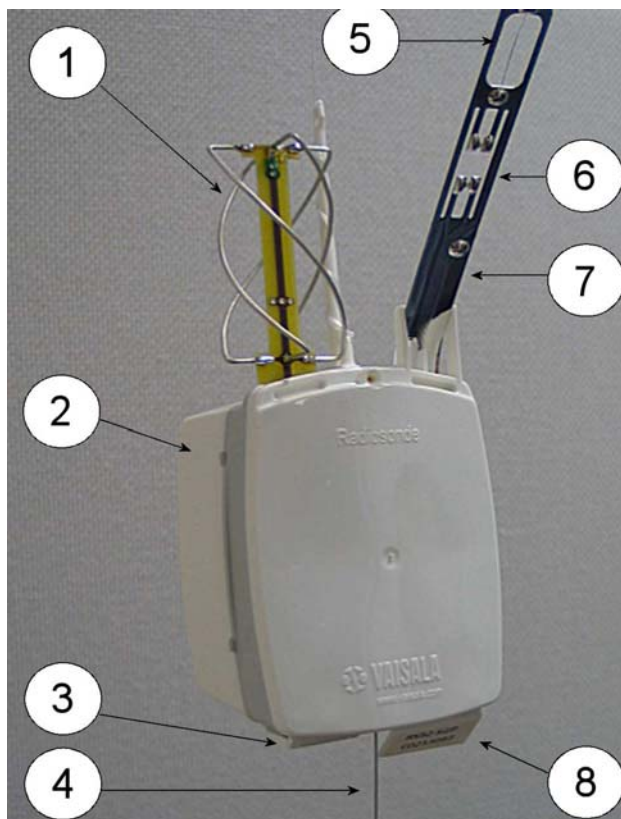


Figura 2.4. Radiosonda Vaisala RS92-SGP (Font: Vaisala).

1. Antena GPS
2. Caixa de la bateria
3. Connector de la interfície
4. Antena
5. Sensor de temperatura
6. Sensors d'humitat
7. Sensor de pressió
8. Interfície GC-25

Amb aquest mètode d'exposició, el sensor de temperatura de la radiosonda està exposat directament a la radiació solar i a la infraroja de l'atmosfera. Els sensors reben radiació solar durant els sondatges diürns i, conseqüentment, intercanvien radiació d'ona llarga amb el superfície i l'espai exterior tot el temps. La magnitud

d'aquests errors de radiació depenen només lleugerament de la mida i forma dels sensors, ja que els coeficients de transferència convectiva de calor varien segons aquestes característiques geomètriques. Per tant, errors petits de radiació s'obtenen amb sensors petits, però només quan l'abric del sensor absorbeix poc la radiació solar i la d'ona llarga. Aquest requeriment s'aconsegueix depositant una capa fina de metall. Cal tenir en compte que moltes pintures blanques tenen alta absorció en l'infraroig i, per aquest motiu, no són les més idònies per l'abric dels sensors de la radiosonda.

Una conseqüència addicional de col·locar el sensor de temperatura a sobre del cos de la radiosonda és que, quan precipita o travessa un núvol en l'ascensió, el sensor pot ser recobert d'aigua o gel. Per això, és molt important que el disseny del sensor desfaci eficientment l'aigua líquida i sòlida. En primer lloc, l'evaporació d'aigua o gel quan emergeix d'un núvol a través de capes més seques el sensor es refredarà més que l'ambient. En segon lloc, l'absortivitat és diferent en l'infraroig del sensor de temperatura quan roman cobert de gel durant el vol. Així doncs, un biaix sistemàtic anòmal de l'intercanvi de calor en infraroig s'introduirà a les mesures amb gel al sensor, especialment a baixes pressions.

2.1.2. Pressió

Tal com s'ha comentat a l'inici d'aquesta secció, els sensors de pressió han de tenir una elevada precisió sobre un rang dinàmic molt gran amb una resolució de 0.1 hPa per a pressions superiors a 100 hPa i 0.01 hPa per a pressions inferiors a aquest llinar. Els canvis en la pressió es relacionen, habitualment, amb canvis elèctric o mecànics de certs materials.

Els sensors de pressió, en general, s'instal·len a l'interior del cos de la radiosonda per tal de minimitzar els canvis de temperatura. En alguns casos, el sensor s'embolcalla de bossetes d'aigua per a reduir el refredament. Quan les bateries que s'activen amb aigua, com és en el cas de Barcelona, la calor generada per la reacció química a la bateria s'empra per a compensar el refredament intern de la radiosonda. Tanmateix, inclús en aquest cas, el disseny de la radiosonda ha d'evitar generar gradients de temperatura entre el sensor i els seus components elèctrics associats.

El sensor de pressió i el seu transductor són dissenyats de tal forma que la sensibilitat augmenta quan la pressió disminueix. El temps de resposta de la radiosonda és molt petit i, conseqüentment, els errors de retard no són significatius.

Seguint el ràpid desenvolupament en l'ús de la silicona, molts sensors de pressió estan fets d'aquest material com és el cas del radiosondatge de l'estació 08910. En particular, consta d'una petita cavitat formada per un forat en una capa gruixuda de semiconductor. Aquest forat està cobert amb una capa molt fina de silicona, amb la qual la cavitat pot suportar pressions molt baixes. Així doncs, la cavitat funciona com un sensor de pressió, amb la pressió atmosfèrica detectada a partir de la deflexió del cobriment de silicona.

Un mètode de detectar la deflexió de la silicona és emprar un sensor capacitiu. En aquest cas, la capa fina de silicona a través de la cavitat està recoberta amb una capa metàl·lica i un segona capa, també metàl·lica, utilitzada com una placa de referència (figura 2.5). La deflexió del cobriment de silicona es mesura a partir de la variació en la capacitat entre aquestes dues capes.

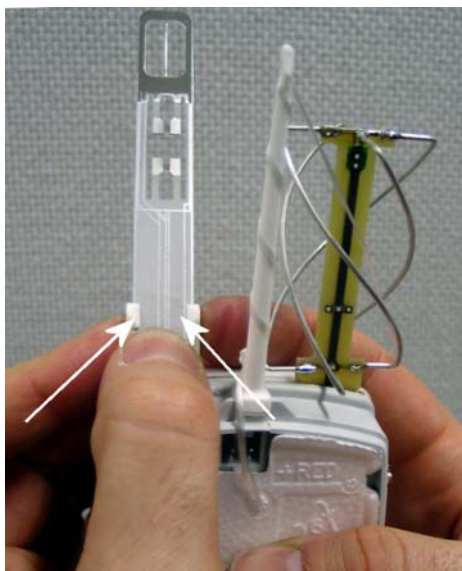


Figura 2.5. Col·locant el sensor de pressió en la posició correcta pel llançament (Font: Vaisala).

Informació tècnica:

Rang de mesura:	1080 – 3 hPa
Resolució	0.1 hPa
Precisió:	
Incertesa total en sondatge	
1080 – 100 hPa	1 hPa
100 – 3 hPa	0.6 hPa
Repetibilitat en calibratge	
1080 – 100 hPa	0.4 hPa
100 – 3 hPa	0.3 hPa
Reproductibilitat en sondatge	
1080 – 100 hPa	0.5 hPa
100 – 3 hPa	0.3 hPa

2.1.3. Humitat

L'èxit de l'operativitat dels sensors d'humitat relativa de les radiosondes rau en el ràpid intercanvi de molècules d'aigua entre el sensor i l'atmosfera. Si el lliure intercanvi d'aquestes molècules es veu obstaculitzat a mesura que la radiosonda

ascendeix, la contaminació en el sensor de concentracions anteriors més altes de vapor d'aigua podria provocar un biaix sistemàtic i substancial en les mesures a temperatures més baixes.

Respecte la constant de temps, aquesta s'incrementa molt més ràpidament durant l'ascens que no pas la del sensor de temperatura. Dit en altres paraules, els errors en la humitat relativa s'incrementen amb la disminució de la temperatura.

L'higròmetre de la radiosonda RS92 és una capacitat elèctrica de pel·lícula prima (*thin-film*) amb doble sensor, tal com la majoria de radiosondes modernes. El principal avantatge respecte el seu precedent, resistència de carboni, és la pràcticament linealitat amb la humitat relativa. A més, la dependència de la temperatura és poc important i la histèresi relativament petita, amb menys d'un 3%. La contaminació provocada per un núvol o boira s'elimina escalfant el sensor periòdicament durant el vol per l'altre sensor. De fet, els dos sensors escalfen en seqüència, i la mesura la pren el sensor passiu (Shellhorn, 2003). D'altra banda, qualsevol contaminació química s'evita escalfant el sensor durant el *ground check* abans del llançament de la radiosonda.

L'exactitud amb la que es necessita mesurar aquesta variable meteorològica obliga al sensor que estigui ben ventilat. No obstant, el sensor també necessita estar protegit tant com sigui possible de la deposició d'aigua o gel sobre la seva superfície o suport, i també de la calor solar. Per aquest motiu, els sensors més petits d'humitat relativa, com les capacitats *thin-film* estan muntats en un braç extern, tal com passa amb el sensor de temperatura (figura 2.6).

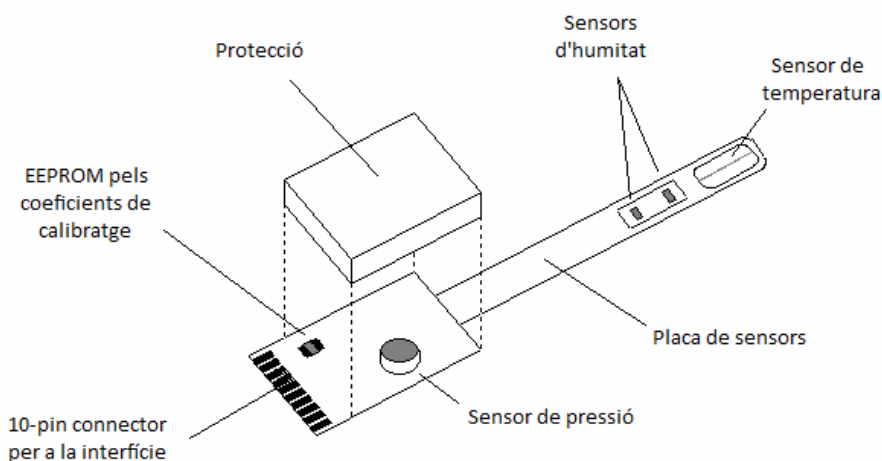


Figura 2.6. Radiosonda RS-92, és a dir, sense GPS, on es pot visualitzar de manera esquemàtica la localització dels diferents sensors (Font: Vaisala).

Informació tècnica

Rang de mesura: 0 – 100 %RH
Temps de resposta (6 m/s, 1000 hPa)
+20°C < 0,5 s

	-40°C	< 20 s
Resolució:	1 %RH	
Precisió:		
Incertesa total en sondatge:		5 %RH
Repetibilitat en calibratge:		2 %RH
Reproductibilitat en sondatge:		2 % RH

2.1.4. Vent

Les observacions del vent en capes superiors a la superfície terrestre són essencials per als pronòstics operatius meteorològics sobre totes les escales i latituds. A més, són vitals per a la seguretat i economia de les operacions aèries. Les incerteses en la mesura del vent són factors que limiten l'artilleria moderna i, per tant, són importants per la seguretat de les operacions militars. També, conèixer el perfil vertical del vent i possibles cisallaments és crític pels llançaments de vehicles espacials i coets. A la capa límit, sabent la intensitat i direcció del vent, entre moltes altres variables, és pot pronosticar la contaminació d'un indret.

Tal com s'ha comentat anteriorment, el sistema emprat per a determinar la posició de la radiosonda i, per tant, el vent és mitjançant GPS (*Global Positioning System*). Aquest sistema de navegació es basa en senyals de ràdio que es transmeten des d'una constel·lació de 24 satèl·lits orbitant al planeta en 6 plans. La configuració d'aquesta constel·lació de satèl·lits és tal que des de qualsevol punt del món i en qualsevol instant existeixen a sobre de l'horitzó un mínim de 4 satèl·lits.

Les longituds d'ona dels senyals GPS són curtes (al voltant de 20 cm). Per aquest motiu, l'antena de la radiosonda que rep el senyal de GPS ha de situar-se a la part superior del seu cos i estar lliure d'obstacles en totes les direccions cap a l'horitzó. Tanmateix, la localització de l'antena GPS pot entrar en conflicte amb la del sensor de temperatura. D'altra banda, els senyals de GPS han de ser preprocessats a la radiosonda per convertir la informació GPS a senyals que es puguin transmetre a l'estació en superfície a la freqüència de la radiosonda.

Les radiosondes amb GPS més antigues eren força susceptibles a interferències de freqüència de ràdio externes ja que el receptor de navegació de la radiosonda fou dissenyat per detectar senyals febles de GPS. En els dissenys més recents, com ara la RS92, la protecció contra les interferències d'aquest tipus s'ha optimitzat. Les radiosondes GPS són, actualment, més d'una quarta part de la xarxa global. Aquestes proporcionen la posició en tres dimensions amb molta precisió.

Informació tècnica

Nombre de canals:	12
Incertesa en la posició horitzontal:	10 m
Incertesa en la posició vertical:	20 m
Incertesa en la velocitat del vent ¹² :	0,15 m/s
Incertesa en la direcció del vent ¹³ :	2°

¹² Desviació estàndard de diferències entre dos sondatges bessons.

2.1.5. Geopotencial

L'altura geopotencial no es mesura directament, sinó que es calcula a partir d'altres variables mesurades per la radiosonda. En particular, ve donat per la següent expressió seguint l'aproximació hidrostàtica:

$$z = -\frac{R}{g} \int_{p_0}^p T_v d(\ln p)$$

on p i p_0 són els nivells en que es vol calcular el gruix de geopotencial, $T_v(p)$ la temperatura (absoluta) virtual de l'aire, i R i g les constants dels gasos i de gravetat, respectivament.

A la pràctica, aquesta integral es resol amb diferències finites considerant estrats limitats per dos nivells de dades. Se suposa un perfil lineal (amb el logaritme natural de la pressió) de la temperatura virtual de l'estrat que es calcula a partir de les temperatures virtuals en el nivell superior i inferior del mateix:

$$z_k = z_{k-1} + \frac{R}{g} \frac{T_{v,k-1} + T_{v,k}}{2} \ln \frac{p_{k-1}}{p_k}$$

on k es refereix al nivell k -èssim.

Com a conseqüència dels pocs metres de gruix d'aquests estrats, que el perfil de la T_v és pràcticament monòton dins dels estrats i el fet que sigui pràcticament igual la mitjana aritmètica i la barotròpica els errors en el geopotencial són de pocs metres.

La seva incertesa, però, varia segons sigui per a un nivell de pressió específic o bé per algun nivell en que la temperatura i la humitat relativa tinguin un perfil característic, com ara la tropopausa. L'error en l'alçada geopotencial en qualsevol instant del vol ve donat per la següent expressió:

$$\varepsilon_z(t_1) = \frac{R}{g} \int_{p_0}^{p_1} \left[\varepsilon_T(p) - \frac{\delta T}{\delta p} \cdot \varepsilon_p(p) \right] \frac{dp}{p} + \frac{R}{g} \int_{p_1}^{p_1 + \varepsilon_p(p_1)} \left[T_v(p) + \varepsilon_T(p) - \frac{\delta T}{\delta p} \varepsilon_p(p) \right] \frac{dp}{p}$$

on p_0 és la pressió en superfície, p_1 és la pressió “real” en el moment t_1 , $p_1 + \varepsilon_p(p_1)$ és la pressió que indica la radiosonda en l'instant t_1 , $\varepsilon_T(p)$ i $\varepsilon_p(p)$ són les incerteses en les mesures de temperatura i pressió, respectivament.

Per un nivell de pressió estàndard en concret, p_s , la pressió en el límit superior de la integral està especificada i, llavors, no està subjecte a errors del sensor de pressió. Així doncs, l'expressió anterior es redueix a la següent:

¹³ Ídem, amb velocitat del vent més gran que 3 m/s.

$$\varepsilon_z(p_s) = \frac{R}{g} \int_{p_0}^{p_s} \left[\varepsilon_T(p) - \frac{\delta T}{\delta p} \cdot \varepsilon_p(p) \right] \frac{dp}{p}$$

En general, els geopotencials a partir d'un nivell de pressió es poden mesurar força bé, fet crucial per les anàlisis sinòptiques i numèriques de superfícies isobàriques. No obstant, els errors en els nivells significatius són considerables.

2.2. La preparació del sondatge (*Ground Check*)

L'estació de superfície de Vaisala GC25 verifica la funcionalitat de la radiosonda, la precisió dels seus sensors i estableix la seva freqüència.



Figura 2.7. *Ground Check* Vaisala GC25. 1: cambra 2: display 3: Botons 4: Cable de comunicació 5: Safata de la radiosonda 6: Interruptor d'energia. (Font: Vaisala)

La cambra conté un dessecant (cartutx de tamís molecular, regenerable) que proporciona una humitat de referència de 0%RH. Per a una realització òptima, la GC25 ha de ser calibrada correctament i el dessecant ha d'estar totalment sec.

Dades tècniques:

Condicions operatives

Humitat: 0 – 85% RH

Temperatura: 5 – 45°C

Sensor de temperatura (PT-100)¹⁴

¹⁴ Pt-100: RTD (Resistance Temperature Detector) de platí la resistència del qual val 100 Ω quan la temperatura és de 0°C.

Incertesa:	0,1°C
Resolució:	0,01°C
Dimensions:	25 cm x 18 cm x 9 cm
Massa:	2,1 kg
Font d'energia	
Entrada:	100 – 240 V
Sortida:	16 V (DC)

FASES DE LA PREPARACIÓ

La preparació del sondatge es porta a terme en diferents fases:

- Reacondicionament: per tal de disposar d'un bon sensor d'humitat a la radiosonda, el *ground check (gc)* inclou una fase en que s'elimina la possible contaminació en aquests sensors. Tanmateix, si no fos així, la contaminació del sensor podria introduir un petit biaix en la mesura de la humitat. En aquesta fase de reacondicionament, que dura 3 minuts, la radiosonda es col·loca en l'aparell de la figura anterior.
- Establir la freqüència de transmissió: de fet, aquest procés es pot fer amb aquest aparell GC25 o bé directament des del software.
- *Ground checking*: consisteix en comparar els sensor de la radiosonda amb referències. L'usuari dona els valors de referència a l'equip GC, que els compara amb els donats per la radiosonda i realitza les correccions necessàries. En el cas de l'estació d'estudi, aquests valors de referència són transferits automàticament mitjançant un cable que el connecta amb l'ordinador, excepte el valor de pressió.

En aquest darrer procés, la radiosonda es rebutja durant la preparació del sondatge quan s'excedeix algun del següents llindars:

Pressió: ± 3 hPa
Temperatura: $\pm 1^\circ\text{C}$
Humitat: $+4$ % RH (a 0 % RH)

Òbviament, aquests controls han de tenir lloc pocs minuts abans del llançament. L'objectiu que es persegueix amb això és prevenir las radiosondes malmeses i millorar el calibratge de les radiosondes ja que poden perdre exactitud quan són transportades i emmagatzemades.

El llançament

Un cop s'ha superat amb èxit el *ground check* de la radiosonda arriba el moment de fer el llançament. Aquest procés, tant si es fa manualment o automàticament, es pot veure dificultat per la força i direcció dels vents en superfície.



Figura 2.8. Imatges d'estacions automàtiques de radiosondatge de VAISALA (Font: Vaisala) .

Els sensors de la radiosonda funcionaran correctament si la ventilació d'aquests és l'adequada just abans del llançament. En el cas que estigui plovent, és necessari protegir-la.

D'altra banda, cal tenir present que la radiosonda no pot estar suspesa massa a prop del globus en el vol ja que aquest és una font de contaminació per a les mesures de temperatura i humitat relativa. L'aire deixant, escalfat pel contacte amb la superfície del globus durant el dia, i refredat durant la nit, se situa a darrera del globus mentre ascendeix. A més, la superfície del globus es pot veure afectada pel vapor d'aigua en el cas que el globus travessi un núvol i perjudicar, doncs, en les mesures amb la radiosonda. Per tots aquest motius, la radiosonda incorpora un cordill per lligar-la al globus. La longitud d'aquest varia segons l'altura màxima d'observació ja que l'escalfament i refredament produït pel rastre del globus és més fort a pressions baixes. Així doncs, l'OMM recomana una longitud de 20 m per altures de fins a 20 km i el doble de longitud si s'assoleixen els 30 km.

2.3. El globus

Bàsicament, existeixen dos tipus de globus emprats en meteorologia:

- Globus pilot: s'utilitzen per a mesures visuals del vent i els *ceiling ballons* per a la mesura de l'altura de la base dels núvol i, normalment, no porten gaire càrrega. La seva forma esfèrica roman pràcticament constant en tot el vol.
- Els globus que s'utilitzen per portar instruments enregistradors i de transmissió per a observacions diàries de nivells superiors són coneguts simplement com a globus de sondatge. Aquests han de ser capaços d'ascendir una càrrega entre

200 g i 1 kg fins a altures de 30 km a una velocitat prou ràpida com per ventilar els aparells de mesura.

El millors materials per tal que sigui extensible un globus són el cautxú natural i el cautxú sintètic basat en el neoprè. El cautxú natural manté millor la seva forma que el neoprè, que és més fort i pot estar fet d'una capa molt fina. La temperatura no li afecta tant com l'ozó i la radiació ultraviolada d'altres latituds. Ambdós materials poden estar compostats per diferents additius per tal de millorar el temps d'emmagatzematge o bé per resistir millor les baixes temperatures en ple vol.

La major part dels globus hauria de tenir un coll entre 1 i 5 cm de diàmetre i entre 10 i 20 de llargària, segons la mida del globus. En el cas dels globus de sondatge, els colls han de ser capaços de resistir una força de 200 N (≈ 20 kg) sense danys. D'altra banda, s'han d'expandir com a mínim 4 vegades més que en el moment del llançament. Un cop inflats, els globus han d'adaptar una forma esfèrica o bé en forma de pera.

Per descomptat, cal complir les condicions d'emmagatzemament per tal que sigui operatiu al cap d'un temps relativament llarg. Així doncs, no han d'estar exposats a la llum (sobretot a la solar) ni tampoc experimentar temperatures extremes.

Segons el principi d'Arquimedes (o de flotabilitat), la sustentació total d'un globus ve donat per la següent expressió:

$$T = V(\rho - \rho_g) = 0.523 \cdot D^3 \cdot (\rho - \rho_g)$$

on V és el volum del globus, ρ la densitat de l'aire, ρ_g la densitat del gas i D el diàmetre del globus, que se suposa esfèric.

En general, es recomana una velocitat d'ascensió entre 300 i 400 m/min per tal de minimitzar el temps d'observació i també proporcionar suficient ventilació als sensors de la radiosonda. A més, s'ha de tenir en compte que l'altitud màxima que s'assoleix és menor quan la temperatura en el moment del llançament és molt baixa. S'han realitzat diversos estudis sobre la quantitat de gas òptima per aconseguir una altitud molt elevada. Per exemple, s'ha comprovat que reduint la velocitat de 390 a 310 m/min tot reduint, és clar, la quantitat de gas en l'inflament, l'altura en la qual el globus rebenta pot augmentar fins a 2 km. Durant el vol, l'extensió del globus es pot veure afectada per la pèrdua d'elasticitat a baixa temperatura, per l'acció química de l'oxigen, ozó i radiació ultraviolada i també per errors de fabricació tals com forats o petites taques. Òbviament, cal que l'entorn del lloc de llançament estigui lliure d'arbres, edificis i qualssevol altres obstacles.

En alguns països, com a conseqüències de fortes mesures de seguretat s'obliga a afegir un paracaigudes en el globus o qualsevol altre mitjà que redueixi la velocitat de descens després que el globus rebenti. El paracaigudes ha de reduir el descens a prop de la superfície de tal forma que no superi una velocitat vertical de 6 m/s i també ser resistent a l'aigua.

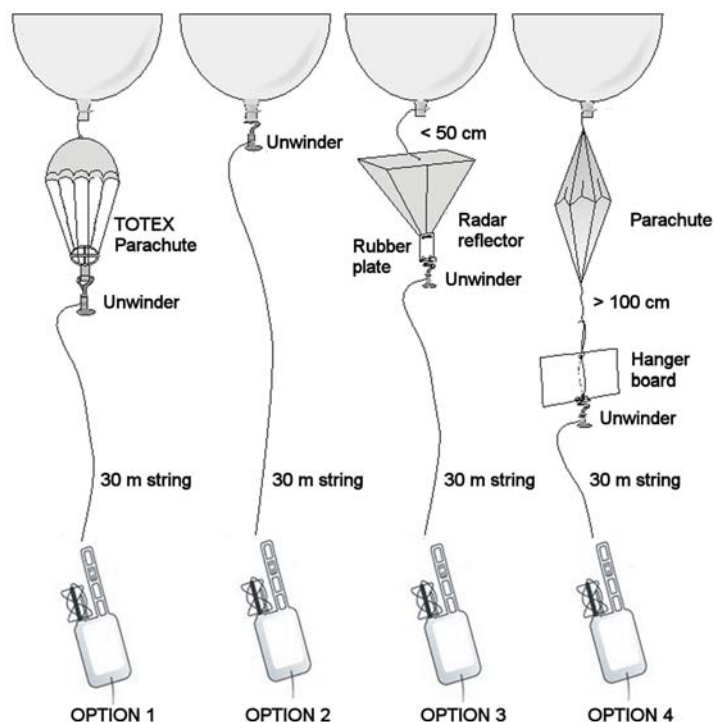


Figura 2.9. Accessoris opcionals del radiosondatge. Opció 1: sondatge amb paracaigudes TOTEX¹⁵. Opció 2: sondatge sense cap accessori. Opció 3: sondatge amb radar reflector. Opció 4: sondatge amb paracaigudes (Font: Vaisala).

A d'altres països, com ara el Estats Units o Suïssa, sovint cerquen les radiosondes per recuperar-les i així reutilitzar-les. S'estima que aproximadament el 18% de les sondes d'EEUU són reutilitzades després d'un procés laboriós de renovació, mentre que al país del Alps el percentatge s'eleva fins al 60%! (Dabberdt, 2003). De fet, fa unes dècades, al continent americà qui es trobava un globus sonda tenia l'obligació de portar-ho al servei meteorològic més proper i se'l gratificava amb una petita recompensa per haver recuperat els aparells, per si es podien aprofitar de nou.



Figura 2.10. Estat de l'equip de sondatge trobat el dia 31 de juliol de 2009 en una explotació agrària i ramadera a Tordera (Maresme). S'observa com el globus està totalment estripat però s'identifica molt bé les diferents parts de la radiosonda. (Font: Bloc de meteorologia “El temps amb nom i cognoms”)

¹⁵ TOTEX: fabricant japonès de globus meteorològics des de l'any 1937.

DIMENSIONS DEL GLOBUS:

	<i>Moment del llançament</i>	<i>Moment de l'esclat</i>
<i>Gruix normal del globus inflat</i>	0,05 – 0,10 mm	0,003 mm
<i>Diàmetre del globus</i>	1,00 – 1,50 m	5 – 10 m

Taula 2.1. Gruix i diàmetre del globus en diferents moments del sondatge. (Font dades: Vaisala)

Aquestes xifres impliquen que el mínim dany produït durant la preparació prèvia al vol, molt probablement donarà com a resultat un esclat a baixa altitud. Evidentment, si es pretén assolir la màxima altura, el globus ha de manejar-se amb la màxima precaució durant els preparatius pel vol. Cal tenir present, que el globus explota per sobretensió del làtex quan aquest s'expandeix i no perquè hi hagi augment de pressió a l'interior del globus. La pressió del gas dins del globus es manté en equilibri amb la de l'exterior durant tota l'ascensió. Com aquesta va disminuint, el volum del globus augmenta fins a tal punt que la sobretensió del làtex arriba a la màxima elasticitat i el globus explota. La massa del globus és de 350 g.

2.3.1. Gasos emprats en l'inflament dels globus

Els globus del sondatge es poden inflar amb hidrogen o heli. El que és l'element més lleuger i abundant a l'univers té una força ascendent lleugerament superior a la de l'heli, és molt més barat que aquest i es pot aconseguir a pràcticament tot el món. No obstant, presenta un gran inconvenient: és un gas altament explosiu al mesclar-se amb l'aire. El risc d'incendi o explosió es pot minimitzar si s'adopten mesures estrictes de precaució. Malgrat tot, en el radiosondatge barceloní es va optar per l'opció de l'heli. L'empresa CARBUROS METALICOS és l'encarregada de subministrar aquest gas transportat amb bombones.

2.4 El software

És important disposar d'un bon programa de processament de dades del sondatge. A part de les aplicacions, que es comentaran tot seguit, cal tenir present la interpolació que es produeix quan hi manquen dades. En alguns casos, aquest procediment pot introduir errors importants de les mesures.

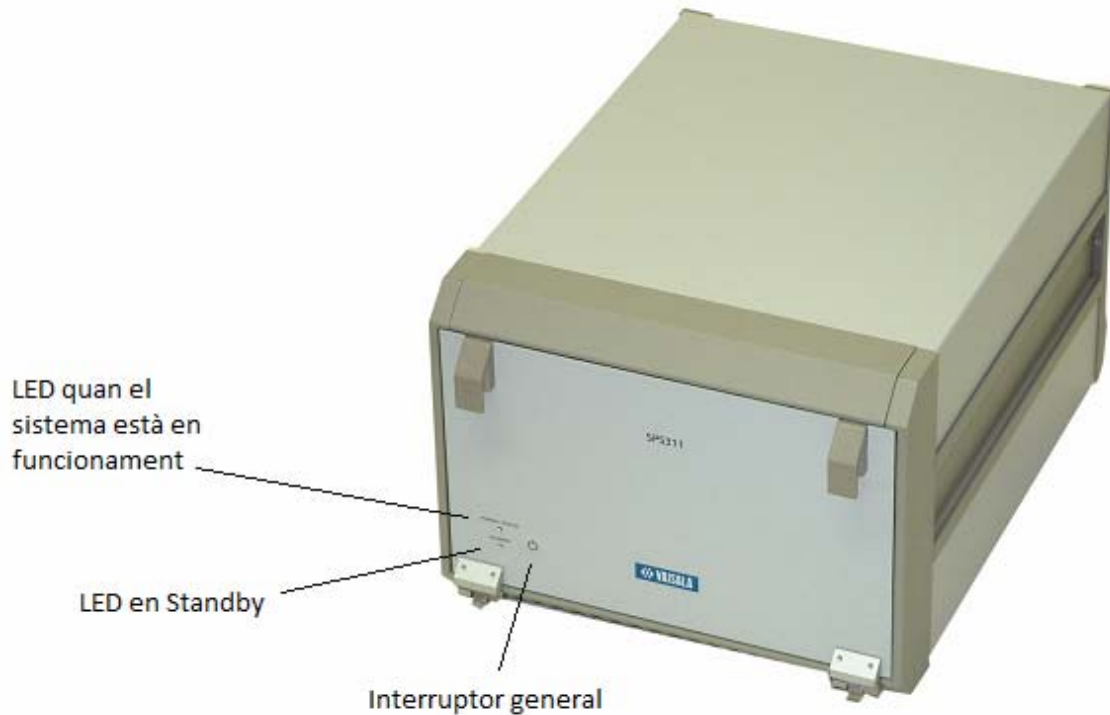


Figura 2.11. Cara frontal del subsistema processador de sondatge.
(Font: Vaisala)

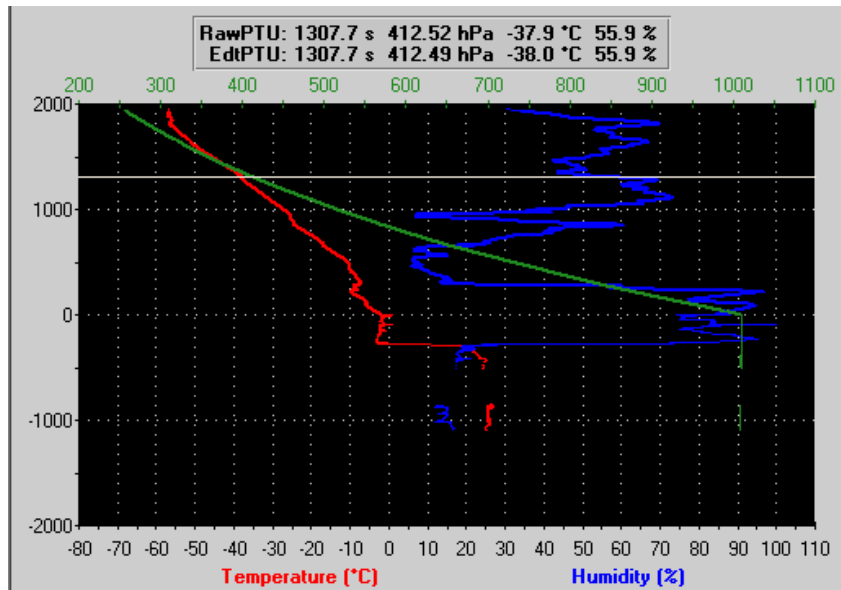
En el nostre cas, el sistema de sondatge es porta a terme amb el programa DigiCORA¹⁶. Aquest *software* serveix per a analitzar, arxivar i retransmetre les dades del radiosondatge. Està compost per un programa principal i per diverses aplicacions opcionals. El sistema de sondatge DigiCORA està format per un ordinador (PC), el qual està connectat a un subsistema processador de sondatge a través d'un adaptador de xarxa. Aquest subsistema de sondatge conté les unitats de processador per a PTU, cerca de vent GPS i les connexions adequades de les antenes necessàries (també es pot utilitzar amb un radioteodolit).

Aplicacions:

- Dades crues de PTU: serveix per a visualitzar els valors de pressió, temperatura i humitat sense processar durant la recepció de les dades. També mostra les dades processades.

¹⁶ DigiCORA: marca comercial enregistrada de Vaisala als EEUU, entre d'altres països.

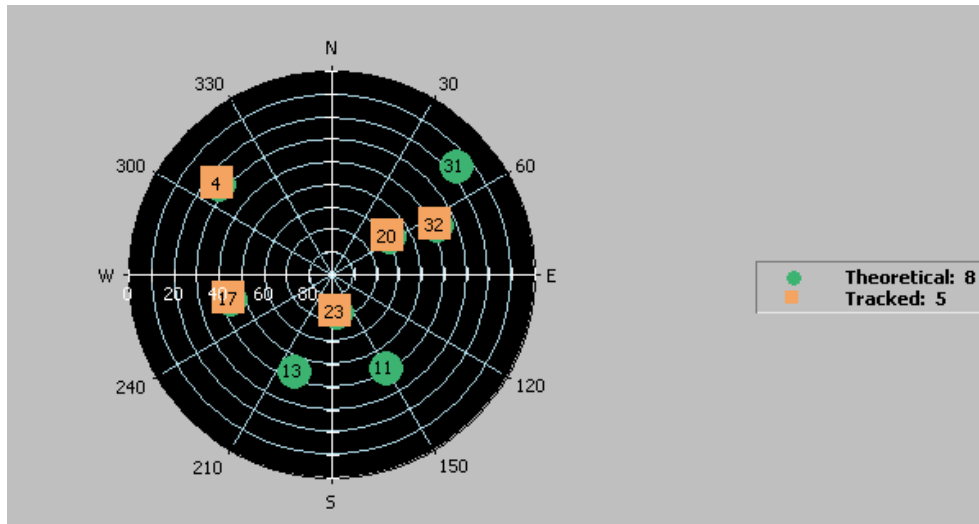
“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”



- Trajectòria de la radiosonda: es pot visualitzar el seu moviment amb diferents mètodes, per exemple, mostrant la direcció i la distància des de l'estació de sonatge fins la radiosonda o bé amb la latitud i longitud de la mateixa. Fins i tot, existeix una aplicació del Google Earth per mostrar aquesta funció:



- Vista GPS: es pot saber quins satèl·lits estan disponibles, la direcció en la qual es troben així com la informació pel càlcul de vent mitjançant les efemèrides.



3. Arxius de dades i representacions del radiosondatge

La finalitat d'aquest capítol és donar a conèixer els dos tipus de fitxers que es generen cada cop que es realitza un radiosondatge així com també la representació d'aquestes observacions.

Com es veurà en el capítol posterior, a l'hora de treballar amb dades de radiosondatge cal tenir ben present quin dels dos formats és el més adient segons l'objectiu de l'estudi en qüestió.

3.1. Codis *temp* i *text*

Quan hom realitza un radiosondatge, el *software* de l'estació receptora genera dos tipus de missatges o codis amb les extensions *.txt* i *.tem*. El primer fitxer conté les dades obtingudes del llançament cada 10 o 2 segons¹⁷. En particular, trobem la següent informació:

- Temps de sondatge des del llançament (minuts i segons).
- Velocitat d'ascens en m/s.
- L'altura geopotencial en m.
- La pressió en hPa.
- La temperatura en °C.
- La humitat relativa en %RH.
- La temperatura del punt de rosada en °C.
- La direcció del vent en graus.
- La velocitat del vent en m/s.
- La longitud i la latitud en graus.

El codi temp, abreujat com a TEM, conté la informació resumida que permet reproduir el perfil del radiosondatge sense gran pèrdua d'informació. A més, conté els valors de les variables pels nivells estàndards¹⁸, significatius, de la tropopausa, del vent màxim a part de la identificació de l'estació i l'hora del radiosondatge. També convé destacar que es genera a mesura que el globus ascendeix, independentment del fitxer text. Els grans avantatges d'aquest codi són la baixa mida de l'arxiu i el format internacional, fets que afavoreixen el ràpid i eficaç intercanvi de dades globalment. No obstant, la informació es presenta de forma, aparentment, il·legible.

¹⁷ Al febrer de 2009 es va canviar la consola que rep i processa les dades del sondatge. Un dels avantatges respecte l'anterior és precisament que pot mostrar les dades cada 2 segons en comptes de cada 10.

¹⁸ En anglès *mandatory levels*.

“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”

Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat	
min	s	m/s	m	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg	
0	0	0.0	98	1001.9	19.1	58	10.7	250	1.0	2.1	41.4
0	2	6.0	110	1000.5	18.3	56	9.5	239	1.2	2.1	41.4
0	4	6.5	123	999.0	18.1	57	9.4	238	1.4	2.1	41.4
0	6	5.6	134	997.7	18.0	58	9.6	238	1.5	2.1	41.4
0	8	5.5	145	996.4	17.9	59	9.8	238	1.7	2.1	41.4
0	10	6.5	158	994.9	17.8	59	9.8	238	1.8	2.1	41.4
0	12	7.0	172	993.3	17.7	60	9.9	237	2.0	2.1	41.4
0	14	6.4	185	991.8	17.6	60	9.8	236	2.1	2.1	41.4
0	16	5.6	196	990.5	17.5	61	9.8	235	2.2	2.1	41.4
0	18	6.0	208	989.1	17.4	61	9.8	232	2.3	2.1	41.4
0	20	6.4	221	987.6	17.2	61	9.8	229	2.3	2.1	41.4
0	22	6.4	234	986.2	17.1	62	9.7	225	2.4	2.1	41.4
0	24	6.2	246	984.7	17.0	62	9.7	221	2.4	2.1	41.4
0	26	5.9	258	983.4	16.9	63	9.7	216	2.5	2.1	41.4
0	28	6.0	270	982.0	16.8	63	9.7	210	2.5	2.1	41.4

Figura 3.1. Primeres dades d'un fitxer .txt. En particular, corresponen al dia 28 de maig de 2010 a les 00 UTC.

100528 00:00

TTAA 78001 08190

99002 19059 25002 00114 18259 24002 92776 13656 08513
 85487 11658 16506 70078 00326 19519 50569 17325 22513
 40732 29959 17516 30930 45341 21027 25049 54946 22530
 20191 56765 23533 15375 53583 23538 10637 52183 24538
 88241 56357 23036

77999

31313 48008 82314=

TTBB 78008 08190

00002 19059 11982 16657 22894 11656 33889 12047 44875
 13459 55745 04057 66612 07500 77563 12719 88558 12358
 99555 12350 11499 17524 22483 19357 33450 23516 44418
 27516 55406 29321 66401 29758 77394 30561 88383 32541
 99320 43316 11293 46356 22288 47357 33258 53746 44241
 56357 55228 54564 66205 57764 77182 53374 88174 54176
 99129 51184 11119 53783 22100 52183
 21212 00002 25002 11939 08010 22793 18511 33776 18017
 44757 20015 55706 19519 66658 18513 77640 21512 88618
 21012 99593 18513 11557 18517 22531 22011 33506 22011
 44489 24013 55475 24509 66450 20514 77441 21015 88417
 17511 99389 17517 11372 15519 22321 16518 33303 20524
 44246 22531 55239 23537 66231 24536 77222 23036 88190
 24035 99171 22535 11162 24038 22154 22034 33149 24040
 44128 25539 55117 24043 66106 26037 77100 24538

31313 48008 82314

41414 //

51515 11890 12506 22800 17508 33600 19012=

TTCC 78003 08190

70866 57782 26525 50077 59181 32509 30401 54183 23012
 88735 57582 27023

77999

31313 48008 82314=

TTDD 7800/ 08190

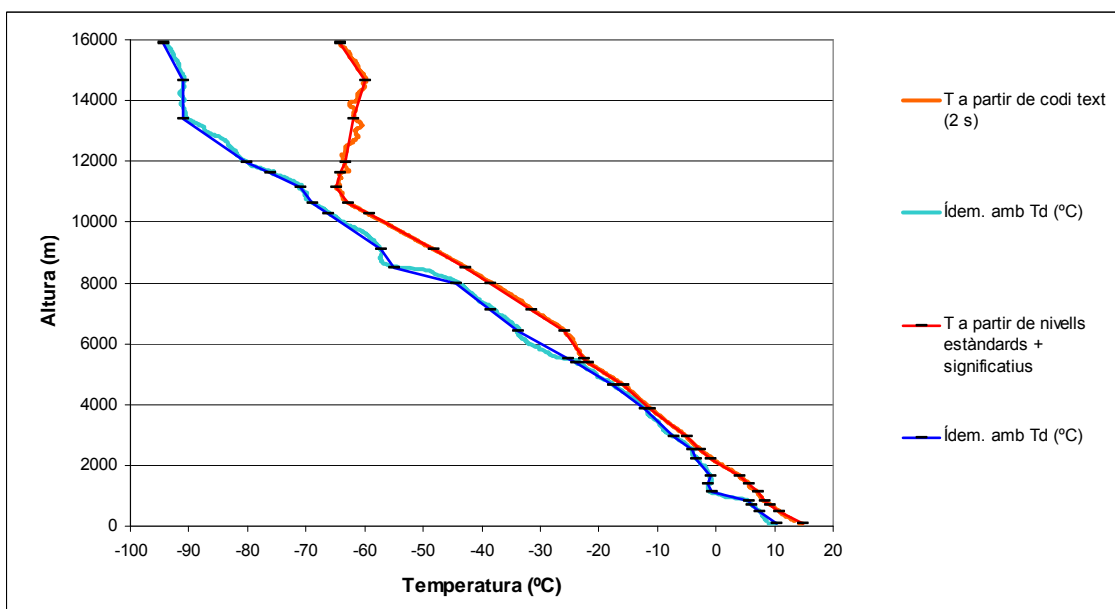
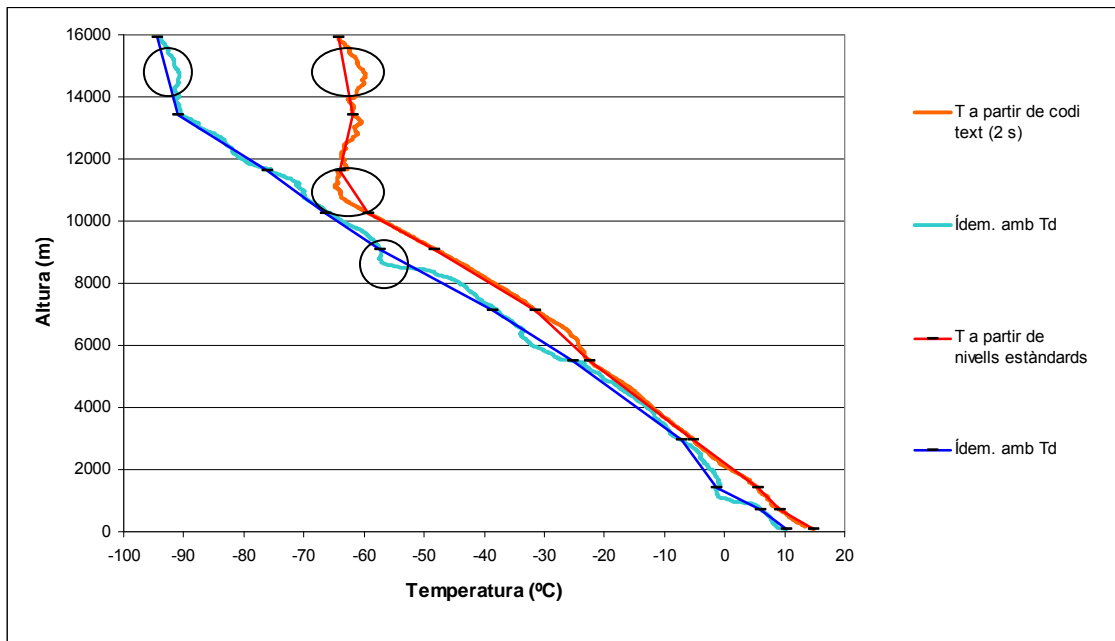

```
11959 49984 22735 57582 33543 60381 44402 58981 55312
53783 66288 54183 77261 49384 88258 49584
21212 11925 25540 22822 24543 33778 27536 44727 26021
55717 25521 66684 26530 77658 26530 88637 29029 99610
27518 11531 28017 22505 32010 33451 23001 44402 23510
55386 27014 66368 26511 77363 28010 88331 21510 99310
24017 11299 23513 22290 25021 33283 26018 44273 29511
55258 31510
31313 48008 82314=
```

Figura 3.2. Fitxer *temp* complet de la mateixa observació que la figura anterior. Les dades corresponents als nivells estàndards fins a 100 hPa estan contingudes a la secció TTAA i a partir d'aquest llinar a la TTCC. Els nivells significatius es troben a TTBB i TTDD seguint el mateix criteri que l'anterior¹⁹.

Els nivells estàndards són nivells de pressió constant que es requereixen si es pretén fer una avaluació completa de l'atmosfera. Aquests són 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10, 7, 5, 3, 2 i 1 hPa. (AMS) . No obstant, en una observació habitual de radiosondatge a tot estirar s'assoleix el nivell estàndard de 20 hPa. D'altra banda, els significatius, tal com el seu nom indica, són superfícies de pressió constant en que les dades de temperatura i/o humitat són suficientment importants o inusuals com per cridar l'atenció de l'usuari o bé es requereixen per tal de reproduir correctament el radiosondatge (AMS). Per exemple, les bases i els cims de capes d'inversió tèrmica (si el seu gruix és superior a 20 hPa), canvis importants d'humitat relativa, capes que tinguin més d'1°C entre dos punts per sota dels 300 hPa i 2°C per sobre, etc.

Les següents gràfiques mostren que el codi temp (amb nivells estàndards i significatius) reproduïxen de manera força aproximada al radiosondatge representat per les dades cada 2 segons.

¹⁹ No és objectiu d'aquesta secció ni d'aquest treball explicar l'estructura amb detall dels fitxers TEMP. A la xarxa, existeixen diverses publicacions on es troba aquesta informació.



En aquest segon cas, en que hi ha més nivells significatius, es comprovarà que si només es fan servir les superfícies estàndards, aleshores, la reproducció d'aquest sondatge, en particular la temperatura de rosada, és nefasta.

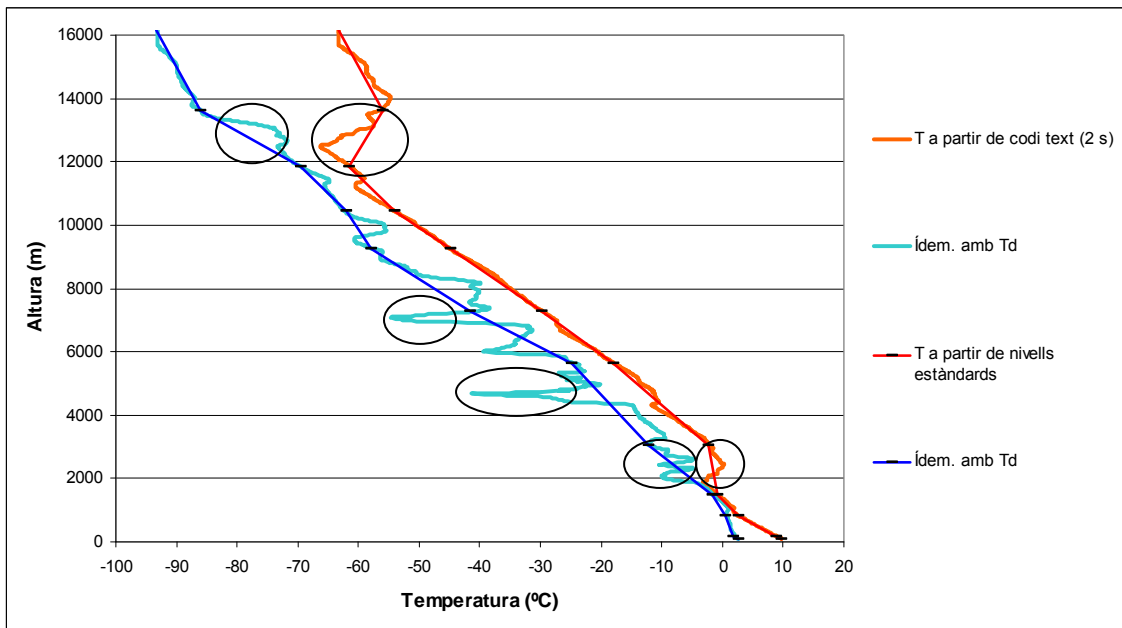


Figura 3.4a. Perfil vertical de temperatura i del punt de rosada del radiosondatge 10010300 amb dades en format text cada 2 segons comparant amb dades de nivells estàndards. S'ha assenyalat mitjançant cercles les desviacions importants de temperatura. Cal destacar que la representació del punt de saturació és pitjor que la temperatura ja que la humitat és una variable que fluctua considerablement. D'altra banda, si es té només en compte els nivells estàndard, la inversió tèrmica a la baixa troposfera no es pot detectar.

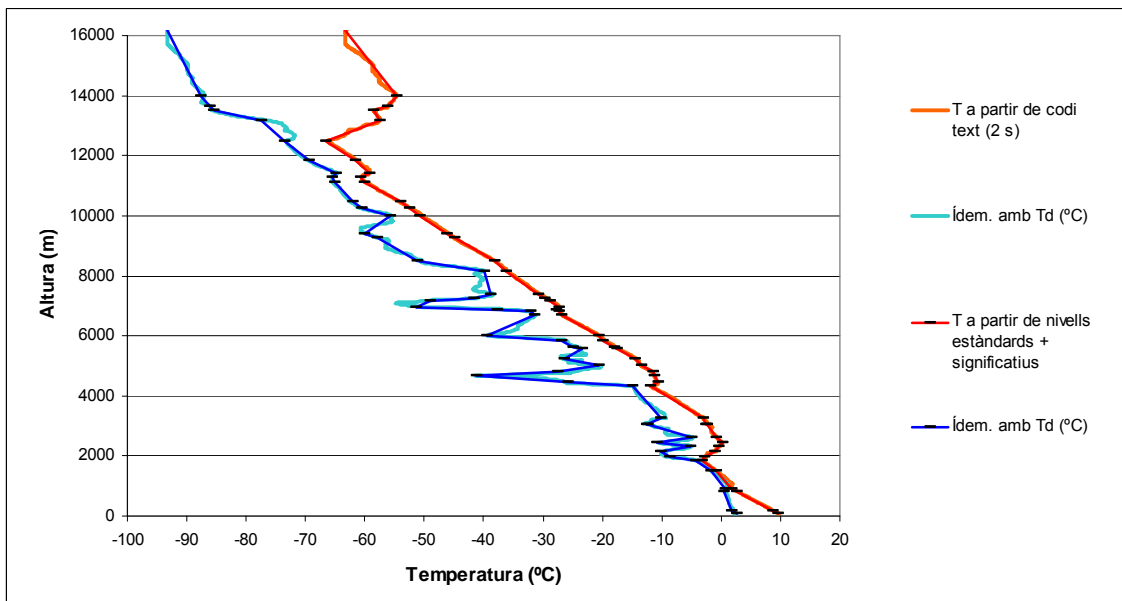


Figura 3.4b. Perfil vertical de temperatures del mateix sondatge que la figura anterior afegint a les línies més primes les dades dels nivells significatius fins 100 hPa (és a dir, l'apartat TTBB del codi temp). En

aquest cas, es van donar 38 nivells significatius (19 més que en el cas anterior).

Com s’ha esmentat anteriorment, des de febrer de l’any 2009 les dades que es reben en format text són cada 2 segons. Anteriorment, aquesta xifra era de 10 segons. Per sort, la consola antiga es manté a l’estació de radiosondatge i, per tant, es poden obtenir dades d’un mateix radiosondatge pels dos sistemes d’adquisició de dades.

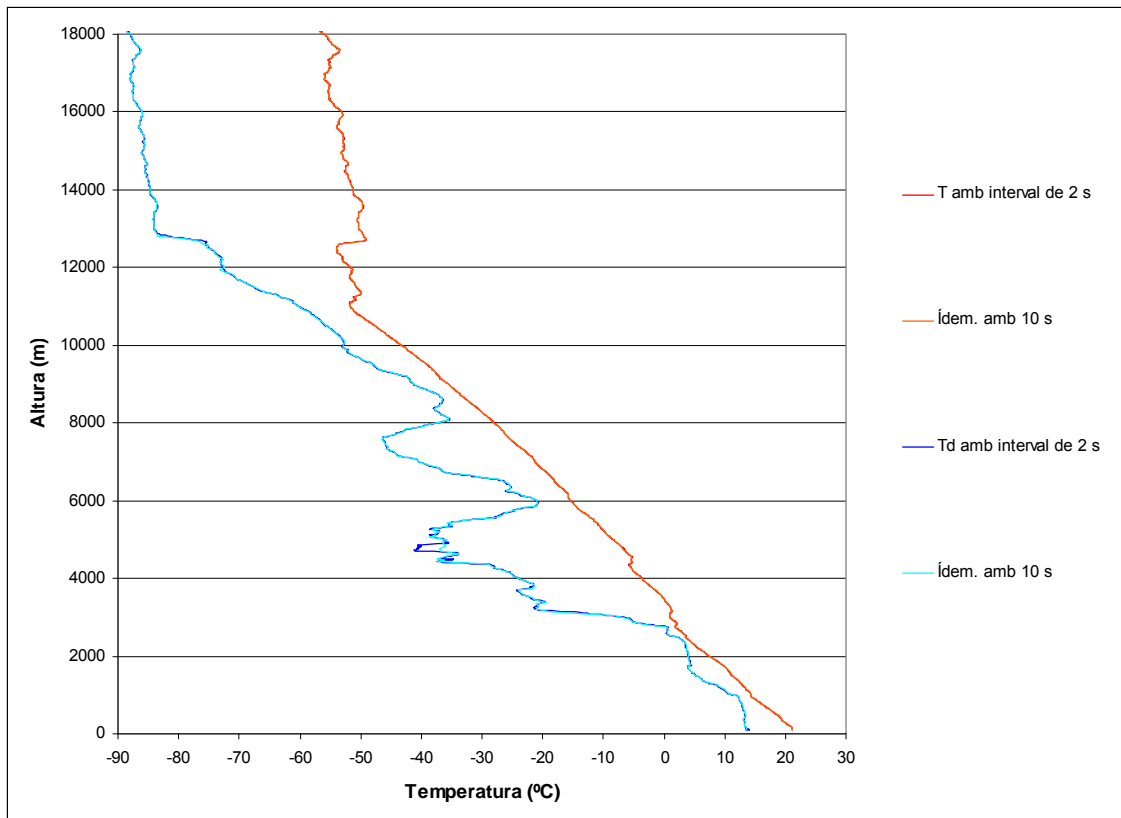


Figura 3.5a. Radiosondatge realitzat el 15 d’agost a les 00 UTC amb les dues màquines d’adquisició de dades disponibles. S’observa que pràcticament les representacions són idèntiques, exceptuant algun tram concret del punt de rosada.

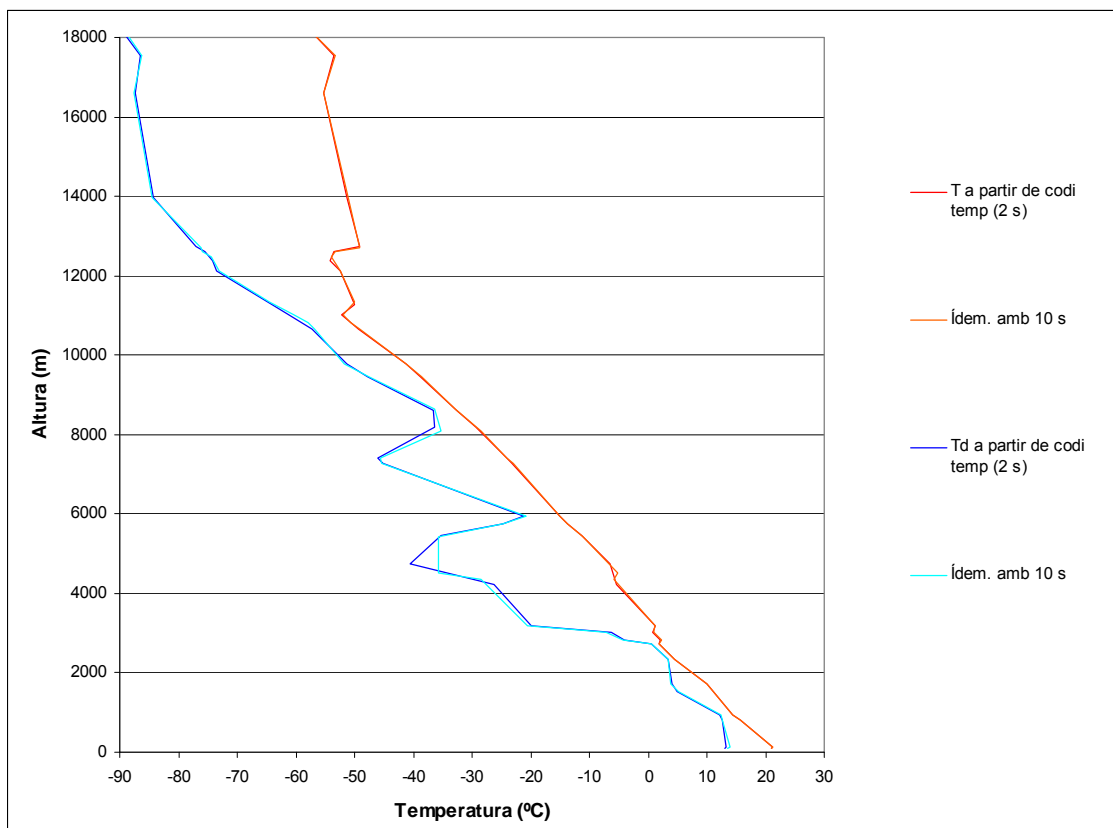


Figura 3.5b. Mateix radiosondatge doble que la figura anterior. S'observa, novament, que per la temperatura és gairebé indiferent l'interval de temps entre dades pel càlcul del codi temp i que el resultat és lleugerament diferent en alguns punts concrets pel cas de la humitat.

El fet que sigui independent obtenir les dades del sistema d'adquisició antic (cada 10 s) que del nou (cada 2 s) és un factor transcendental ja que a l'hora de fer qualsevol estudi (climatològic) amb la base de dades actual de més de 10 anys es pot assegurar, si més no en part, la homogeneïtzació de la sèrie (secció 6).

3.2. Diagrames termodinàmics

Un diagrama termodinàmic és un gràfic que representa valors de pressió, densitat, temperatura, vapor d'aigua o alguna variable en funció d'aquestes, en que l'equació d'estat, de Clapeyron-Clausius i les primeres lleis de la termodinàmica per processos adiabàtics, de saturació o pseudoadiabàtic se satisfan (AMS).

Existeixen una gran varietat de diagrames que compleixen les condicions esmentades anteriorment. Tots mostren (llegint en sentit contrari a les agulles d'un rellotge sobre un punt) isòbares, isotermes, línies de vapor, saturació o pseudoadiabàtiques i adiabàtiques seques. Quan una partícula d'aire experimenta un procés reversible, els estats posteriors possibles estan representats mitjançant corbes

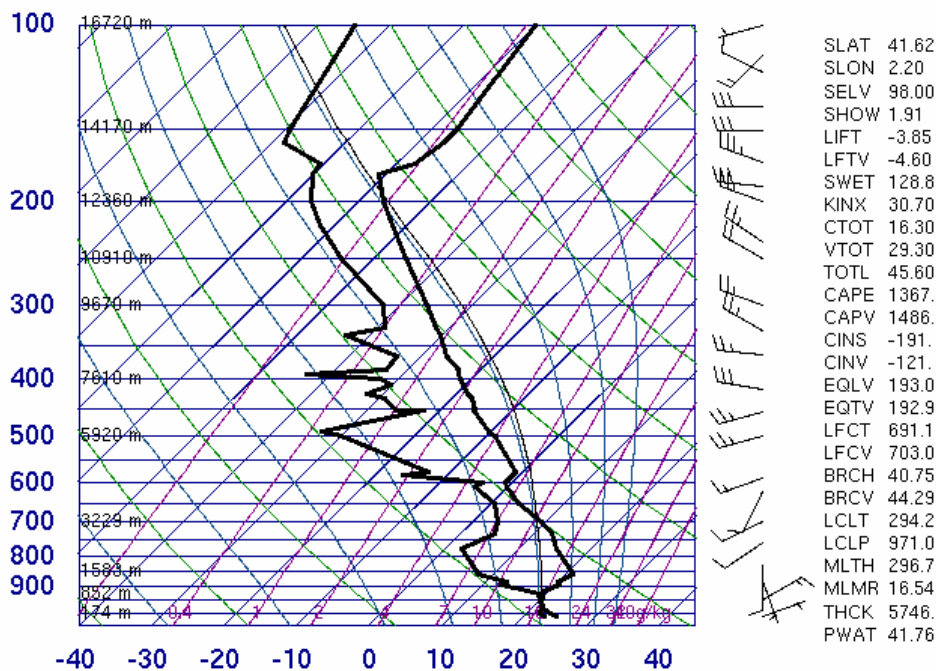
pel diagrama termodinàmic. Un procés cíclic es representa per una corba tancada. En algunes gràfiques, l'àrea tancada és directament al treball realitzat en el procés.

Chart	X (x-axis)	Y (y-axis)	Equation for $T = \text{const}$	Equation for $\theta = \text{const}$	Thermodynamic work by system	Remarks
Aerogram or Refsdal diagram	$\ln T$	$-T \ln p$	$X = \ln T$	$Y = \frac{c_p}{R}(\ln \theta - X) + \text{const}$	$-R \int Y dX$	Only isotherms are straight lines.
Clapeyron ($\alpha, -p$)	α	$-p$	$Y = -\frac{RT}{X}$	$Y = \text{const} \left(\frac{\theta}{X}\right)^{c_p/c_v}$	$-\int Y dX$	Classic physics diagram; isentropes curved and nearly parallel to isotherms.
Emagram or Neuhoff diagram	T	$-\ln p$	$X = T$	$Y = \text{const} - \frac{c_p}{R} \ln \left(\frac{X}{\theta}\right)$	$-R \int Y dX$	Isentropes slightly curved.
Pastagram	T_0	$T_0 \left[1 - \left(\frac{p}{p_0}\right)^{\kappa/\gamma}\right]$	$Y = X - T$	$Y = X \left[1 - \left(\frac{\theta}{X}\right)^{\kappa(1-\gamma/\gamma)}$	Not relevant	T_0, p_0 are surface values, $\gamma = 6.5 \text{ K km}^{-1}$; used mainly for hydrostatic calculations.
Stüve or Pseudo-adiabatic	T	$-p^{\kappa/\gamma}$	$X = T$	$Y = \text{const}(X/\theta)$	$c_p \int \ln(-Y) dX$	Isentropes are straight, inclined lines; proportionality of area and work sacrificed.
Skew T-log p or Skewed emagram	$T - c \ln p$	$-\ln p$	$Y = \frac{X - T}{c}$	$\frac{R}{c_p} Y + \ln(X - cY) = \ln \theta + \text{const}$	$-R \int Y dX$	Isotherms straight, but tilted according to $T = X - cY$; isentropes curved.
Tephigram	T	$\ln \theta$	$X = T$	$Y = \ln \theta + \text{const}$	$-c_p \int Y dX$	Isobars are curved, inclined lines.
Thetagram	T	$-p$	$X = T$	$Y = X \ln(-Y) + \text{const}$	$-R \int (X/Y) dY$	Isentropes curved; area not proportional to work.

Taula 3.1. Trets característics dels diagrames termodinàmics més freqüents en la representació de radiosondatges.

A continuació, es mostren exemples de diferents diagrames:

08190 Barcelona



00Z 10 Jul 2010

University of Wyoming

Figura 3.6. Diagrama Skew-T (Font: University of Wyoming).

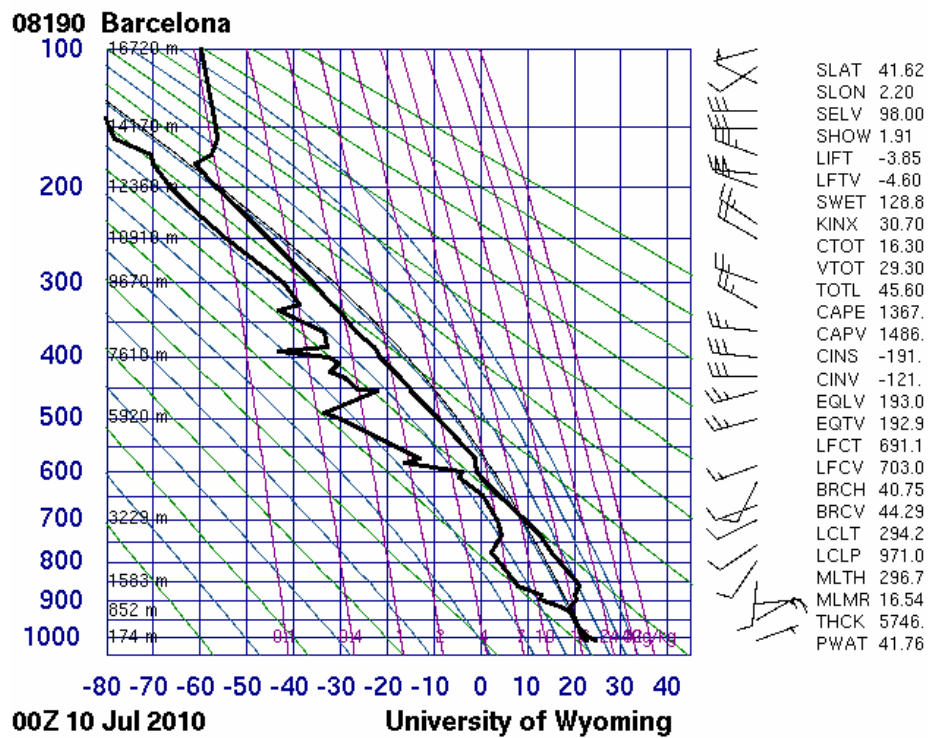


Figura 3.7. Diagrama Stüve del mateix radiosondatge que la figura anterior (Font: University of Wyoming).

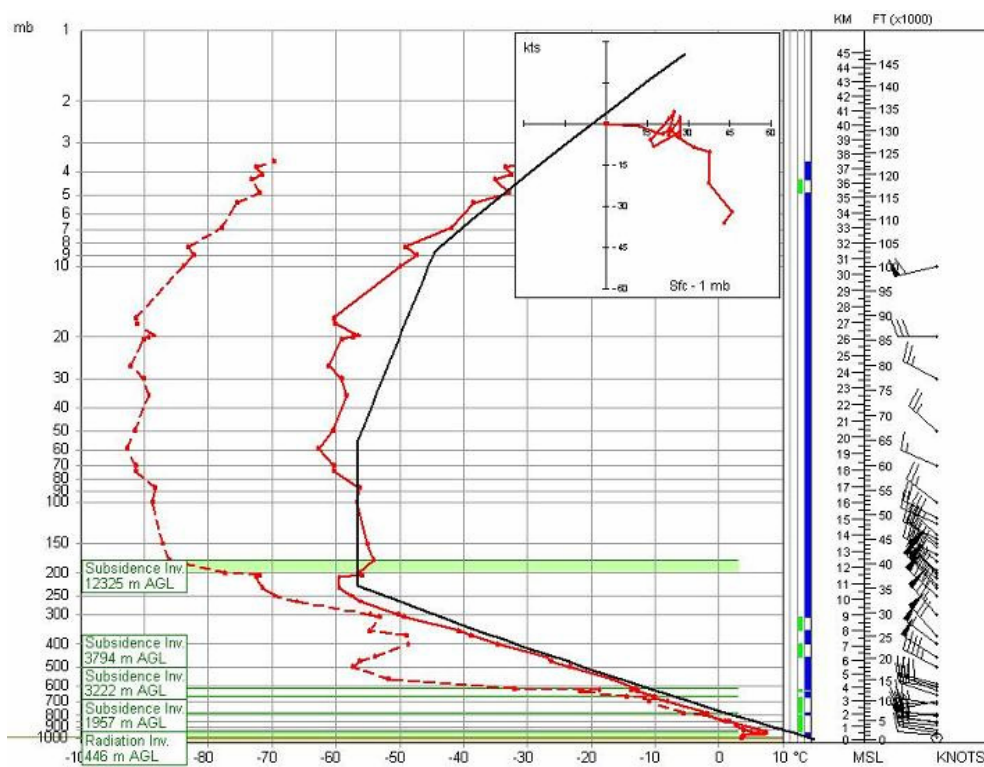


Figura 3.8. Diagrama termodinàmic de tipus emagrama (Font: RAOB).

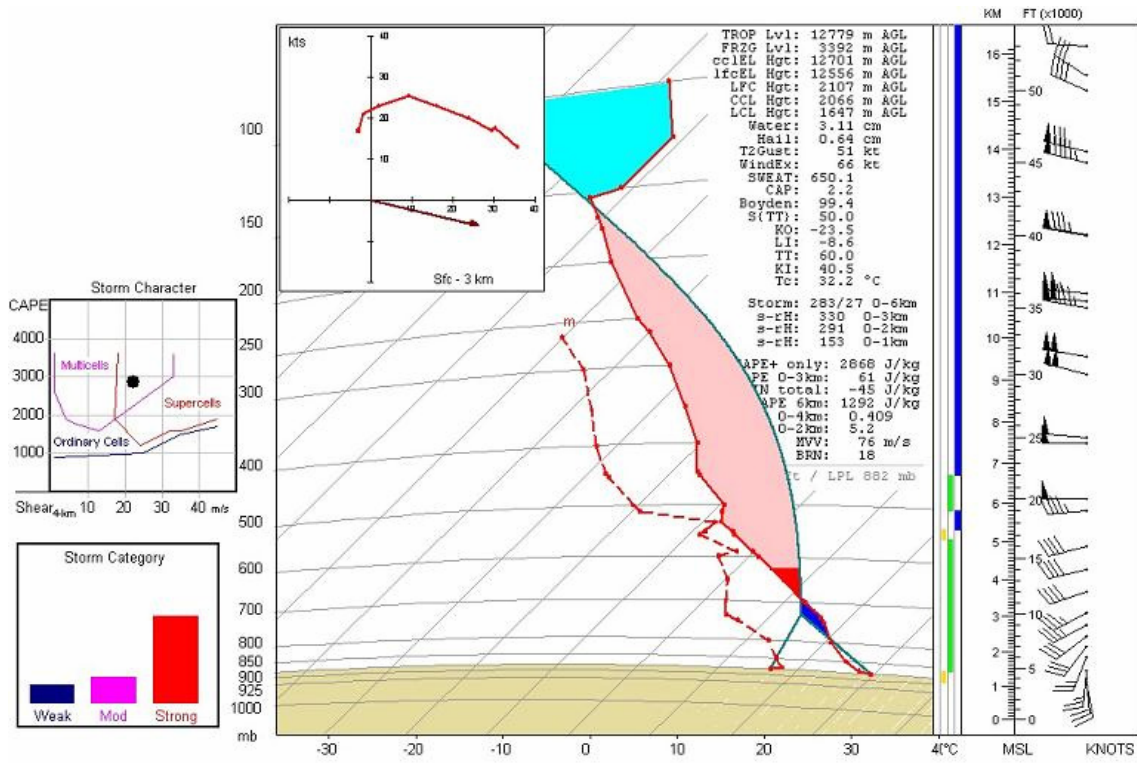


Figura 3.9. Diagrama termodinàmic de tipus tefigrama (Font: RAOB).

4. Control de qualitat de dades

En aquesta secció d'aquest document es pretén remarcar la importància de disposar d'una bona base de dades del radiosondatge. De fet, el control de qualitat de les dades meteorològiques des de sempre ha sigut de gran interès per l'anàlisi i previsió (Collins, 2000). Com qualsevol control de qualitat de dades la finalitat d'aquest és detectar possibles errors i, conseqüentment, la seva prevenció per tal d'aconseguir el nivell d'exactitud més alt possible per a tots els usuaris oferint un servei òptim de les dades.

En el primer apartat es comenta l'interval de temps de dades amb les que s'ha treballat en aquest estudi. Posteriorment, es fa un apunt sobre els estudis que ja s'han realitzat en altres estacions de radiosondatge i també, en particular, sobre el de Barcelona. A continuació, es detallaran tots els filtres que s'han aplicat a tots els fitxers (tant els text com els temp) acompanyat dels resultats obtinguts en el cas de Barcelona així com en el principal treball elaborat sobre aquest mateix tema.

4.1. Base de dades

Com ja s'ha comentat anteriorment, el primer radiosondatge realitzat des del terrat de la facultat de Física de la Universitat de Barcelona tingué lloc el dia 2 de setembre de 1997. No obstant això, les observacions diàries no van arribar fins al maig de l'any següent ja que fins aleshores es considera un període de proves. A partir del maig de 1999 es duen a terme dos radiosondatges diaris.

En aquest estudi de revisar les dades i detectar errors s'han considerat tots els radiosondatges realitzats des de maig de 1999 fins al juliol de 2010, és a dir, poc més d'onze anys. Fins i tot, també s'han tingut present els sondatges “extres” portats a terme al llarg de la tardor de 2009 dins la campanya de MEDEX. Per tant, això representa una base de dades de més de 8000 radiosondatges realitzats.

4.2. Precedents

Òbviament, aquest no és el primer treball que es realitza sobre la validació de dades d'una estació de radiosondatge. El *National Climatic Data Center* (NCDC) disposa de la base de dades de radiosondatge més gran del món, anomenada IGRA, *Integrated Global Radiosonde Archive*. Més de 1500 estacions distribuïdes globalment formen part d'aquest arxiu, algunes d'elles amb dades de més de 50 anys, fet que suposa aproximadament 30 milions de sondatges analitzats. És per aquest motiu que la majoria d'articles i estudis que s'han fet amb dades de radiosondatge fan referència a l'IGRA com p.ex., l'IPCC²⁰ de 2007. Doncs bé, l'IGRA és el resultat d'un rigorós control

²⁰ IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*): establert per l'OMM l'any 1988 amb l'objectiu d'analitzar, de forma exhaustiva, objectiva, oberta i transparent, la informació científica, tècnica i socioeconòmica rellevant per entendre els elements científics del risc que suposa el canvi climàtic

de qualitat sobre les dades d'observacions de radiosondatge. Aquest control consisteix en l'aplicació de diversos algoritmes decidint finalment si la dada és correcta i, per tant, supera un determinat filtre o bé es rebutja, en el cas contrari.

La nostra validació de dades es basarà, en part, en els diversos filtres que són aplicats per IGRA i que l'article de l'Imke Durre (vegeu referències) en detalla els processos i els resultats obtinguts sobre totes les estacions de l'arxiu. El radiosondatge de Barcelona queda exclòs d'aquest estudi:

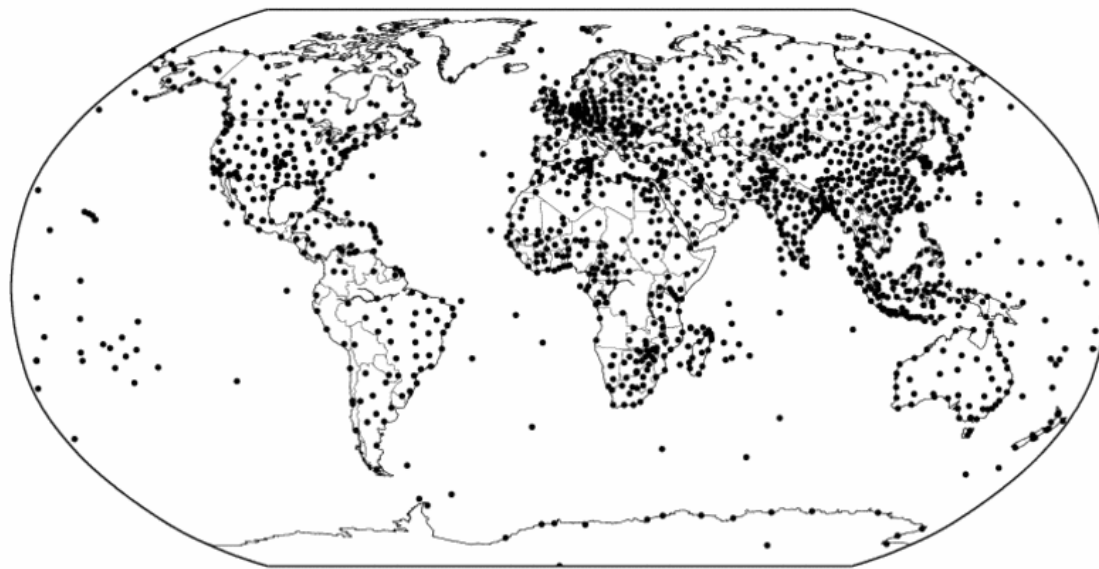


Figura 4.1. Totes les estacions de radiosondatge que formen part de l'IGRA (NCDC-NOAA).

L'única verificació de les dades del radiosondatge de Barcelona es porta a terme per la Montse Aran et al. (SMC). A part d'estudiar la climatologia de les dades del radiosondatge, elabora un procés de verificació per tal de detectar dades errònies. Tal com s'ha comentat en els objectius del present treball, es pretén millorar exhaustivament i automatitzar el control de qualitat de les dades del radiosondatge barcelonès i així poder comparar amb el que s'ha fet anteriorment per part del SMC.

4.3. Filtres emprats

Cada radiosondatge genera un elevat nombre de dades²¹ que s'han de verificar. Aquest tret, doncs, és crític en el procés de validació d'una base de dades de més d'onze anys com la del sondatge de Barcelona. Per aquest motiu, s'ha decidit que

provocat per les activitats humanes, les seves possibles repercussions i les possibilitats d'adaptació i atenuació del mateix (IPCC).

²¹ En terme mig, en un radiosondatge de l'actualitat (amb dades cada 2 segons en l'arxiu .txt), cal validar (1 h \Rightarrow 1800 línies \Rightarrow 7 (de les 12) dades d'interès per línia \approx) 13000 valors aproximadament.

la metodologia més adequada per aquest tractament de dades és un llenguatge de programació; en particular, llenguatge C²².

4.3.1. Filtre zero

Aquest primer filtre consisteix en verificar que els noms dels arxius del radiosondatge, és a dir, les dates, siguin vàlides. Tal com s’ha dit en el primer capítol, cada vegada que es realitza una observació es generen dos tipus d’arxius amb les extensions *.tem* i *.txt*. Doncs bé, el format d’aquests és el següent:

YYMMDDHH.*extensió* YY = any MM = mes DD = dia HH = hora UTC

Aleshores, el que es comprova amb aquest filtre és que les dates siguin coherents, és a dir, que no hi hagi cap fitxer amb data de 31 d’abril o bé, un mes que sigui més gran que 12, etc.

4.3.2 Filtre A1

Aquest segon control, esmentat per la NOAA com a *Fundamental sanity check*, es basa en els líndars, tant inferiors com superiors, de les variables mesurades. S’han establert els següents intervals vàlids:

Variable meteorològica	Límit inferior	Límit superior
Temperatura	-75°C	40°C
Geopotencial	94 m	31000 m
Pressió	12 hPa	1030 hPa
Humitat relativa	1 %RH	100 %RH
Velocitat del vent	0 m/s	95 m/s
Direcció del vent	0°	360°
Temperatura punt de saturació	-100°C	30°C

Taula 4.1. Intervals vàlids de les variables meteorològiques observades.

Aquest filtre s’aplica a tots els fitxers del format *text*. La decisió d’aquests límits que s’han establert a la taula anterior, respon a criteris climatològics i meteorològics segons els casos. En el cas de la temperatura màxima que, en principi, s’hauria d’enregistrar en el primer nivell del sondatge s’ha triat aquest valor ja que la temperatura màxima a la ciutat de Barcelona és inferior a aquesta xifra. D’altra banda, el valor mínim està per sota de la temperatura mitjana de la tropopausa a les nostres latituds.

Respecte el geopotencial, és evident que no hi pot haver cap valor inferior a l’altitud on es troba l’estació. L’altitud màxima assolida, 30790, tingué lloc el dia 28 de

²² Actualment, C és el llenguatge més utilitzat per a desenvolupar sistemes operatius i altres tipus de programari bàsic, i també per aplicacions en general (Ceballos, 1995).

febrer de 2008 a les 12 UTC amb una pressió de 9.4 hPa. En referència a la màxima pressió, cal tenir present que en l’observació s’empra la pressió al nivell de l’estació. Per tant, s’ha triat aquest valor ja que rarament s’ha superat la pressió de 1040 hPa a nivell de mar²³ al nostre país. La justificació de la resta de llimdars és bastant evident.

4.3.3 Filtre A2

El tercer filtre que s’aplica es basa en detectar la duplicitat de valors de certes variables en un mateix radiosondatge. En principi, no es podria trobar valors de geopotencial o de pressió repetits una o més vegades ja que només es guarden les mesures quan el globus està ascendint. No obstant, per pressions baixes, la variació d’aquesta variable amb l’altura és molt petita i per això se li ha afegit a aquesta condició que la pressió sigui superior a un cert llimdar:

Interval de dades del fitxer <i>text</i>	Llimdar de pressió
Cada 2 segons	150 hPa
Cada 10 segons	90 hPa

Taula 4.2. Llimdars de pressió que s’han d’afegir a la condició de repetició d’aquesta variable en un mateix sondatge.

Dit en altres paraules, si un mateix valor de pressió (inclòs el decimal) es troba repetit en un mateix radiosondatge i aquesta dada és superior a la cota esmentada a la taula anterior, aleshores el filtre A2 la detectarà. Pel geopotencial no s’ha afegit aquesta restricció ja que encara que la velocitat d’ascensió sigui molt baixa (en general, rarament inferior a 2 m/s) aquesta variable es veurà modificada.

4.3.4 Filtre A3

Aquesta comprovació, tot i estar íntimament lligada a l’anterior, és necessària ja que amb el filtre A2 no es pot garantir l’increment de geopotencial mentre la pressió disminueix. Per tant, aquest filtre s’implementa de tal forma que es comprova si els valors de geopotencial i pressió en un instant t , són més gran i més petit, respectivament, en un instant $t - 10s$ o $t - 2s$. Aquest control, va ser anomenat per l’estudi de la NOAA com a *height sequence check*.

4.3.5. Filtre A4

En aquest filtre es comprova que la variació de les variables meteorològiques entre dades consecutives d’un mateix radiosondatge estigui dins d’un interval de valors raonable.

²³ Si es vol reduir la pressió a nivell de mar a partir de la lectura del baròmetre de l’estació cal afegir poc més de 10 hPa.

Interval de dades del fitxer <i>text</i>	Dif. màx. de pressió	Dif. màx. de geopotencial	Dif. màx. de temperatura	Dif. màx. d'humitat	Dif. màx. de vel. vent
10 s	15.0 hPa	150 m	3.0°C	60%RH	20.0 m/s
2 s	8.0 hPa	60 m	2.0°C*	30%RH	10.0 m/s

Taula 4.3. Valors absoluts de les diferències màximes entre valors consecutius d'una mateixa variable. *: En aquest cas, no s'ha llegit la primera línia, corresponent a les dades de superfície, ja que en els primers metres i durant l'estiu el gradient és superadiabàtic en dies amb cel serè i poc ventilats.

Ja que la velocitat vertical varia entre 4 i 7 m/s, això implica que ens els fitxers de 10 segons les dades correspondran aproximadament a intervals entre 40 i 70 m; en canvi, en els darrers radiosondatges aquest interval s'escurça fins a 8 i 15 m.

4.3.5 Filtre B1

En els casos anteriors, els filtres s'han d'aplicar als arxius en format *text* i per cada sondatge individual. A partir d'aquí, cal parar l'atenció ens els de codi *temp*. En aquest cas, abans de treballar amb aquests fitxers hi hagut un llarg i laboriós procés de descodificació d'aquests codis per tal que el format sigui llegible i entenedor (capítol 3). Aquesta tasca també s'ha elaborat amb llenguatge C de programació. D'altra banda, s'ha cregut convenient, per motius que s'explicaran més endavant, crear uns fitxers, un per cada nivell estàndard, amb les variables meteorològiques de tota la base de dades disponible en ordre cronològic.

Un cop disposem d'aquesta informació, ja es pot aplicar aquest i els successius filtres. En concret, aquest filtre aplica per cada nivell estàndard un control sobre els valors màxims i mínims que poden prendre les diferents variables i que depèn de l'altitud i la localització de l'estació però no de l'estació de l'any. L'elecció d'aquests llistats es basa en les reanàlisis de NCEP/NOAA pel període 2000-2009²⁴. Els resultats obtinguts són els següents:

Nivell estàndard	Temperatura	Geopotencial / pressió	Velocitat del vent
Superfície	1°C – 33°C	990 hPa – 1020 hPa	< 15 m/s
1000 hPa	-5°C – 30°C	10 m – 500 m	< 25 m/s
925 hPa	-8°C – 27°C	550 m – 900 m	< 25 m/s
850 hPa	-14°C – 25°C	1250 m – 1700 m	< 30 m/s
700 hPa	-18°C – 14°C	2800 m – 3300 m	1 m/s – 35 m/s
500 hPa	-35°C – -5°C	5300 m – 5950 m	1 m/s – 50 m/s
400 hPa	-45°C – -15°C	6800 m – 7600 m	5 m/s – 60 m/s
300 hPa	-55°C – -35°C	8800 m – 9700 m	5 m/s – 70 m/s
250 hPa	-65°C – -40°C	10000 m – 11000 m	5 m/s – 80 m/s
200 hPa	-70°C – -40°C	11400 m – 12500 m	5 m/s – 70 m/s

²⁴ Quan es representa l'evolució de la variable al llarg d'aquests 10 anys s'ha triat el promig de les latituds 41.3° – 41.5° i longituds 2.0° – 2.2° ja que Barcelona es troba a 41.4° i 2.1°.

150 hPa	-70°C – -45°C	13200 m – 14300 m	1 m/s – 50 m/s
100 hPa	-70°C – -50°C	15800 m – 16700 m	1 m/s – 45 m/s

Taula 4.4. Llindars mínims i màxims de temperatura, geopotencial (pressió en el cas de la superfície) i velocitat del vent per cada nivell estàndard segons les dades de reanàlisi. (Font: NCEP/NOAA)

4.3.6. Filtre B2

El filtre B2 consisteix en verificar que la diferència entre dos valors consecutius, és a dir, entre 12 hores, d’una mateixa variable no sobrepassi un cert llindar. Òbviament, per cada variable i nivell aquests límits difereixen.

Nivells estàndards Variables	1000, 925 i 850 hPa	700, 500, 400 i 300 hPa	250, 200, 150 i 100 hPa
Temperatura	< 8.0°C	< 5.0°C	< 5.0°C
Geopotencial	80 m	80 m	< 100 m
Velocitat del vent	< 30 m/s	< 25 m/s	< 20 m/s

Taula 4.5. Diferències màximes entre dos valors separats temporalment 12 hores.

4.4. Resultats

En aquesta secció s’analitzarà en detall el resultat d’aquests filtres aplicats a la base de dades del radiosondatge de Barcelona així com també els que es van obtenir amb l’IGRA (Durre et al. 2002).

D’entrada, cal dir que amb el filtre zero només s’han trobat tres dates escrites de forma incorrecta. En primer lloc, al directori de l’any 1999 hi havia dos fitxers amb els següents noms: 9908200.txt i 9908200.tem. Amb el *temp* s’ha trobat que la data correcta és 99082600. En segon lloc, al directori 2001 s’ha comprovat que sobra un zero: 010212000 i 010212012. També cal comentar que en els darrers anys, si algun radiosondatge s’ha hagut de repetir aleshores s’ha afegit en algun directori especial a la base de dades o bé simplement a la data se li ha afegit alguna paraula com per exemple, aturat o incidència. En el control de qualitat de l’IGRA, aquest filtre de comprovar que les dates siguin correctes es va obtenir que el 0.25% dels radiosondatges analitzats contenien aquest error.

4.4.1. Filtres aplicats als fitxers de codi text

El procediment que s’ha seguit és l’aplicació dels quatre primers filtres (A1, A2, A3 i A4) a cada any de dades per separat. La majoria dels errors que s’han trobat són de caràcter tècnic.

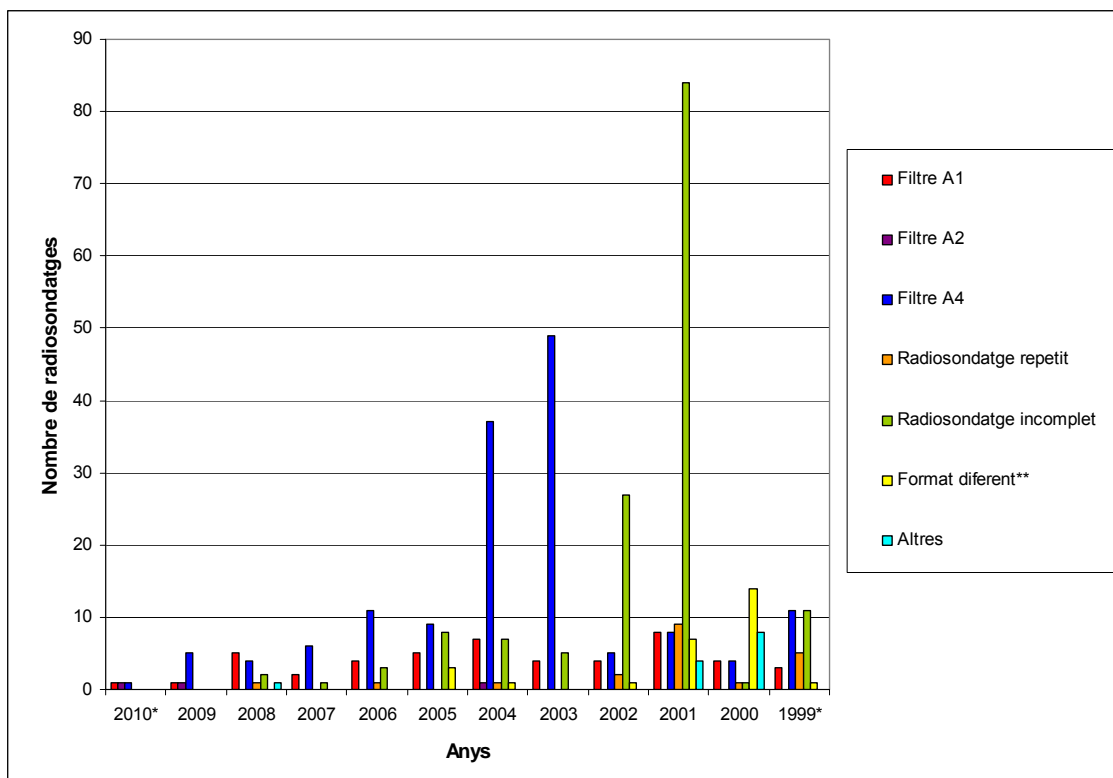


Figura 4.2. Gràfica amb el nombre de fitxers de codi text que presenten algun tret característic classificat segons els anys i el tipus de problema detectat²⁵. *: Anys incomplets (sèrie des de maig de 1999 fins a juliol de 2010) . **: Sense incloure el canvi d’encapçalament entre el 20 de març i el 29 de juny de 2001.

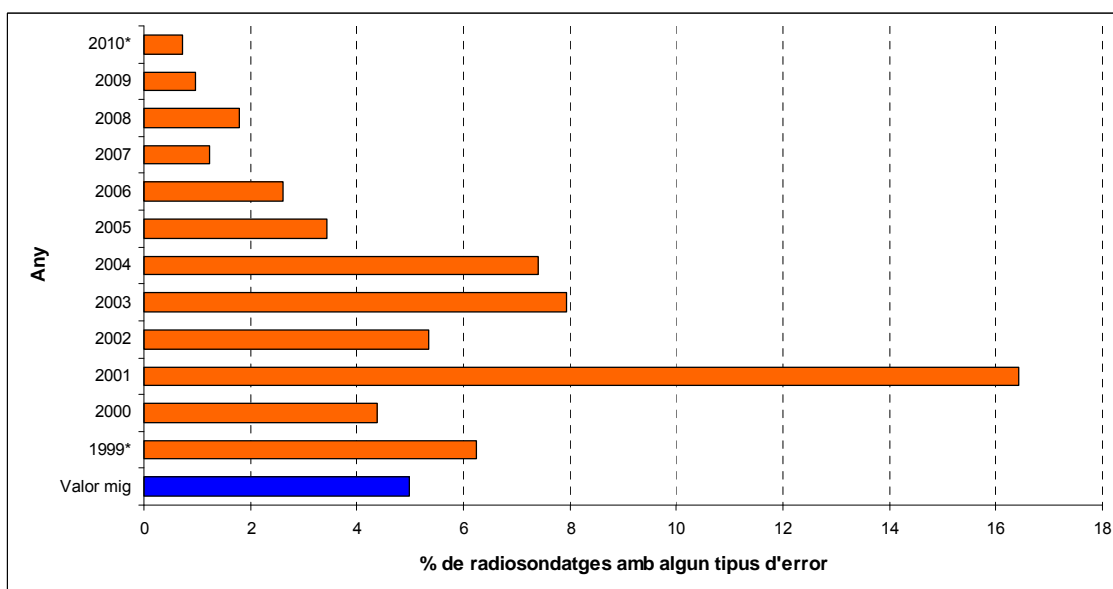


Figura 4.3. Barres horitzontals que mostren, per cada any de dades, el percentatge d’observacions que presenten algun tipus d’error. *: Anys incomplets.

²⁵ El filtre A3 no s’ha inclòs perquè és nul per tots els anys.

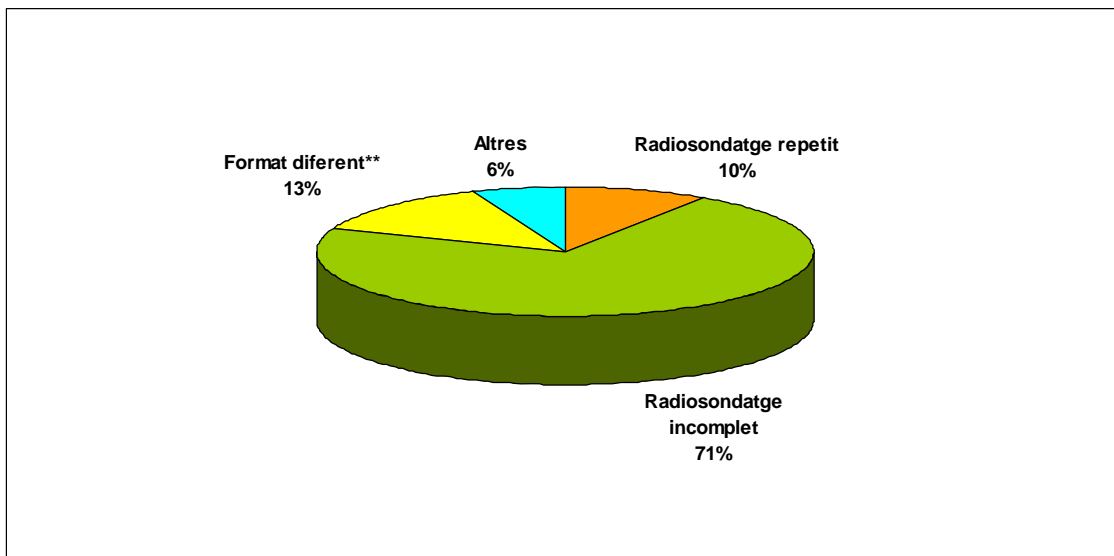


Figura 4.4. Diagrama de sectors representant el percentatge de cada tipus d'error que s'ha obtingut a partir dels filtres sobre el total de radiosondatges que presenten algun error de tipus tècnic.

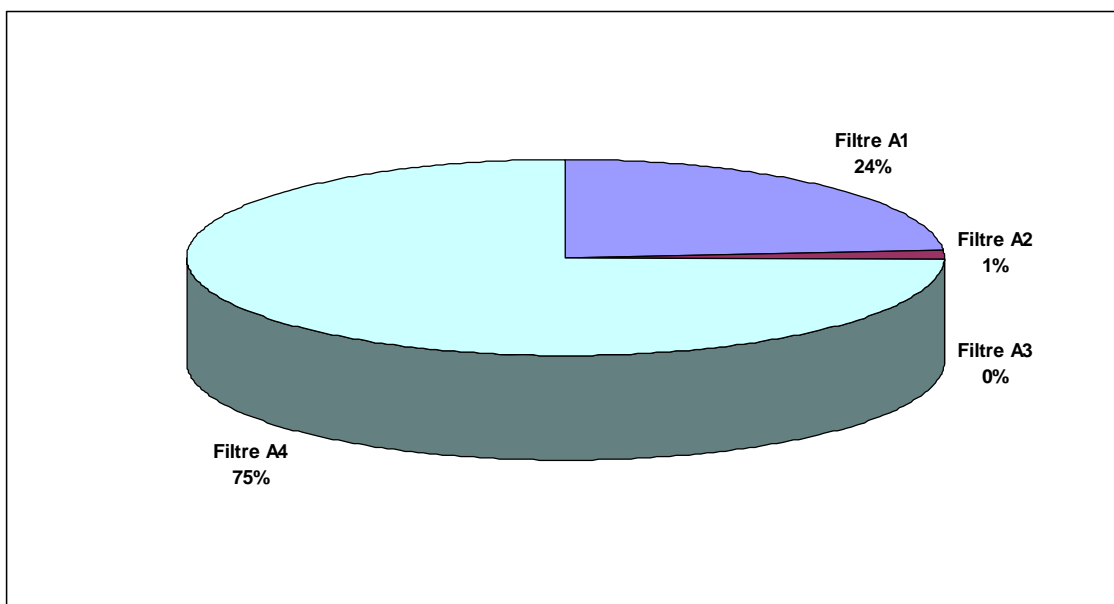


Figura 4.5. Diagrama de sectors representant la porció de cada filtre sobre el total d'observacions que han sigut detectades pels filtres. És a dir, en aquesta figura només estan els radiosondatges que pròpiament no compleixen les condicions imposades en els filtres.

S’observa com les incidències de caràcter tècnic són les protagonistes en els primers anys de radiosondatges, especialment, les que es refereixen a la manca d’algunes dades que si es tracta tan sols de la falta del nombre decimal d’alguna variable fa que totes les dades d’aquella línia estiguin desplaçades (figura 4.6). Inclús, s’han detectat observacions en que una línia sencera de dades està totalment desplaçada (figura 4.7). L’altre problema freqüent és que falten dades de línies senceres (figura 4.8). Els radiosondatges repetits impliquen que en un mateix arxiu es troben dos radiosondatges consecutius. El que s’ha fet en aquests casos és mirar el codi temp corresponent i eliminar el que no coincideix amb aquest. Sovint, s’ha repetit l’observació perquè al cap de poc temps es deixa de rebre el senyal (figura 4.9). No obstant, abans es guardava en el mateix fitxer no com ara que si succeís aquesta incidència es guardaria en un altre fitxer tal com s’ha comentat anteriorment.

3	10	6.3	1213	892.0	17.6	46	5.9	31	1.8	2.1	41.4
3	20	6.1	1273	885.7	17.2	48	6.1	31	2.0	2.1	41.4
3	30	6.4	1335	879.2	16.9	47	5.5	42	2.4	2.1	41.4
3	40	6.0	1394	873.	17.0	42	4.0	44	3.1	2.1	41.4
3	50	6.2	1460	866.4	16.9	40	3.2	34	3.5	2.1	41.4
4	0	5.9	1512	861.	16.8	37	2.1	21	3.6	2.	41.4
4	10	6.1	1577	854.7	16.4	35	0.9	7	3.7	2.1	41.4
4	20	5.8	1635	848.9	16.3	34	0.4	357	4.1	2.1	41.4
4	30	6.2	1699	842.5	15.6	34	-0.2	352	4.4	2.1	41.4
4	40	5.9	1755	836.9	15.1	35	-0.2	349	5.0	2.1	41.4
4	50	6.1	1817	830.8	14.6	35	-0.7	343	5.8	2.1	41.4
5	0	6.3	1889	823.8	14.1	34	-1.5	338	6.5	2.1	41.4
5	10	6.3	1945	818.3	13.6	35	-1.5	334	6.9	2.1	41.4
5	20	6.3	2006	812.4	13.1	35	-2.0	327	7.0	2.1	41.4
5	30	5.7	2061	807.0	12.5	36	-2.1	320	6.7	2.1	41.4
5	40	6.3	2135	800.0	12.0	36	-2.6	314	6.3	2.	41.4
5	50	6.3	2194	794.3	11.4	37	-2.8	309	6.1	2.1	41.4
6	0	6.7	2261	787.9	10.7	44	-10	306	6.0	2.1	41.4
6	10	6.1	2318	782.6	10.2	45	-1.2	306	6.3	2.1	41.4
6	20	6.3	2383	776.5	9.6	47	-1.1	304	6.7	2.1	41.4
6	30	6.2	2446	770.6	9.0	48	-1.4	300	7.0	2.1	41.4
6	40	6.4	2509	764.8	8.4	49	-1.7	299	7.2	2.1	41.4
6	50	6.3	2571	759.1	7.9	50	-1.9	301	7.3	2.1	41.4
7	0	6.4	2638	753.0	7.2	52	-2	302	7.4	2.1	41.4
7	10	6.3	2698	747.	6.7	50	-3.0	303	7.6	2.1	41.4
7	20	6.4	2762	741.7	6.0	52	-3.1	305	7.6	2.1	41.4
7	30	6.3	2826	735.9	5.5	51	-3.8	307	7.6	2.1	41.4

Figura 4.6. Imatge d’una petita part del fitxer 01103000.txt on s’observa com el fet de disposar de dades incompletes modifica el format de les altres variables.

27	20	5.4	9022	324.5	-34.9	18	-51.1	260	16.5	2.3	41.4
27	30	5.2	9077	322.0	-35.3	16	-52.4	259	16.4	2.3	41.4
27	40	5.3	9129	319.5	-35.7	15	-53.3	258	16.6	2.3	41.4
27	50	5.4	9183	317.0	-36.1	15	-53.7	257	16.7	2.3	41.4
28	10	5.6	9298	311.8	-37.2	15	-54.6	261	16.8	2.3	41.4
28	20	5.7	9354	309.3	-37.7	15	-55.0	262	16.9	2.3	41.4
28	30	5.7	9418	306.5	-38.2	14	-56.0	261	17.3	2.3	41.4

Figura 4.7. Línia de dades totalment desplaçada en el fitxer 02071200.txt.

8 20	6.6	3563	662.2	1.6	89	0.0	218	14.5	2.1	41.4
8 30	6.1	3612	658.2	1.5	87	-0.4	217	14.0	2.1	41.4
8 40	5.2	3659	654.4	1.0	89	-0.6	218	14.0	2.1	41.4
8 50	5.2	3720	649.4	0.6	88	-1.2	222	14.3	2.1	41.4
9 0	5.6	3779	644.7	0.5	78	-2.9	224	14.6	2.1	41.4
9 10	5.9	3836	640.1	0.1	80	-2.9	225	15.0	2.1	41.4
9 20	5.8	3893	635.6	-0.5	81	-3.4	224	15.1	2.1	41.4
9 30	6.0	3959	630.4	-0.9	79	-4.1	223	14.7	2.1	41.4
9 40	6.1	4019	625.6	-1.3	78	-4.6	225	14.5	2.2	41.4
9 50	6.4	4084	620.7	-2.1	80	-19.7	235	21.8	2.2	41.5
17 40	5.9	6815	436.1	-17.6	81	-20.1	236	22.8	2.2	41.5
17 50	6.0	6875	432.6	-17.6	79	-20.4	234	24.3	2.2	41.5
18 0	5.8	6930	429.4	-18.1	79	-20.9	231	24.7	2.2	41.5
18 10	5.1	6969	427.3	-18.3	77	-21.3	231	24.2	2.2	41.5
18 20	4.7	7016	424.5	-18.7	79	-21.4	232	23.7	2.2	41.5
18 30	4.7	7072	421.3	-19.1	80	-21.7	232	23.6	2.2	41.5
18 40	5.3	7127	418.3	-19.6	79	-22.3	235	23.2	2.2	41.5
18 50	5.2	7172	415.7	-19.7	73	-23.3	238	22.3	2.2	41.5
19 0	5.0	7221	413.0	-19.8	70	-23.9	238	22.0	2.2	41.5
19 10	4.7	7268	410.4	-20.1	69	-24.3	236	22.2	2.2	41.5

Figura 4.8. Imatge d’una petita part del fitxer 01071500.txt que il·lustra com al llarg de 8 minuts d’observació les dades no es van enregistrar tot i que el codi temp està complet.

Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat
min s	m/s	m	hPa	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg
4 0	5.3	1391	870.7	13.6	4	-27.8	///	///	///	///
4 10	5.5	1447	865.0	13.3	4	-28.1	///	///	///	///
4 20	5.5	1498	859.7	13.2	4	-28.1	///	///	///	///
4 30	5.4	1553	854.1	12.8	3	-31.5	///	///	///	///
4 40	5.4	1608	848.4	12.5	3	-31.7	///	///	///	///
4 50	5.4	1661	843.1	12.1	3	-31.9	///	///	///	///
5 0	5.4	1716	837.5	12.0	3	-32.0	///	///	///	///
5 10	5.3	1767	832.4	11.6	4	-29.3	///	///	///	///
5 20	5.4	1824	826.8	11.2	7	-23.4	///	///	///	///
5 30	5.4	1877	821.5	10.9	7	-23.6	///	///	///	///
5 40	5.4	1930	816.3	10.8	6	-25.4	///	///	///	///
0 0	0.0	98	1016.9	11.8	68	6.1	259	2.0	2.1	41.4
0 10	5.1	149	1010.8	10.1	73	5.5	229	2.3	2.1	41.4
0 20	5.1	200	1004.6	9.8	73	5.2	231	2.9	2.1	41.4
0 30	5.2	254	998.0	9.2	75	5.0	235	2.9	2.1	41.4
0 40	5.4	311	991.2	8.7	77	4.9	245	3.0	2.1	41.4
0 50	5.4	362	985.2	8.2	80	5.0	259	3.5	2.1	41.4
1 0	5.1	408	979.7	7.8	81	4.8	274	4.1	2.1	41.4
1 10	4.9	458	973.7	7.8	75	3.7	283	4.4	2.1	41.4
1 20	5.1	515	967.1	7.6	73	3.1	286	4.3	2.1	41.4
1 30	5.3	567	960.9	7.3	73	2.8	281	4.5	2.1	41.4
1 40	5.5	623	954.4	7.5	72	2.8	281	4.7	2.1	41.4
1 50	5.6	682	947.7	7.9	63	1.3	296	3.8	2.1	41.4
2 0	5.6	734	941.7	9.5	55	0.9	316	2.5	2.1	41.4
2 10	5.6	791	935.3	9.7	57	1.6	321	1.4	2.1	41.4
2 20	5.7	852	928.4	11.4	36	-3.1	317	1.1	2.1	41.4

Figura 4.9. Llançament 08012112 repetit al cap de poca estona com a conseqüència de la dificultat a l’hora de detectar el GPS (per això a les dades de vent i de posició no apareix cap valor numèric).

D'altra banda, el format diferent fa referència a algun canvi d'encapçalament puntual, o bé que al final del fitxer apareix alguna informació de caràcter tècnic. Amb els “altres” errors referents a la gràfica de la figura 4.2 corresponen a situacions diferents a les anteriors. Per exemple, en comptes de ser un codi text era en codi temp (malgrat l'extensió .txt), representació del codi PILOT enmig del sondatge (figura 4.10), lectura irreconeixible (figura 4.11), etc.

També cal comentar que l'elevat nombre d'observacions que no compleixen les condicions imposades pel filtre A4 en els anys 2003 i 2004 sembla ser que seria originat per error humà en el calibratge previ al llançament.

```

23 30      6.9   8530   333.6  -39.3  12  -58.2   5  46.2   2.2  41.1
23 40      6.6   8575   331.4  -39.7  13  -57.9   4  46.4   2.2  41.1
23 50      6.8   8652   327.7  -40.1  13  -58.2   4  46.7   2.2  41.1
24  0      6.1   8713   324.8  -40.6  13  -58.6   3  46.8   2.2  41.1
24 10      7.0   8786   321.3  -41.1  12  -59.7   3  46.6   2.2  41.1
24 20      6.9   8858   318.0  -41.4  12  -59.9   1  46.9   2.2  41.0
010331 00:00
PPAA 81008 08180
44385 35511 00552 34567 44140 35578
77999=
010331 00:00
PPBB 81008 08180
21212 00005 27502 11942 17510 22905 22504 33900 24004
44858 36011 55830 33011 66805 35013 77800 35015 88790
35522=
010331 00:00
PPCC 81008 08180 NIL=
010331 00:00
PPDD 81008 08180 NIL=
24 30      7.2   8930   314.6  -41.9  14  -59.1   1  47.3   2.2  41.0
24 40      6.6   8985   312.1  -42.5  15  -59.1  360  47.1   2.2  41.0
24 50      6.9   9064   308.4  -43.2  17  -58.7  358  46.5   2.2  41.0
25  0      6.8   9135   305.2  -43.9  18  -58.8  356  46.3   2.2  41.0
25 10      7.3   9205   302.0  -44.6  19  -59.0  356  46.4   2.2  41.0

```

Figura 4.10. En aquesta observació corresponent al dia 31 de març de 2001 a les 00 UTC s'ha detectat, sorprenentment, el codi PILOT entremig de les dades del sondatge.

```

System test passed -No errors found
Sounding program REV 8.33 using GPS Station : 08180 BARCELONLocation : 41.38 N 2.12 E 98 number: 108:
round check : Ref RS Corr
Pressure : 1007.5 1007.6 -0.1
Temperature : 26.3 26.5 -0.2
idity : 0 0 started at: 25 JUN 01 12:09 UTC
Time AscRate Hgt/MS Pressure Temp R Dewp Speed min s m/s hPa de % degCs deg de
1 0 5.8 214 993 24.9 14.3 2. 6.1 280 986 24.3 54 14.4 3.62.1 41. 0 4 6.3
5. 722 27.4 23 4.56.2 2. 41.4
1 5 5.6 776 932.3 27.5 3. 262 7.5 2. 41.4
2 0 5.5 830 926.6 2 1.8 25 2.1 41 2 1 5.7 920.1 27.3 18 1.0 254 9.0 2.
20 3 5. 952 913. 26.9 18 0.50 9. 2.1 2 30 1002 90 26.5 17 -0.245 10. 2.1 4:
3 20 4. 1253 883. 25.7 18 -0.3 10.5 2.1 41.4
3 30 4. 1304 877. 25. 0.2 11.5 41.4
3 40 1355 85.2 19 0.0 2 12.3 2 41.4
3 50 5.2 1 867.5 -1. 247 11.9 2 4 0 1469 861.4.7 16 48 10..1 41. 4 1 5.6
4 2 5.6 157 850.9 23. 16 -3 9.7 4 30 5.7639 84 23. -4.4 10.2 41.4
40 5. 1690 840.0.4 15 -4.7 239 10.3 2. 4 50 5.6 1745 834.3.1 14.9 24 9.9 2
0 5. 1802 829. 22.8 15 -50 9. 2.1 41.4 5 10 1851 22.4 -5.5 2407.7 2. 4:
5 40 5.6 2018 80 21.4 1.4 259 2. 41.4
5 50 5. 2067 .0 16 - 251 2 41.4
6 5.5 212 798.6 6 -6.1 6.1 2.2 41.4
6 10 2186 793.20.1 1 -6.56.1 2.2 6 2 5.9 2243 787.9 19. 16 -6.8 249 6.3
6 30 5.9 2306 782.2 19.-7.4 25 6.9 2.2 41.4
6 4 5.7 235777.4 18.5 17 -7 254 7.7 2. 6 5 5. 2417 18.1 1 -7.3 253 8.1
7 10 5.7 2371 767 8 17 0 18 -7 243 87 41 4

```

Figura 4.11. El format d'aquesta observació (01062512) és, a primer cop d'ull, illegible.

Per tant, amb l’objectiu inicial d’aquests filtres que era detectar possibles errors “meteorològics” el que s’ha trobat, en general, són errors tècnics. Aquests cal eliminar-los ja que a l’hora de fer qualsevol estudi posterior amb aquestes dades poden originar molts problemes pel fet de presentar-se un format diferent.

En el control de validació de dades del IGRA, amb el filtre, que en el present treball s’ha anomenat A1, es va trobar que el 0.025% d’observacions de radiosondatge no complien els límits establerts. En aquell cas, es va establir un interval de $-120^{\circ}\text{C} < T < 70^{\circ}\text{C}$ que va ser general per totes les estacions de l’estudi. En el filtre A2, dels més de 30 milions de sondatges processats, aproximadament una quarta part contenien nivell duplicats. No obstant, la discrepància en aquestes dades només corresponia a un petit percentatge d’aquests nivells duplicats²⁶. Respecte el filtre A3, en l’estudi de la NOAA es va eliminar el 0.003% del conjunt de dades dels nivells. Respecte el filtre A4, el control de qualitat de l’IGRA va emprar un mètode diferent ja que es van aplicar 4 filtres anomenats *vertical-consistency checks*. Per això, és difícil comparar amb el resultat d’aquest estudi.

A continuació es mostra un exemple de com a partir del filtre A1 s’ha detectat manca de dades:

YYMMDDHH	Z	p	T	H	Tw	D	U
02071200				253			
02071200	-22						
02071200		0.2					
02071200				-38			
02071200				261			
02071200				263			
02071200		-27.3					
02071200				-46			
02071200				-44			
02071200			258.0				
02071200	-54						
02071200		0.1					
02071200		0.8					
02071200				-67			
02071200				267			
02071200					36.1		
02071200	23						
02071200			272.0				
02071200	-74						
02071200		0.5					
02071200				-78			
02071200				-78			
02071200						2661	
02071200	6						
02071200				273			
02071200			41.4				

Figura 4.12. Petita part del resultat d’aplicar el filtre A1 a l’any 2002.

²⁶ Tant en l’article de la Durre et al. com el que va ser elaborat per la NOAA no especifica més sobre aquest resultat. Com després aclareix que la majoria de dades en que el nivell estava repetit han estat validades, segurament es tracta de valors de pressió baixes que estan repetits. De fet, en el present estudi si no s’aplicava la restricció de valor repetit de pressió però superior a 90 o 150 hPa (taula 4.2) la gran majoria de radiosondatges es detectaven amb aquest control.

21	20	4.9	7060	426.3	-19.9	22	-36.3	260	15.1	2.2	41.4
21	30	5.3	7121	422.8	-20.3	21	-37.1	261	14.9	2.2	41.4
21	40	5.6	7177	419.6	-20.8	21	-37.5	259	14.8	2.2	41.4
21	50	5.5	7224	6.9	-21.3	21	-37	15.2	2.2	41.4	
22	0	4.9	7269	414.4	-21.7	21	-38.3	261	15.5	2.2	41.4
22	10	4.9	-22.2	22	-385	2.2	41.4				
22	20	4.9	7371	22	-38.7	261	15.5	2.2	41.4		
22	30	5.0	7419	406.0	-23.1	23	-38.6	261	15.4	2.2	41.4
22	40	4.8	7468	403.33	-39.0	263	15.2	2.2	41.4		
22	50	5.2	7528	400.0	-24.0	23	-39.4	262	15.0	2.2	41.4
23	0	5.5	7585	396.9	-24.0	18	-41.8	259	15.1	2.2	41.4
23	10	5.6	7635	394.2	-24.2	15	-43.6	258	15.1	2.2	41.4
23	20	5.2	7685	391.5	-24.6	14	-44.6	259	14	41.4	
23	30	5.2	7742	388.4	-25.1	14	-45.0	260	14.6	2.2	41.4
23	40	5.7	7807	385.0	-25.6	14	-45.5	260	15.2	2.2	41.4
23	50	5.7	7857	382.3	-26.0	14	-45.8	260	15.5	2.2	41.4
24	0	5.8	7915	379.3	-26.3	14	-46.0	261	15.4	2.2	41.4
24	10	5.5	7971	376.3	-26.8	14	-46.5	259	14.9	2.2	41.4
24	20	5.9	8035	-27.3	15	-46.2	255	14.4	2.2	41.4	
24	30	5.6	8082	370.6	-27.6	15	-46.5	253	14.6	2.3	41.4
24	40	5.3	8130	368.1	-28.0	15	-46.8	254	14.7	2.3	41.4
24	50	5.1	8187	365.2	-28.3	16	-46.5	257	14.3	2.3	41.4
25	0	5.3	8242	362.4	-28.8	19	-45.3	259	13.9	2.3	41.4

Figura 4.13. Imatge del fitxer .txt del radiosondatge 02071200. S’han enquadrat els dos valors que, efectivament, coincideixen amb els trobats amb el filtre A1. Geopotencial = 22 i pressió = -27.3 .

En alguns casos, es pot intuir alguna/es xifra/es que falta/en. Per exemple, en l’instant 21’50” es pot llegir una pressió de 6.9 hPa. Aleshores, és evident que en veritat correspon a 416.9 hPa per les dades immediatament anterior i posterior. D’altres casos no es pot saber sense fer cap tipus de càlcul o interpolació. En aquest mateix exemple, entre 376.3 i 370.6, no es pot dir de forma directa la pressió que hi manca en aquesta línia.

En els casos en que no es pot completar la dada que falta de forma directa i també segura, cal aplicar algun mètode matemàtic com, per exemple, la interpolació lineal.

Es convida al lector a fixar-se novament en el cas que s’ha comentat a les anteriors figures.

GEOPOTENCIAL

En cas en que hi manqui totalment el geopotencial, aquest es pot calcular a partir de la dada de geopotencial immediatament anterior i el valor de la velocitat ascensional.

21 40	5.6	7177	419.6	-20.8	21	-37.5	259	14.8	2.2	41.4
21 50	5.5	7224	419.9	-21.3	21	-37	15.2	2.2	41.4	
22 0	4.9	7269	414.4	-21.7	21	-38.3	261	15.5	2.2	41.4
22 10	4.9	-22.2	22	-38.5	2.2	41.4				
22 20	4.9	7371	22	-38.7	261	15.5	2.2	41.4		
22 30	5.0	7419	406.0	-23.1	23	-38.6	261	15.4	2.2	41.4
22 40	4.8	7468	403.33	-39.0	263	15.2	2.2	41.4		
22 50	5.2	7528	400.0	-24.0	23	-39.4	262	15.0	2.2	41.4

En aquest cas, cal determinar el geopotencial que hi manca entre 7269 i 7371 m. Com correspon a una observació realitzada el 2002, l'interval de temps entre dades (línies) és de 10 segons. Per tant, si la velocitat vertical és de 4.9 m/s, en 10 s haurà recorregut 49 m i el geopotencial serà (7269+49) 7318 m. Comprovem com efectivament es pot aplicar aquesta regla. En les primeres dades d'aquest tall se sap que la velocitat vertical és de 5.6 m/s i el geopotencial anterior és de 7121. Així doncs, caldria esperar que la següent dada de geopotencial fos (7121+56) 7177 m, que efectivament es pot comprovar que és cert.

PRESSIÓ

És ben cert que la pressió no disminueix de forma lineal amb l'altura. Tanmateix, si el gruix de l'estrat és molt petit²⁷ (de l'ordre de 50 m) la variació d'aquestes dues variables és pràcticament lineal.

49 40	3.0	10588	257.5	-47.2	22	-60.1	295	14.1	2.5	41.3
49 50	3.0	10619	256.3	-47.5	22	-60.4	294	14.2	2.5	41.3
50 0	3.0	10649	255.1	-47.7	22	-60.5	292	14.3	2.5	41.3
50 10	3.1	10680	253.9	-48.0	22	-60.8	291	14.6	2.5	41.3
50 20	3.0	10710	252.	-48.3	22	-61.1	290	14.8	2.5	41.3
50 30	3.0	10739	251.7	-48.4	21	-61.5	291	14.7	2.5	41.3
50 40	3.0	10771	250.4	-48.9	21	-62.0	292	14.4	2.5	41.3
50 50	3.2	10807	249.1	-49.1	21	-62.1	295	14.0	2.5	41.3
51 0	3.5	10845	247.6	-49.3	21	-62.3	299	13.6	2.5	41.3

Figura 4.14. Dada de pressió incompleta en el radiosondatge 02071812.

²⁷ Matemàticament, es tractaria d'una variació diferencial en comparació amb l'altura d'una columna atmosfèrica.

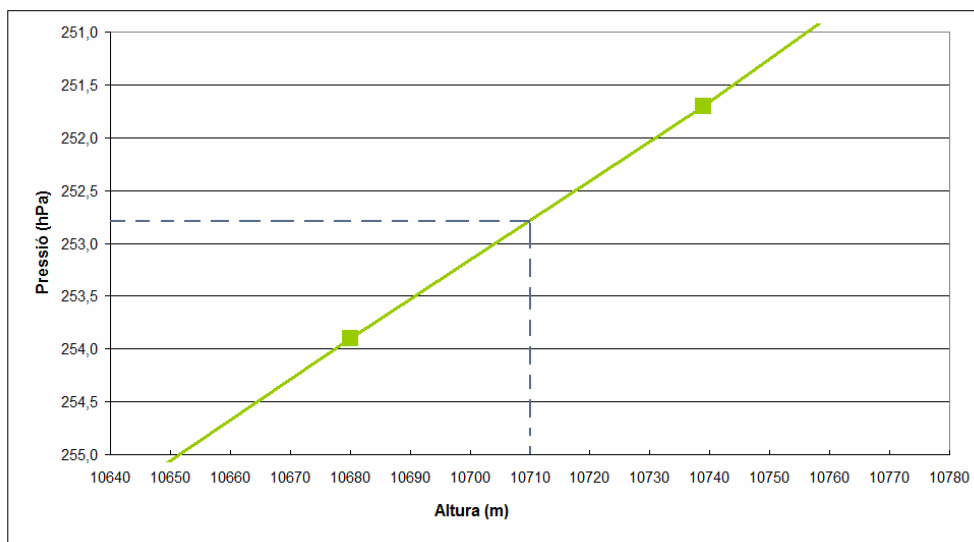


Figura 4.15. Representació gràfica dels 4 valors més propers a la pressió que hi falta (2 per sobre i 2 per sota).

L'equació de la recta de regressió és $p = -0.0383z + 662.87$ amb $R^2 = 0.9998$ (així doncs, queda ben justificat l'aproximació lineal). Aleshores, $p(z = 10710m) = 252.7hPa$ amb una incertesa de $(2\hat{\sigma} =)0.2hPa$ ²⁸.

TEMPERATURA

En el cas d'aquesta variable es planteja dos mètodes possibles per a determinar-la segons la conveniència del cas. Si només hi manca aquesta variable, es poden utilitzar els geopotencials i les temperatures dels 3 o 4 nivells inferiors i superiors i, aleshores, mitjançant el gradient vertical de temperatura mig d'aquest estrat es pot determinar la temperatura a un cert nivell. En cas contrari, es recomana fer simplement la mitjana aritmètica tot suposant que la velocitat vertical no s'ha vist gaire modificada.

3904	650.2	1.7	47	-8.4	249
4023	631.6	1.3	41	-10.5	244
4080	627.1	0.8	42	-10.7	241
4129	623.3	0.4	43	-10.7	244
4190	618.6	46	-10.4	250	5.9
4244	614.4	-0.7	48	-10.4	254
4297	610.4	-1.1	50	-10.2	254
4353	606.1	-1.6	54	-9.7	255
412	601.6	-1.6	43	-12.6	261

Geopotencial (m)	Temperatura (°C)	Gradient de temperatura (°C/m)
4023	1.3	-0.00877
4080	0.8	

²⁸ La variància es defineix com $\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum(\text{residu})^2}{N - m - 1}$ on $\text{residu} = p_{\text{ajust}} - p_{\text{real}}$, N el nombre de dades (4 en aquest cas) i m el grau del polinomi (1 perquè es tracta d'una recta).

4129	0.4	-0.00816
4190	?	
4244	-0.7	-0.00956
4297	-1.1	
4353	-1.6	-0.00754
		-0.00893

Taula 4.6. Valors de geopotencial, temperatura i gradient vertical d'aquesta darrera variable en aquesta petita part del radiosondatge 02071200.

En primer lloc, s'aplicarà el cas més elaborat que consisteix a tenir en compte el gradient vertical mig de temperatura amb un nivell de confiança del 90%²⁹ :
 $\alpha = (-0.0085 \pm 0.0007)^\circ C/m$. Així doncs, la temperatura que s'hauria d'enregistrar a l'altura de 4190 m és de $(\Delta z = 4190 - 4129 = 61m \quad , \quad T_{4190m} = T_{4129m} + \alpha \cdot \Delta z)$ $(-0.10 \pm 0.05)^\circ C$ ³⁰.

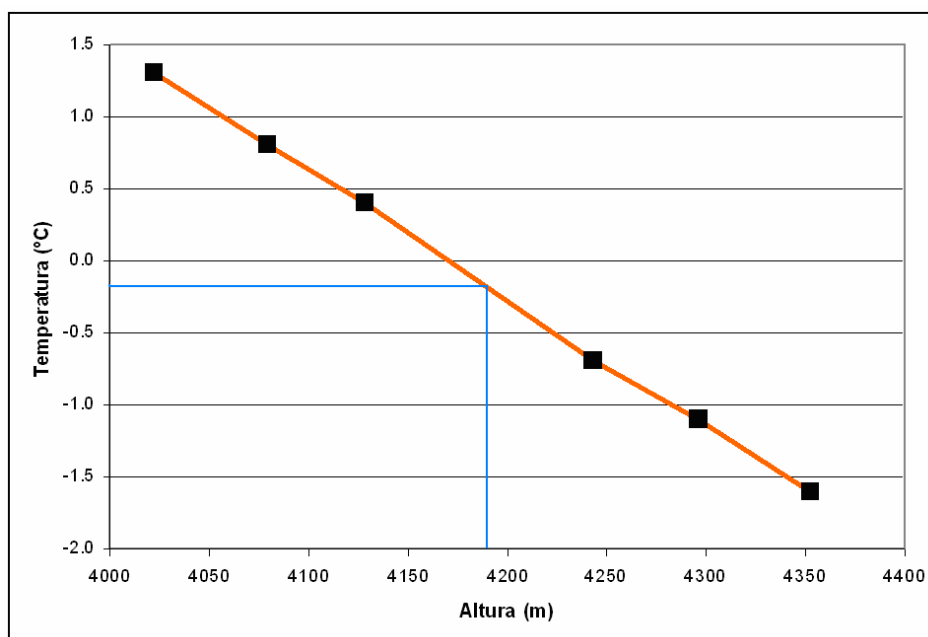


Figura 4.16. Variació de la temperatura segons l'altura de la mateixa observació que la taula anterior.

²⁹ S'ha calculat tenint en compte que la mostra és de tan sols 4 valors i, per tant, s'ha fet servir la distribució *t* de Student amb 3 graus de llibertat.

³⁰ On la incertesa d'aquest resultat s'ha estimat de la següent manera: $T = T(\alpha, z)$, llavors

$$\Delta T = \left| \frac{\partial T}{\partial \alpha} \delta \alpha \right| + \left| \frac{\partial T}{\partial z} \delta z \right|$$

En segon lloc, fent servir l'altre mètode, la mitjana aritmètica, s'obté una temperatura de $(\frac{0.4-0.7}{2} =) -0.2^{\circ}\text{C}$. Com es pot veure, el resultat es força semblant tot i que és més correcte el primer ja que disposa de dades de geopotencial.

HUMITAT RELATIVA

En molts casos, no és necessari cap càlcul ja que en els primers radiosondatges aquesta variable s'enregistra malament per pressions baixes:

41 20	4.8	12152	188.2	-52.4	1	-85.5	46	3.5	1.6	41.4
41 30	5.0	12204	186.7	-52.4	1	-85.5	60	2.7	1.6	41.4
41 40	4.8	12250	185.3	-52.5	1	-85.5	73	2.2	1.6	41.4
41 50	5.0	12302	183.8	-52.8	1	-85.8	79	1.8	1.6	41.4
42 0	4.8	12349	182.5	-53.1	1	-86.0	83	1.8		41.4
42 10	4.9	12396	181.2	-53.6	-86.3	93	1.7	1.6		41.4
42 20	4.8	12445	179.8	-54.0	1	-86.6	103	1.8	1.6	41.4
42 30	4.9	12495	178.4	-54.5	1	-87.0	106	2.2	1.6	41.4
42 40	5.0	12545	177.0	-54.9	1	-87.2	112	2.5	1.6	41.4
42 50	4.9	12593	175.7	-55.3	1	-87.5	118	2.3	1.6	41.4
43 0	4.8	12640	174.4	-55.7	1	-87.8	132	1.5	1.6	41.4

Figura 4.17. Radiosondatge 01021600 on hi manca un valor d'humitat relativa.

És evident que la humitat que hi manca és d'un 1%RH.

Tot seguit, es presenta un altre exemple, però en aquest cas s'ha de recórrer a l'expressió que relaciona la temperatura “real” amb la del punt de saturació:

$$\ln \frac{U}{100} = \frac{L}{r_v} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_d} \right) \quad \rightarrow \quad U = 100 \exp \left[\frac{L}{r_v} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_d} \right) \right]$$

on L és la calor latent de condensació, r_v la constant de vapor d'aigua, T la temperatura termodinàmica de l'aire i T_d la temperatura termodinàmica del punt de saturació.

1 30	5.2	523	958.1	10.8	84	8.2	89	2.8	2.1	41.4
1 40	5.8	588	950.7	10.4	83	7.6	100	2.7	2.1	41.4
1 50	5.9	645	944.2	9.9	84	7.3	111	2.2	2.1	41.4
2 0	5.8	698	938.2	9.9	84	6.1	123	1.8	2.1	41.4
2 10	5.5	753	932.1	9.7	69	4.3	125	2.1	2.1	41.4
2 20	5.2	801	926.6	9.3	71	4.3	124	2.7	2.1	41.4
2 30	4.9	846	921.7	9.1	64	2.7	118	2.8	2.1	41.4

Figura 4.18. Radiosondatge 01050800 on hi manca un valor d'humitat relativa però conté el punt de saturació i la temperatura.

Amb $L = 2.477 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$, $r_v = 461.5 \text{ J/kgK}$, $T = 9.9^{\circ}\text{C} + 273.15$ i $T_d = 6.1^{\circ}\text{C} + 273.15$ s'obté que $U = 77\% \text{ RH}$.

En els casos en que no s'ha enregistrat la humitat relativa ni el punt de rosada s'ha preferit no fer cap interpolació ja que la humitat és una variable que fluctua

considerablement i que pot tenir canvis importants en el gradient vertical, especialment a la baixa i mitja troposfera.

PUNT DE ROSADA

D'entrada, cal dir que no és gaire freqüent que la humitat relativa i la temperatura s'hagin enregistrat i el punt de rosada no. Tan sols en alguns casos en que hi hagut desplaçament de dades és quan el punt de rosada no apareix o falten algunes xifres com és el cas que es presenta tot seguit:

30	40	3.4	6790	439.5	-18.0	5	-48.7	308	10.7	2.2	41.3
30	50	3.3	6821	437.7	-18.3	11	-41.7	308	10.9	2.2	41.3
31	0	3.3	6847	436.2	-18.5	24	-34.2	307	11.0	2.2	41.3
31	10	2.7	6872	434.7	-18.7	31	-31	307	11.2	2.2	41.3
31	20	2.5	6897	433.2	-18.8	28	-32.9	307	11.3	2.2	41.3
31	30	2.5	6923	431.8	-19.1	23	-35.1	306	11.5	2.2	41.3
31	40	2.5	6948	430.3	-19.3	19	-37.2	306	11.6	2.2	41.3

Figura 4.19. Radiosondatge 02071712 on es pot observar que falta la xifra decimal al punt de rosada.

$$\frac{1}{T_d} = \frac{1}{T} - \frac{r_v}{L} \ln \frac{U}{100} \rightarrow \boxed{T_d = -31.7^\circ C}$$

VENT

Com s'ha comentat a la secció 2.1.4., el vent es calcula a partir de GPS. En els primers anys de radiosondatge la pèrdua del senyal dels satèl·lits és molt comú i, per tant, tant la direcció com la velocitat del vent hi manquen, sobretot, a pressions baixes. Cal dir però que en els darrers anys la situació és la contrària i els casos en que succeeix aquest fenomen són rars.

Doncs bé, aquest procés, llarg i feixuc, d'omplir totes les dades que hi manquen (en els casos en que això és possible) és el que s'ha fet per tots els radiosondatges detectats pels filtres. Cal tenir present que a la figura 4.2 només es representa el nombre d'observacions en que s'ha detectat algun error però, tal com s'ha vist en l'exemple del dia 02071200, en una mateixa hi poden existir molts errors³¹.

Si bé és cert que la majoria dels sondatges detectats pels filtres presentaven els problemes tècnics que s'han comentat, d'altres realment també han sigut útils per detectar la finalitat original dels filtres A1, A2 i A4. De fet, un cop s'han corregit els problemes de format i de la manca de dades, s'han tornat a aplicar tots els filtres perquè actuïn com a tals.

EXEMPLES FILTRE A1

³¹ Així queda justificat els adjectius utilitzats per descriure el procés.

“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”

YYMMDDHH	Z	p	T	H	Tw	D	U
08021912			-75.1				
08021912			-75.4				
08021912			-75.6				
08021912			-75.7				
08021912			-76.1				
08021912			-76.2				
08021912			-76.2				
08021912			-76.4				
08021912			-76.8				
08021912			-76.8				
08021912			-77.0				
08021912			-77.0				
08021912			-77.1				
08021912			-77.1				
08021912			-77.2				
08021912			-77.3				
08021912			-77.4				
08021912			-77.5				
08021912			-77.5				
08021912			-77.6				
08021912			-77.8				
08021912			-78.0				
08021912			-78.2				
08021912			-78.2				
08022100			-75.1				
08022100			-75.2				
08022100			-75.5				
08022100			-75.3				
08022100			-75.6				
08022100			-75.9				

Figura 4.20. Primers radiosondatges detectats pel filtre A1 l’any 2008 un cop s’ha corregit els problemes tècnics.

72 40	5.3	21945	36.9	-74.8	5	-93.2	270	28.8	2.7	41.2
72 50	5.3	21999	36.5	-74.9	5	-93.3	269	30.2	2.7	41.2
73 0	5.3	22053	36.2	-74.9	5	-93.3	268	31.8	2.7	41.2
73 10	5.3	22105	35.9	-75.1	5	-93.4	267	32.9	2.7	41.2
73 20	5.2	22156	35.6	-75.2	5	-93.5	266	33.3	2.7	41.2
73 30	5.1	22207	35.3	-75.5	5	-93.8	265	33.5	2.7	41.2
73 40	5.0	22256	35.0	-75.3	5	-93.6	265	33.7	2.7	41.2
73 50	5.1	22310	34.6	-75.6	5	-93.9	266	33.4	2.7	41.2
74 0	5.1	22360	34.3	-75.9	5	-94.1	267	32.9	2.7	41.2
74 10	5.2	22412	34.0	-75.9	5	-94.1	268	32.9	2.7	41.2
74 20	5.1	22462	33.7	-75.8	5	-94.0	269	33.2	2.7	41.2
74 30	5.1	22513	33.4	-75.9	5	-94.1	270	33.3	2.7	41.2
74 40	5.0	22563	33.1	-76.0	5	-94.2	271	33.3	2.7	41.2
74 50	5.0	22612	32.9	-76.0	5	-94.2	271	34.0	2.7	41.2
75 0	5.0	22664	32.6	-75.9	5	-94.1	270	35.2	2.7	41.2
75 10	5.0	22713	32.3	-75.7	5	-93.9	269	35.7	2.7	41.2
75 20	5.0	22763	32.0	-75.8	5	-94.0	269	35.1	2.7	41.2
75 30	5.0	22814	31.7	-76.2	5	-94.3	269	34.1	2.7	41.2
75 40	5.0	22863	31.5	-76.4	5	-94.5	270	33.4	2.7	41.2
75 50	5.2	22918	31.2	-76.8	5	-94.8	271	33.4	2.7	41.2
76 0	5.2	22969	30.9	-76.9	5	-94.9	271	33.2	2.7	41.2
76 10	5.3	23021	30.6	-77.0	5	-95.0	271	32.5	2.7	41.2
76 20	5.2	23075	30.3	-76.9	5	-94.9	269	32.3	2.7	41.2
76 30	5.3	23127	30.1	-76.7	5	-94.8	267	33.2	2.8	41.2
76 40	5.3	23181	29.8	-76.4	5	-94.5	266	35.1	2.8	41.2
76 50	5.3	23233	29.5	-76.3	5	-94.4	266	36.7	2.8	41.2
77 0	5.3	23287	29.2	-76.0	5	-94.2	268	37.7	2.8	41.2
77 10	5.3	23339	29.0	-74.9	5	-93.3	270	38.2	2.8	41.2
77 20	5.3	23393	28.7	-74.8	5	-93.2	271	38.4	2.8	41.2

Figura 4.21. Part del sondatge 08022100 on s’observa que la temperatura excedeix el límit inferior establert pel filtre A1.

S’observa que aquestes temperatures $< -75.0^{\circ}\text{C}$ s’han enregistrat a pressions al voltant de 30 hPa (baixa estratosfera). A continuació es representa el radiosondatge d’aquell dia mitjançant un diagrama termodinàmic.

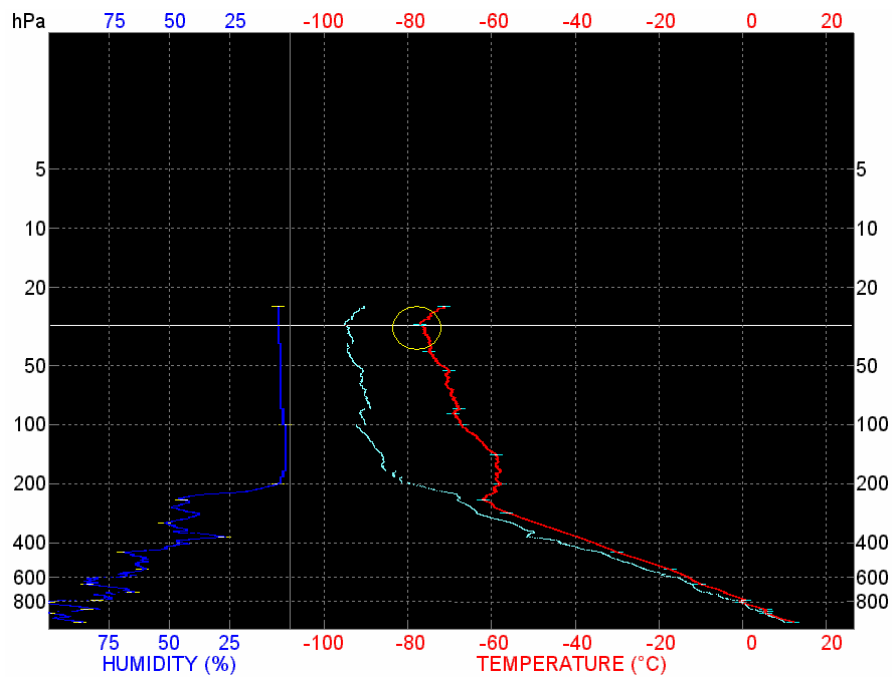


Figura 4.22. Temperatures i humitat relativa del radiosondatge anterior (Font: Metgraph).

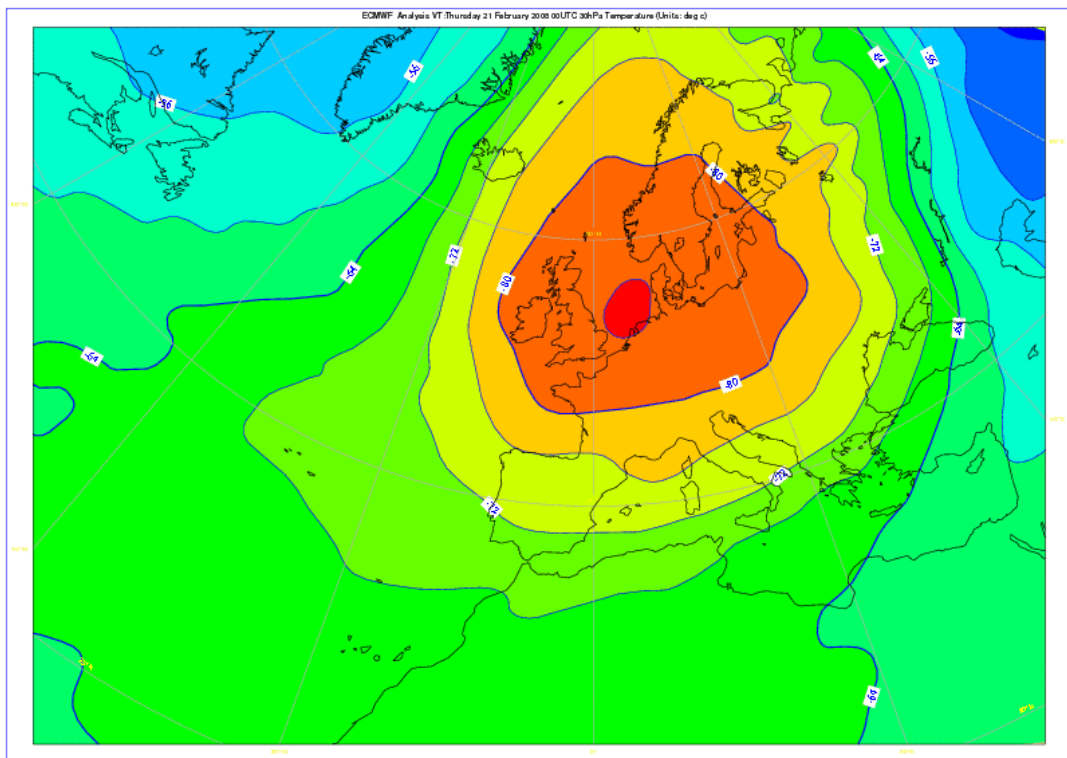


Figura 4.23. Camp de temperatura a 30 hPa el dia 21 de febrer de 2008 a les 00 UTC (FONT: ERA-ECMWF)

A la figura anterior s’observa que la isoterma de -76°C travessa Catalunya, fent vàlid totalment el radiosondatge anterior. En el següent cas, se supera el llindar de temperatura mínima a la tropopausa:

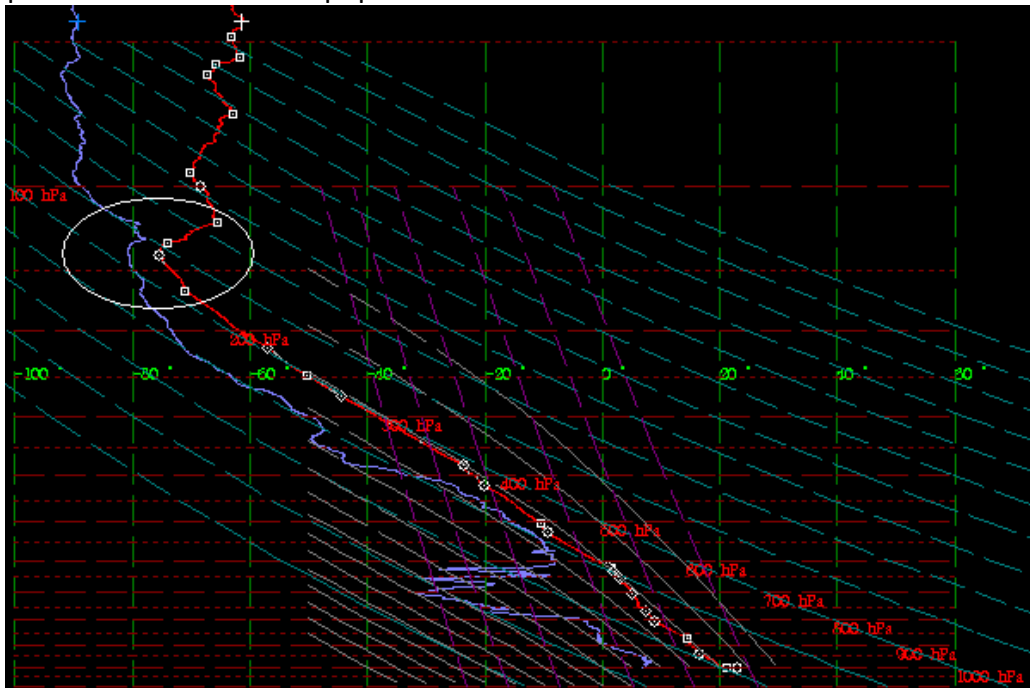
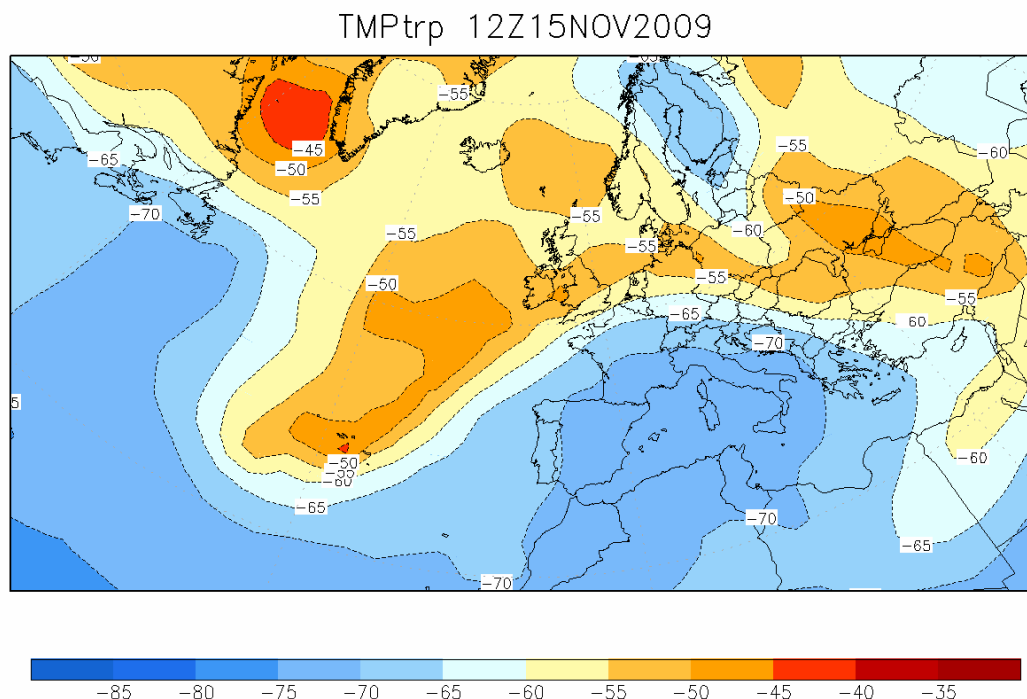


Figura 4.24. Diagrama d’Stüve del radiosondatge 09111512 (Font: Digicora).

La temperatura mínima enregistrada en aquesta observació és de -75.4°C a la pressió de 138.0 hPa. Mirant en conjunt la figura 4.24 tot sembla indicar que aquesta temperatura està ben mesurada.



A la figura anterior s’observa com efectivament la temperatura de la tropopausa a la part sud-oest del continent europeu en aquell dia era més baixa de l’habitual.

EXEMPLES FILTRE A2

Tal com es pot observar a la gràfica dels resultats d’aplicar els filtres (figura 4.2) els casos en que s’ha detectat que la pressió i/o el geopotencial estiguin repetits en una mateixa observació són molt poc freqüents. A continuació es mostra un radiosondatge en que les dades de pressió són una mica sospitoses:

Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat	
min	s	m/s	m	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg	
0	0	0.0	98	1008.0	28.6	83	24.2	45	2.5	2.1	41.4
0	10	4.7	145	1000.2	23.1	71	17.6	53	1.9	2.1	41.4
0	20	4.2	183	998.3	22.8	72	17.5	60	2.8	2.1	41.4
0	30	5.1	252	990.9	22.2	74	17.4	69	4.0	2.1	41.4
0	40	5.2	300	974.9	21.8	76	17.4	72	5.9	2.1	41.4
0	50	5.4	345	973.9	21.3	78	13.3	68	7.3	2.1	41.4
1	0	4.9	398	973.9	20.8	80	17.2	67	7.9	2.1	41.4
1	10	5.0	451	968.0	20.3	82	17.1	72	8.1	2.1	41.4
1	20	5.0	495	963.1	19.8	84	17.0	75	8.4	2.1	41.4
1	30	4.7	539	958.1	19.4	86	17.0	78	8.4	2.1	41.4
1	40	4.4	582	953.5	19.0	88	17.0	82	8.8	2.1	41.4
1	50	4.1	619	949.3	18.7	89	16.9	88	9.2	2.1	41.4
2	0	3.9	657	945.1	18.5	89	16.7	93	8.8	2.1	41.4
2	10	3.8	695	941.0	18.3	86	15.9	94	8.5	2.1	41.4
2	20	3.9	735	936.6	18.1	86	15.7	97	8.7	2.1	41.4
2	30	3.9	773	932.5	17.9	84	15.2	100	8.8	2.1	41.4
2	40	3.8	810	928.4	17.8	80	14.3	102	9.0	2.1	41.4
2	50	3.7	846	924.6	17.7	77	13.6	103	9.0	2.1	41.4

Figura 4.26. Primeres dades del radiosondatge 04090700.

Es detecta com la pressió de 973.9 hPa està repetida dos cops, a diferència del geopotencial que es veu modificat en 53 m entre les dues observacions consecutives.

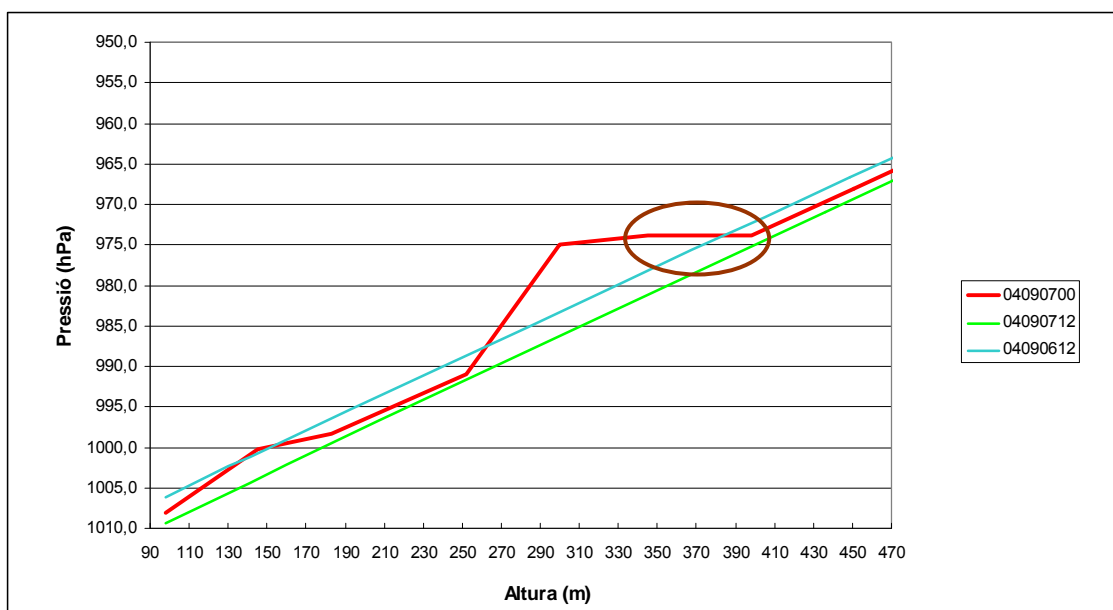


Figura 4.27. Representació gràfica de la variació de la pressió segons l'altura del radiosondatge que presenta problemes en l'enregistrament de la pressió i les dues observacions més properes.

No obstant, aquest tipus d'incidència només s'ha detectat en aquesta observació. La resta de casos d'aquest filtre són conseqüència d'una velocitat vertical del globus molt baixa de tal forma que la pressió (però mai el geopotencial) de dues dades consecutives són idèntiques també a pressions superiors al llindar establert (figura 4.27). Malgrat tot, el radiosondatge és plenament vàlid en aquests casos.

59	16	1.6	11920	193.0	-56.8	1	-88.6	123	1.9	2.3	41.9
59	18	1.6	11923	192.9	-56.8	1	-88.6	123	1.9	2.3	41.9
59	20	1.6	11926	192.8	-56.9	1	-88.6	124	1.8	2.3	41.9
59	22	1.6	11929	192.7	-56.9	1	-88.6	126	1.8	2.3	41.9
59	24	1.6	11932	192.6	-56.9	1	-88.7	129	1.7	2.3	41.9
59	26	1.5	11935	192.6	-57.0	1	-88.7	134	1.7	2.3	41.9
59	28	1.5	11938	192.5	-57.0	1	-88.7	139	1.6	2.3	41.9
59	30	1.5	11941	192.4	-57.1	1	-88.8	147	1.6	2.3	41.9
59	32	1.5	11944	192.3	-57.1	1	-88.8	155	1.5	2.3	41.9
59	34	1.5	11947	192.2	-57.1	1	-88.8	165	1.5	2.3	41.9
59	36	1.5	11950	192.1	-57.2	1	-88.8	176	1.5	2.3	41.9
59	38	1.7	11954	192.0	-57.2	1	-88.9	187	1.5	2.3	41.9
59	40	1.6	11957	191.9	-57.3	1	-88.9	196	1.6	2.3	41.9
59	42	1.5	11960	191.8	-57.3	1	-88.9	204	1.8	2.3	41.9
59	44	1.4	11963	191.7	-57.3	1	-88.9	209	2.0	2.3	41.9
59	46	1.2	11965	191.6	-57.4	1	-89.0	213	2.1	2.3	41.9
59	48	1.4	11968	191.6	-57.4	1	-89.0	216	2.3	2.3	41.9
59	50	1.6	11971	191.5	-57.4	1	-89.0	217	2.5	2.3	41.9
59	52	1.5	11974	191.4	-57.5	1	-89.0	218	2.7	2.3	41.9
59	54	1.7	11978	191.3	-57.5	1	-89.1	217	2.9	2.3	41.9
59	56	2.0	11982	191.1	-57.5	1	-89.1	217	3.0	2.3	41.9
59	58	1.5	11984	191.1	-57.6	1	-89.1	216	3.2	2.3	41.9
60	0	1.3	11987	191.0	-57.6	1	-89.2	215	3.3	2.3	41.9
60	2	1.3	11990	190.9	-57.7	1	-89.2	214	3.4	2.3	41.9
60	4	1.5	11993	190.8	-57.7	1	-89.2	213	3.6	2.3	41.9
60	6	1.7	11996	190.7	-57.8	1	-89.3	212	3.7	2.3	41.9
60	8	1.4	11999	190.6	-57.8	1	-89.3	211	3.8	2.3	41.9

Figura 4.28. Part d'un sondatge en que la velocitat vertical del globus és molt baixa .

EXEMPLES FILTRE A4

Aquest darrer filtre aplicat als fitxers de codi *text* és el que ha detectat més casos en que s'han de posar en dubte la seva validesa. La majoria d'aquests corresponen a canvis molt bruscos de temperatura o bé d'humitat entre dues dades consecutives d'una mateixa observació. Sorprenentment, els anys en que aquest fet ha tingut més presència no són els primers de radiosondatge, sinó entre 2003 i 2004 (figura 4.2).

YYMMDDHH	Z	P	T	H				
03090700			-50.5	-57.1	6.6			
03090912						100	39	61
03090912						90	25	65
03091212			-51.9	-57.4	5.5			
03091700			-44.6	-50.1	5.5			
03091700			-39.1	-44.6	5.5			
03091700			-33.5	-39.1	5.6			
03091700			-41.6	-33.5	-8.1			
03091700			-54.4	-41.6	-12.8			
03091800			-61.6	-67.5	5.9			
03091800			-66.7	-61.0	-5.7			
03091912			-55.4	-60.5	5.1			
03091912			-49.5	-55.4	5.9			
03091912			-39.7	-61.6	21.9			
03091912			-47.8	-38.0	9.8			
03091912			-57.6	-47.8	-9.8			
03091912			-56.1	-61.9	5.8			
03091912			-41.3	-56.1	14.8			
03091912			-35.2	-41.3	6.1			
03091912			-51.2	-59.5	8.3			
03092500			-46.8	-52.0	5.2			
03092600						23	92	-69
03092812						100	25	75
03092812						9	85	-76
03093012			-57.5	-52.3	-5.2			
03100212			-40.0	-48.1	8.1			
03100600						83	17	66

Figura 4.29. Petit exemple del filtre A4 aplicat a totes les observacions de l'any 2009.

Precisament, degut a l'elevat nombre de casos, s'ha preferit classificar-los segons la seva validesa, després d'una feina llarga i laboriosa de revisar cada cas:

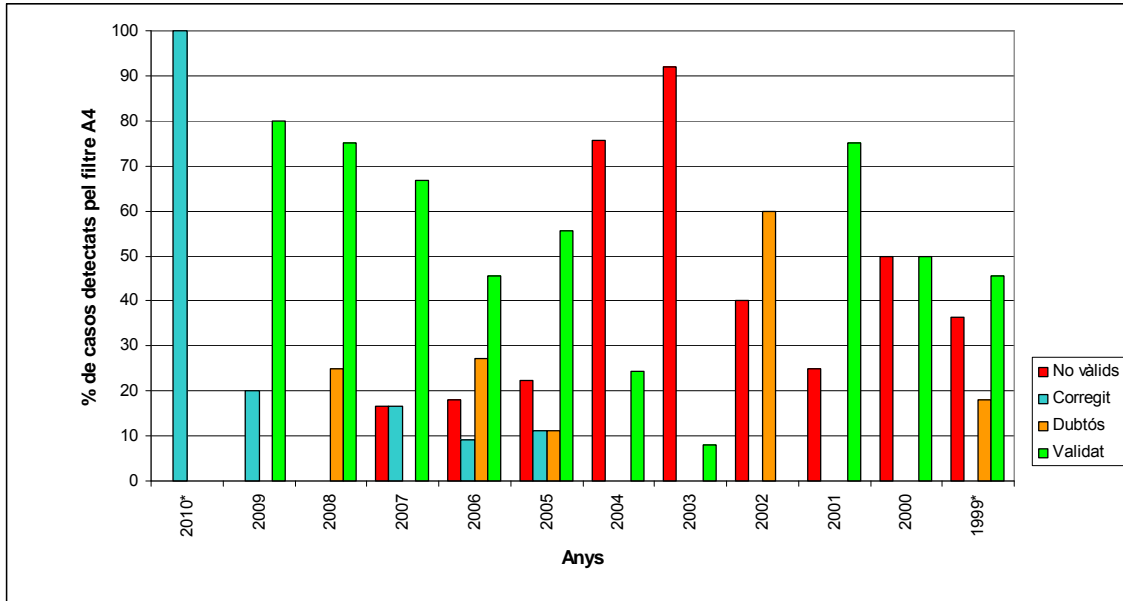


Figura 4.30. Diagrama de barres verticals mostrant el percentatge de tots els radiosondatges detectats pel filtre A4 segons la validació feta posteriorment.

Tot seguit, s'analitza diferents situacions en que hom troba quan s'observa el radiosondatge detectat pel filtre. En el següent exemple, es detecta un canvi bruscat de la humitat relativa:

3 40	5.9	1333	869.6	-0.7	91	-2.0	8	3.1	2.1	41.4
3 50	6.0	1393	863.1	-1.3	92	-2.4	18	3.1	2.1	41.4
4 0	6.1	1452	856.8	-1.8	95	-2.5	17	3.3	2.1	41.4
4 10	5.8	1508	850.7	-2.4	98	-2.7	15	3.4	2.1	41.4
4 20	5.5	1558	845.3	-2.7	98	-3.0	16	3.3	2.1	41.4
4 30	5.3	1612	839.6	-3.0	98	-3.3	15	3.0	2.1	41.4
4 40	5.4	1669	833.7	-3.4	99	-3.5	12	2.8	2.1	41.4
4 50	5.8	1732	827.0	-3.8	99	-3.9	7	2.0	2.1	41.4
5 0	6.0	1792	820.7	-3.7	99	-3.8	337	0.8	2.1	41.4
5 10	5.8	1844	815.3	-0.7	26	-17.8	335	0.7	2.1	41.4
5 20	5.8	1905	809.2	0.7	19	-20.3	5	1.6	2.1	41.4
5 30	5.9	1968	802.9	0.6	16	-22.4	1	2.3	2.1	41.4
5 40	6.0	2024	797.2	0.3	16	-22.6	354	2.2	2.1	41.4
5 50	6.1	2089	790.8	0.0	18	-21.5	355	1.7	2.1	41.4
6 0	6.1	2151	784.7	-0.4	19	-21.3	358	1.7	2.1	41.4
6 10	6.3	2214	778.6	-1.0	20	-21.2	359	2.0	2.1	41.4
6 20	6.2	2276	772.5	-1.6	21	-21.1	7	2.3	2.1	41.4
6 30	6.3	2340	766.3	-2.2	22	-21.1	18	2.7	2.1	41.4
6 40	6.2	2400	760.5	-2.6	23	-20.9	18	3.2	2.1	41.4
6 50	6.1	2460	754.8	-2.9	22	-21.7	10	3.4	2.1	41.4
7 0	6.0	2520	749.1	-3.2	25	-20.5	358	3.2	2.1	41.4
7 10	5.9	2578	743.7	-3.7	26	-20.4	346	3.1	2.1	41.4
7 20	5.8	2633	738.4	-4.3	26	-21.0	336	3.1	2.1	41.4
7 30	5.9	2697	732.5	-4.9	27	-21.1	328	3.1	2.1	41.4
7 40	5.9	2754	727.1	-5.4	27	-21.5	324	3.2	2.1	41.4
7 50	6.1	2816	721.5	-6.0	28	-21.6	328	3.2	2.1	41.4

Figura 4.31. Part d'interès del radiosondatge 09021600, en que es detecta un fort gradient vertical del grau d'humitat relativa a la baixa troposfera.

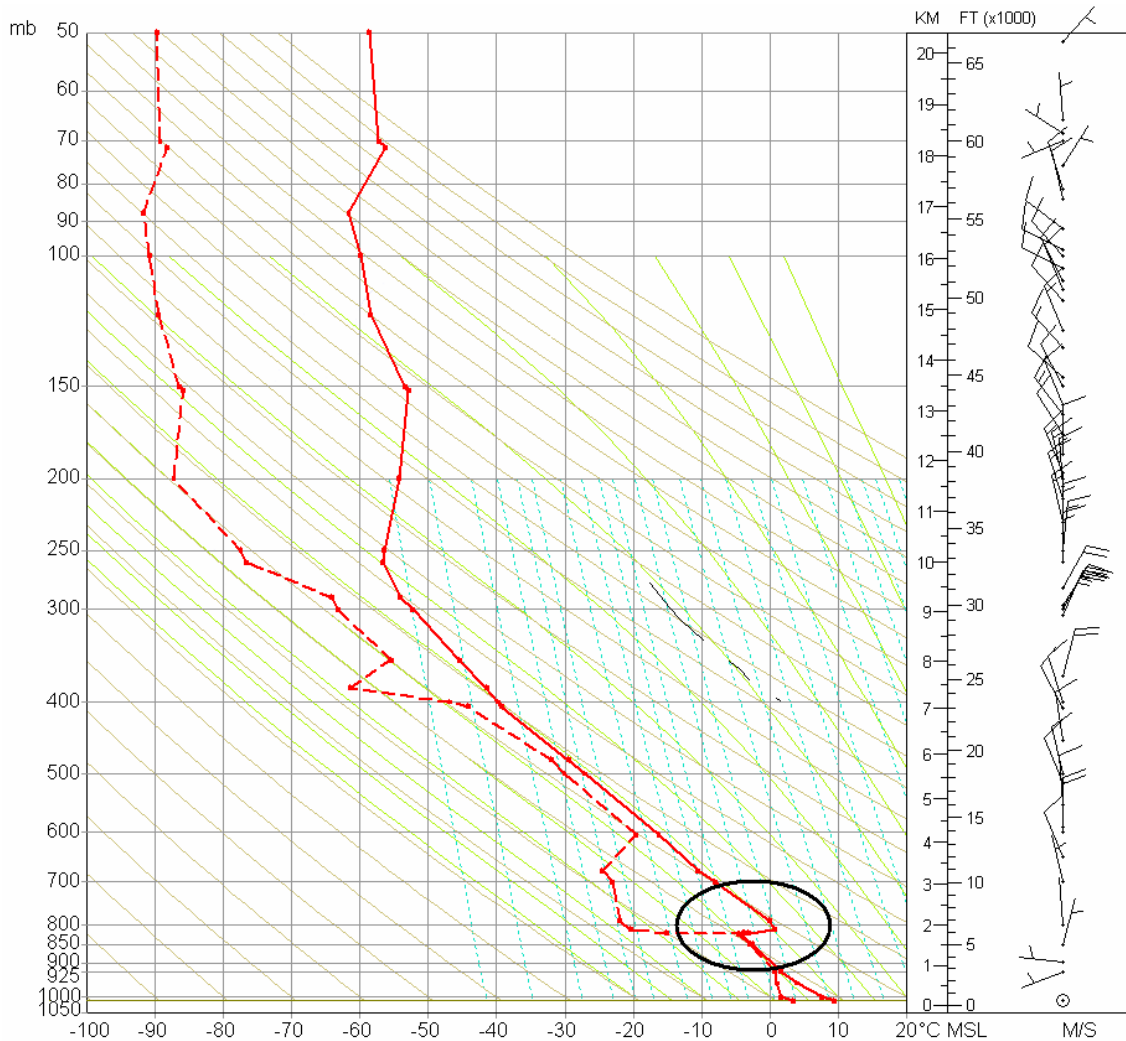


Figura 4.32. Diagrama termodinàmic de tipus emagrama³² (elaborat pel programa RAOB) del mateix dia.

Aquest fort gradient vertical de la humitat coincideix amb una forta inversió tèrmica. A més, el radiosondatge de Palma de Mallorca també ho reproduceix al voltant dels 850 hPa. Per tant, es pot donar per vàlid el radiosondatge.

³² S'ha triat aquest tipus de representació perquè la majoria de línies són rectes i facilita la interpretació.

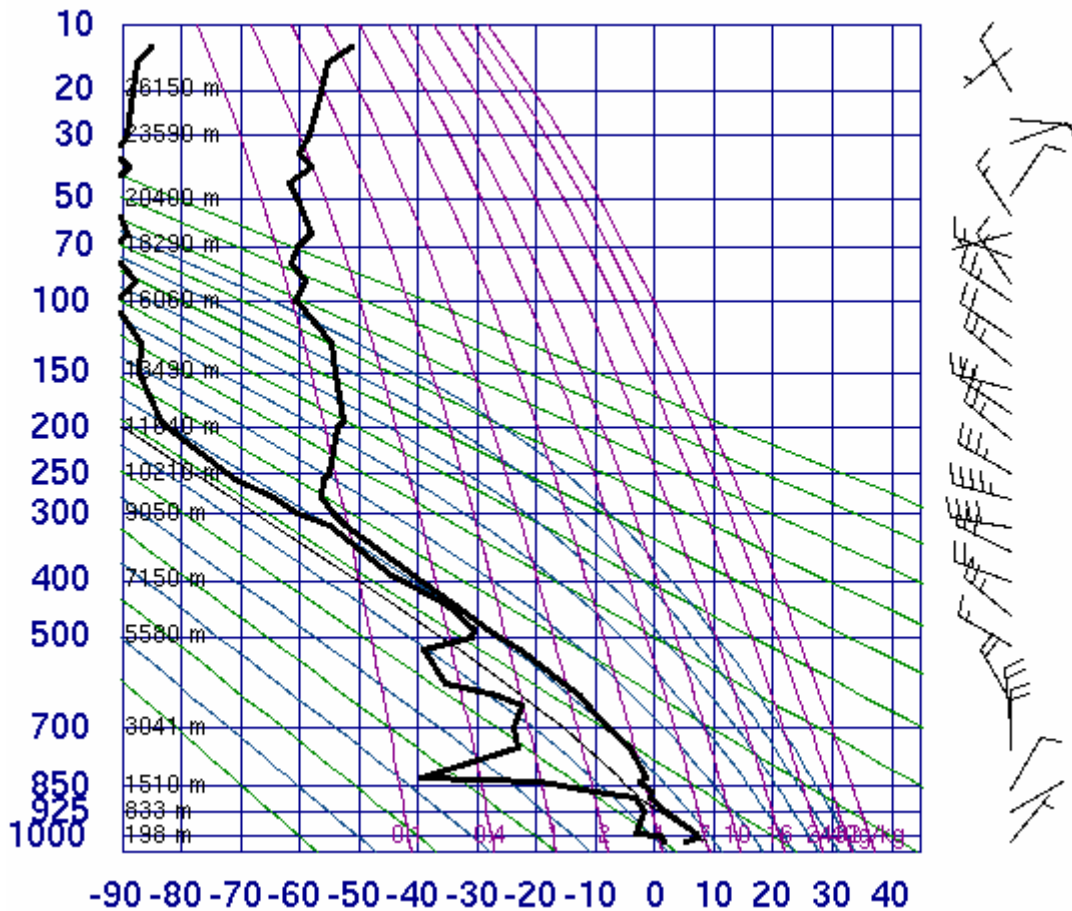


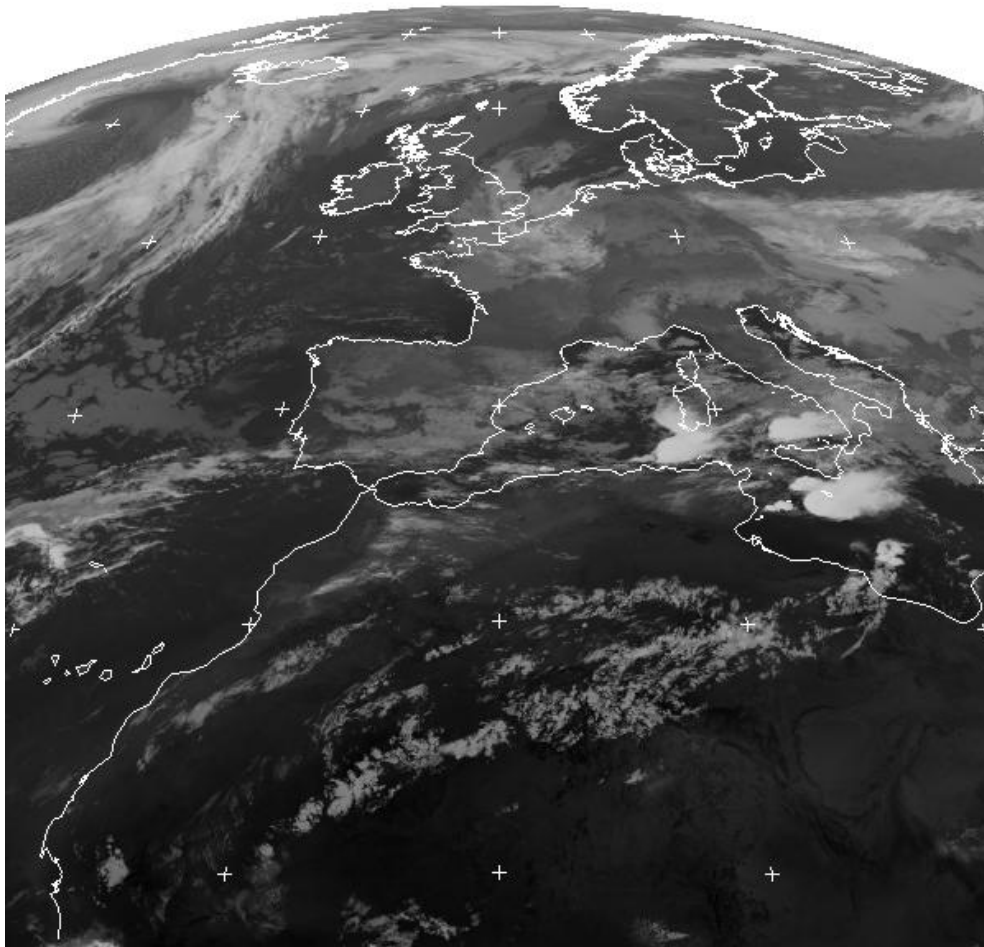
Figura 4.33. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 09021600 de Palma (Font: University of Wyoming).

En el següent cas, es detecta un canvi d’humitat relativa de 84 a 7%RH en tan sols 50 metres. No obstant, la inversió tèrmica no és tan acusada com en el cas anterior.

9 30	4.9	3283	680.7	-1.7	90	-3.1	279	6.7	2.1	41.4
9 40	4.7	3328	676.9	-2.0	93	-3.0	271	7.4	2.1	41.4
9 50	4.6	3373	673.1	-2.3	92	-3.4	266	8.3	2.1	41.4
10 0	4.5	3419	669.2	-2.7	92	-3.8	268	8.5	2.1	41.4
10 10	4.7	3470	665.0	-2.7	84	-5.0	275	8.9	2.1	41.4
10 20	4.9	3520	660.8	-2.0	7	-33.4	282	9.6	2.1	41.4
10 30	5.6	3586	655.3	-2.1	8	-32.1	286	9.4	2.1	41.4
10 40	5.4	3631	651.6	-2.5	7	-33.8	284	8.6	2.1	41.4
10 50	5.6	3687	647.0	-3.0	5	-37.5	277	7.9	2.1	41.4
11 0	5.0	3735	643.1	-3.2	6	-35.9	272	7.7	2.1	41.4
11 10	4.9	3779	639.5	-3.4	7	-34.5	274	8.2	2.1	41.4
11 20	5.2	3843	634.4	-3.6	10	-30.9	280	9.0	2.1	41.4
11 30	5.3	3895	630.2	-3.5	33	-17.5	280	10.3	2.1	41.4
11 40	5.5	3945	626.2	-3.8	52	-12.2	273	10.9	2.1	41.4
11 50	5.5	4007	621.3	-4.3	72	-8.6	269	10.3	2.1	41.4
12 0	5.7	4066	616.7	-4.7	78	-7.9	271	10.2	2.1	41.4

Figura 4.34. Part del radiosondatge 08092400 en que s’observa el canvi esmentat anteriorment.

MET9 24 SEP 2008 0000 BNM IR_108 2



copyright 2005 EUMETSAT

Figura 4.35. Imatge del canal infraroig 10.8 μm del satèl·lit METEOSAT 9 (Segona Generació) del dia 24 de setembre de 2008 a les 00 UTC on s’observa la presència de nuvolositat baixa a Catalunya (Font: EUMETSAT).

Com s’observa a la figura següent, les dades errònies es visualitzen de forma ràpida i els valors del punt de saturació s’han d’invalidar.

No obstant, cal prendre amb cautela la decisió de no verificar el cas d’estudi per molt evident que sembli, si més no, el “forat de la capa d’ozó” a l’Antàrtida es va trigar molts anys en descobrir ja que consideraven que no eren vàlides les temperatures tan baixes que enregistraven.

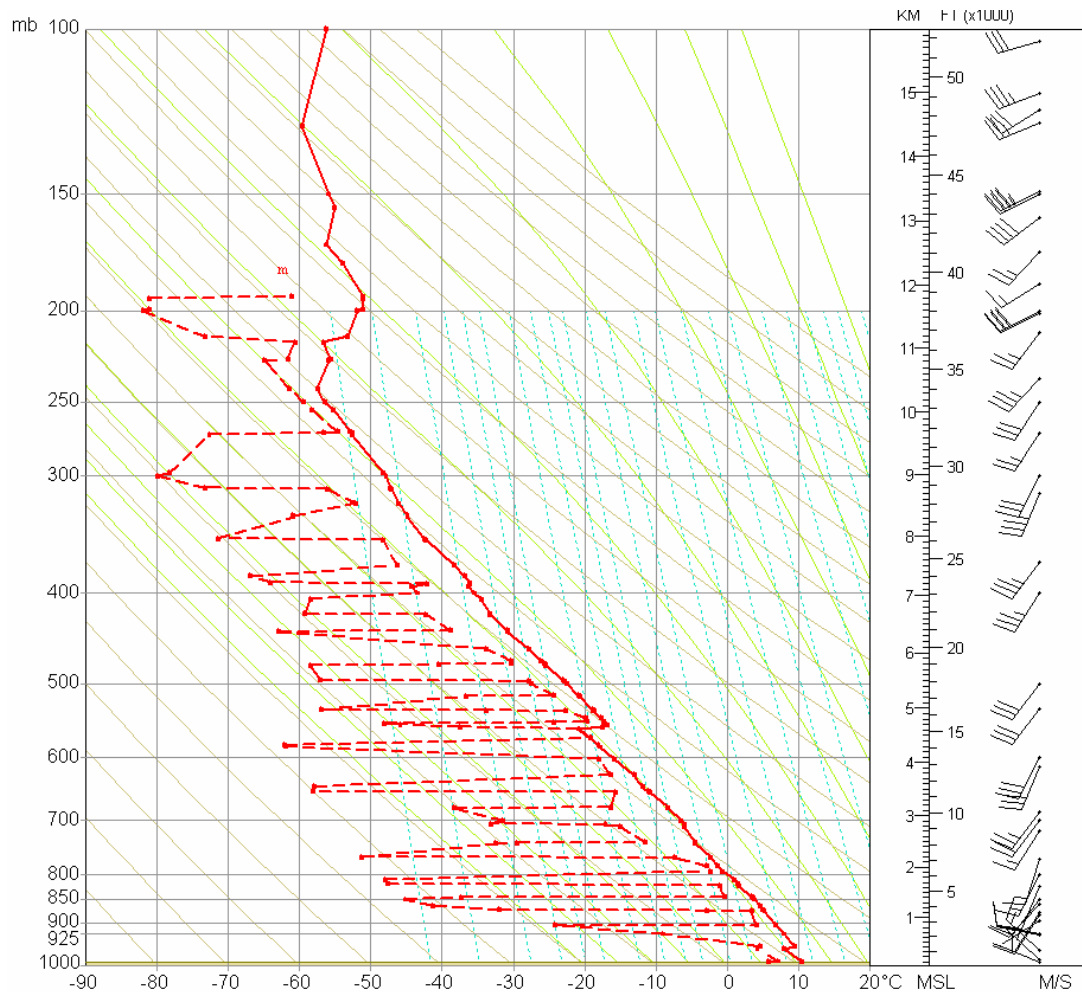


Figura 4.36. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 07012300.

El següent exemple que es comenta, l'instrument que enregistra incorrectament no és l'higròmetre com en el cas anterior sinó el termòmetre.

96 30	4.1	20995	44.4	-72.8	11	-87.0	///	///	///	///
96 40	4.1	21035	44.1	-76.0	10	-90.3	///	///	///	///
96 50	4.0	21074	43.8	-79.2	10	-93.1	///	///	///	///
97 0	3.9	21113	43.5	-82.4	9	-96.3	///	///	///	///
97 10	3.9	21152	43.1	-85.6	8	-99.7	///	///	///	///
97 20	3.8	21189	42.9	-88.8	7	-103.0	///	///	///	///
97 30	3.8	21226	42.6	-92.0	6	-106.5	///	///	///	///
97 40	3.7	21262	42.3	-95.1	5	-109.9	///	///	///	///
97 50	3.7	21299	42.0	-91.2	6	-105.8	///	///	///	///
98 0	3.7	21336	41.7	-85.6	8	-99.7	///	///	///	///
98 10	3.7	21374	41.4	-80.1	10	-93.8	///	///	///	///
98 20	3.8	21413	41.1	-74.5	25	-83.6	///	///	///	///
98 30	4.1	21460	40.8	-73.5	27	-82.2	///	///	///	///
98 40	4.5	21509	40.5	-73.8	25	-82.9	///	///	///	///
98 50	4.7	21554	40.1	-76.2	23	-85.6	///	///	///	///
99 0	4.6	21597	39.8	-80.1	20	-89.9	///	///	///	///
99 10	4.3	21638	39.5	-83.8	18	-93.8	///	///	///	///
99 20	4.2	21680	39.2	-87.7	16	-97.9	///	///	///	///
99 30	4.1	21719	39.0	-91.5	14	-102.0	///	///	///	///
99 40	4.0	21759	38.7	-95.4	12	-106.1	///	///	///	///
99 50	3.9	21797	38.4	-99.2	10	-110.3	///	///	///	///
100 0	3.9	21836	38.1	-92.0	10	-104.0	///	///	///	///

Figura 4.37. Part del radiosondatge 04011100 en que s'observa un canvi de temperatura brusca al voltant de 40 hPa.

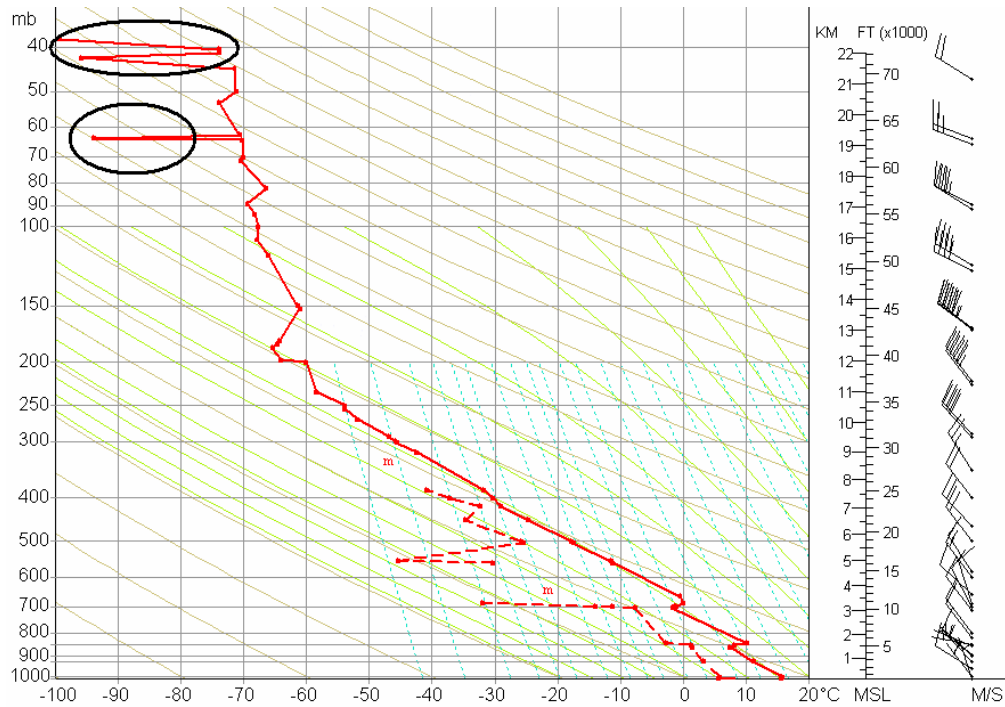


Figura 4.38. Emagrama del radiosondatge 04011100.

Justament, en aquesta jornada es va enregistrar a la península Ibèrica el mínim històric de concentració d'ozó estratosfèric des que es disposen dades (any 1979).

EP/TOMS Corrected Total Ozone Jan 10, 2004

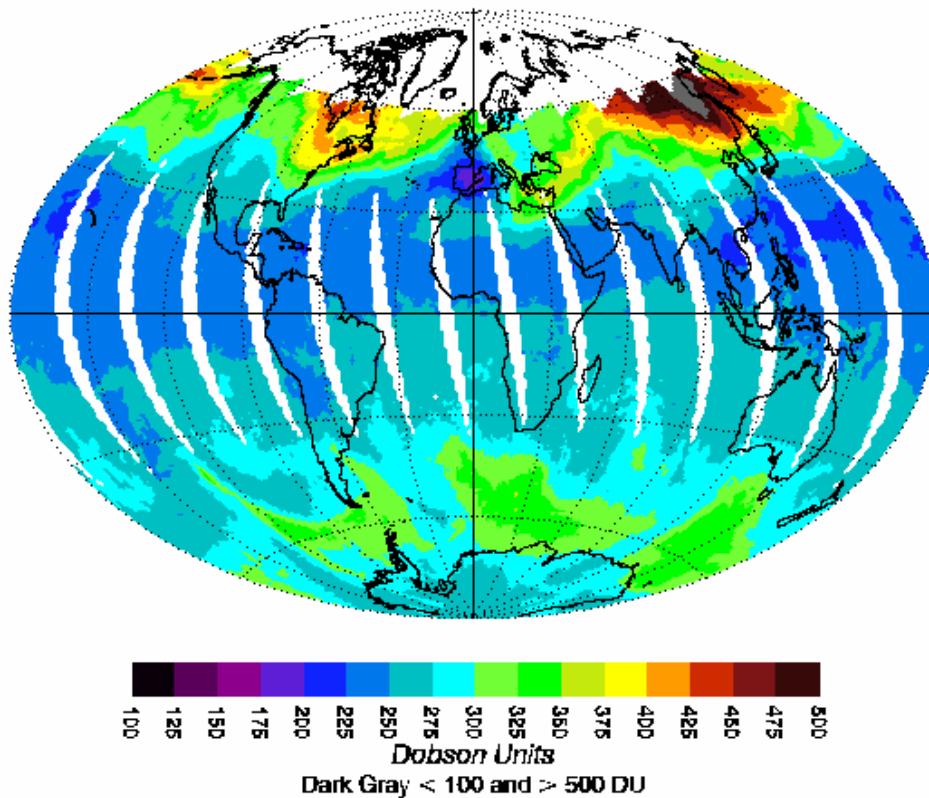


Figura 4.39. Mapa global de la concentració d'ozó estratosfèric el dia 10 de gener de 2004. (Font: NASA)

De fet, aquest radiosondatge ja s’havia detectat pel filtre A1 ja que supera àmpliament el lílindar dels -75°C que s’havien establert. Però, finalment, s’ha decidit explicar-ho com a exemple del A4 perquè malgrat els mínims d’ozó, tot apunta que aquestes temperatures tan baixes no són reals. Cal tenir present, que per temperatures tan baixes la fiabilitat del termòmetre disminueix considerablement (secció 2.1.1).

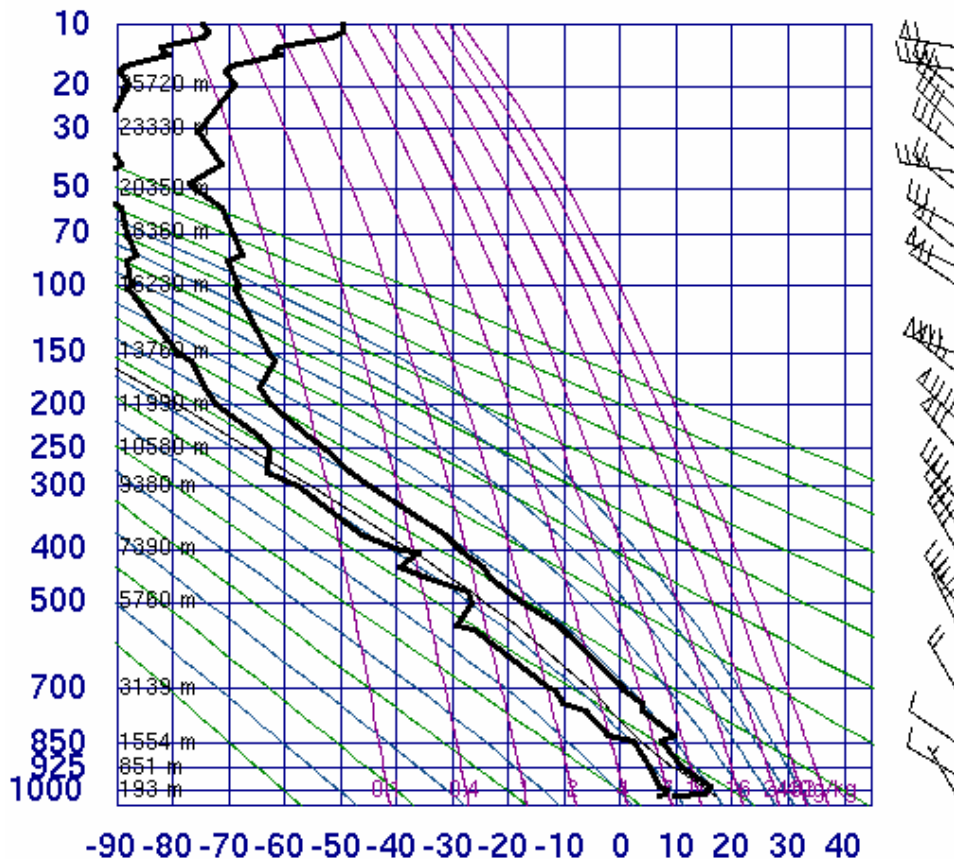


Figura 4.40. Diagrama termodinàmic del radiosondatge de Palma de Mallorca a la mateixa hora que la figura anterior (Font: *University of Wyoming*).

En el cas de l’observació de les illes, es detecta també la inversió de temperatura que es produeix al voltant de 850 hPa. Malgrat tot, les fluctuacions de temperatura a partir de 70 hPa són molt més moderades que no pas en el radiosondatge del principat.

En el cas de l’observació de la capital espanyola sí que es detecta una temperatura prou baixa (gairebé de -80°C) però en cap cas assolint els -95°C .

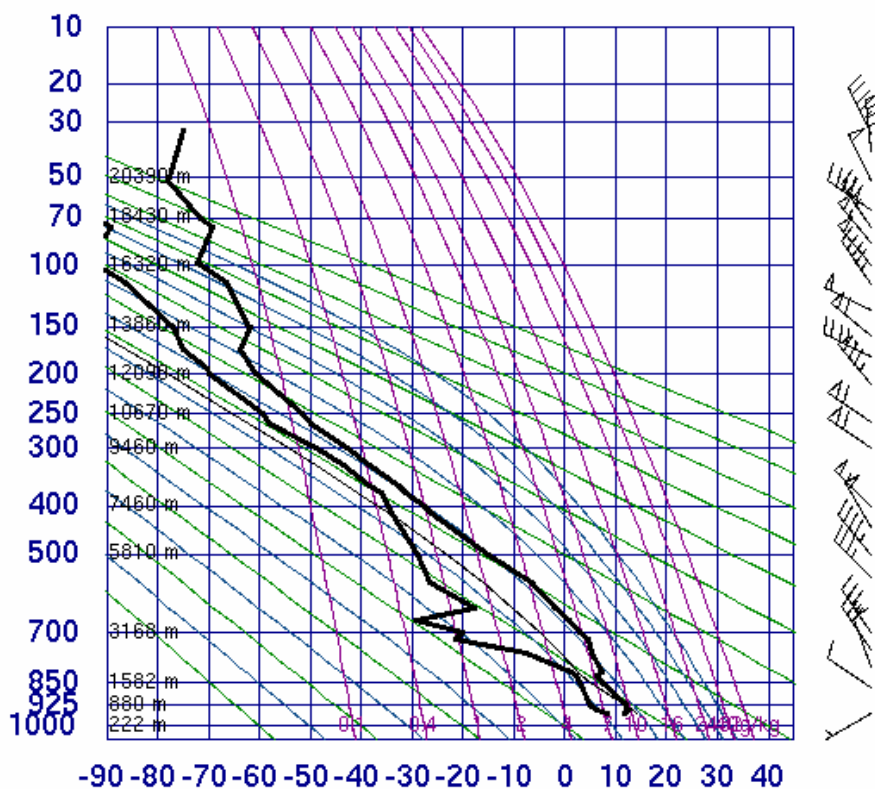


Figura 4.41. Diagrama termodinàmic del radiosondatge de Madrid del dia anterior, que correspon amb el mínim d'ozó estratosfèric. (Font: University of Wyoming).

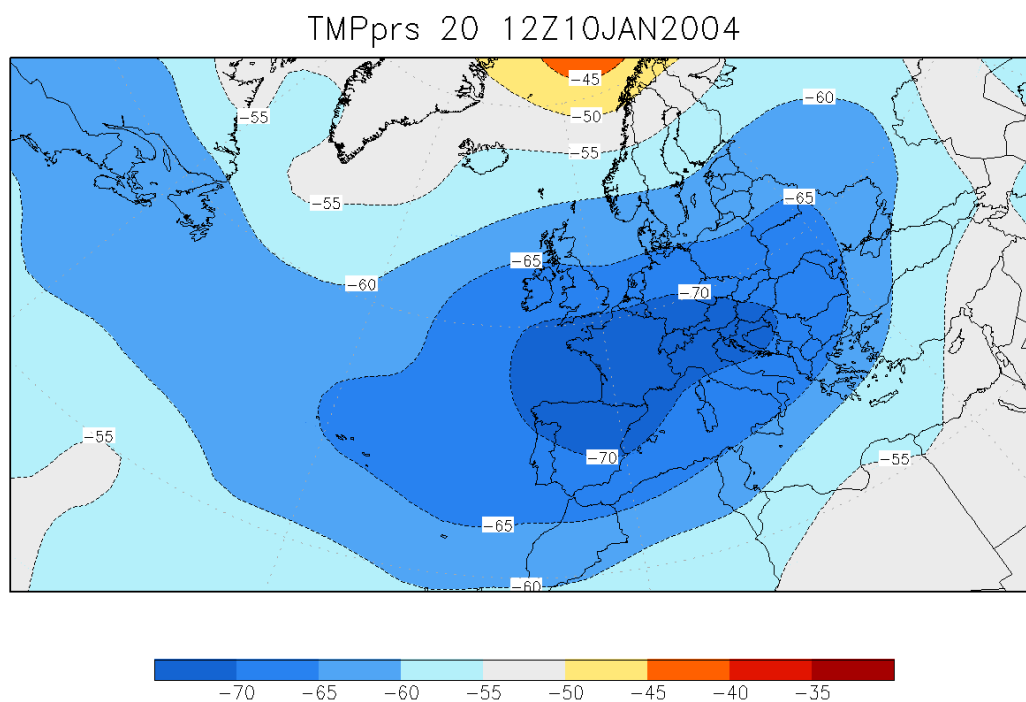


Figura 4.42. Mapa de camp de temperatura a la superfície isobàrica de 20 hPa el dia 10 de gener de 2004 a les 12 UTC. (Font: NOAA)

L’elecció de l’hora del mapa de la figura anterior correspon a les temperatures mínimes enregistrades en aquest episodi del mínim d’ozó. Així doncs, tot fa pensar que les darreres dades del radiosondatge de Barcelona no són correctes. El mateix succeeix en el següent cas, tot i que la temperatura es comença a registrar malament per sota dels 100 hPa.

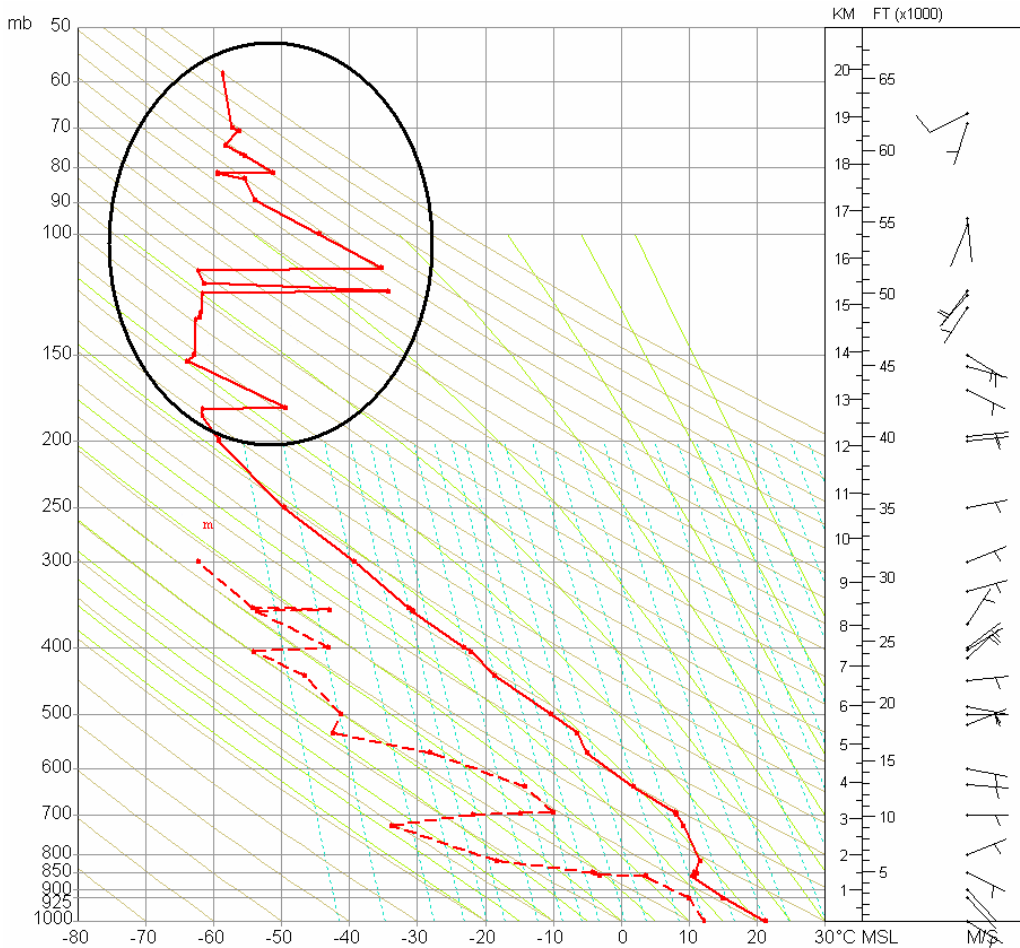


Figura 4.43. Emagrama del radiosondatge 03091912.

En d’altres ocasions, ni tan sols cal cap representació:

52	0	4.8	15432	110.7	-55.5	1	-87.7	303	5.1	////	////
52	10	4.9	15481	109.8	-55.4	1	-87.6	300	5.3	////	////
52	20	4.8	15528	109.0	-55.3	1	-87.5	299	5.5	////	////
52	30	4.3	15561	108.5	-55.2	1	-87.5	299	5.7	////	////
52	40	4.6	15618	107.5	-55.4	15	-70.1	303	6.1	////	////
52	50	4.8	15671	106.6	-55.5	41	-62.7	308	6.4	////	////
53	0	5.2	15716	105.9	-55.9	1	-87.9	316	6.9	////	////
53	10	4.9	15766	105.0	-55.4	1	-87.6	///	///	////	////
53	20	4.5	15805	104.4	-54.0	1	-86.6	///	///	////	////

Figura 4.44. Petita part del radiosondatge 03021412 on es detecta clarament errors d’humitat relativa.

♀	Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat
min	s	m/s	m	hPa	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg
0	0	0.0	98	999.5	7.4	82	4.5	342	1.0	2.1	41.4
0	10	4.4	142	993.1	-39.2	91	-40.1	335	0.7	2.1	41.4
0	20	4.6	190	986.1	-39.2	83	-41.0	303	1.4	2.1	41.4
0	30	4.7	240	978.9	-39.4	84	-41.1	292	1.4	2.1	41.4
0	40	4.9	289	972.0	-39.6	89	-40.7	279	1.3	2.1	41.4
0	50	5.0	341	964.7	-40.0	97	-40.3	286	1.4	2.1	41.4
1	0	5.1	394	957.2	-40.2	96	-40.6	283	1.8	2.1	41.4

Figura 4.45. Primeres dades del fitxer 06022200.txt.

Però, com s’ha comentat anteriorment, no tots els casos són tan evidents:

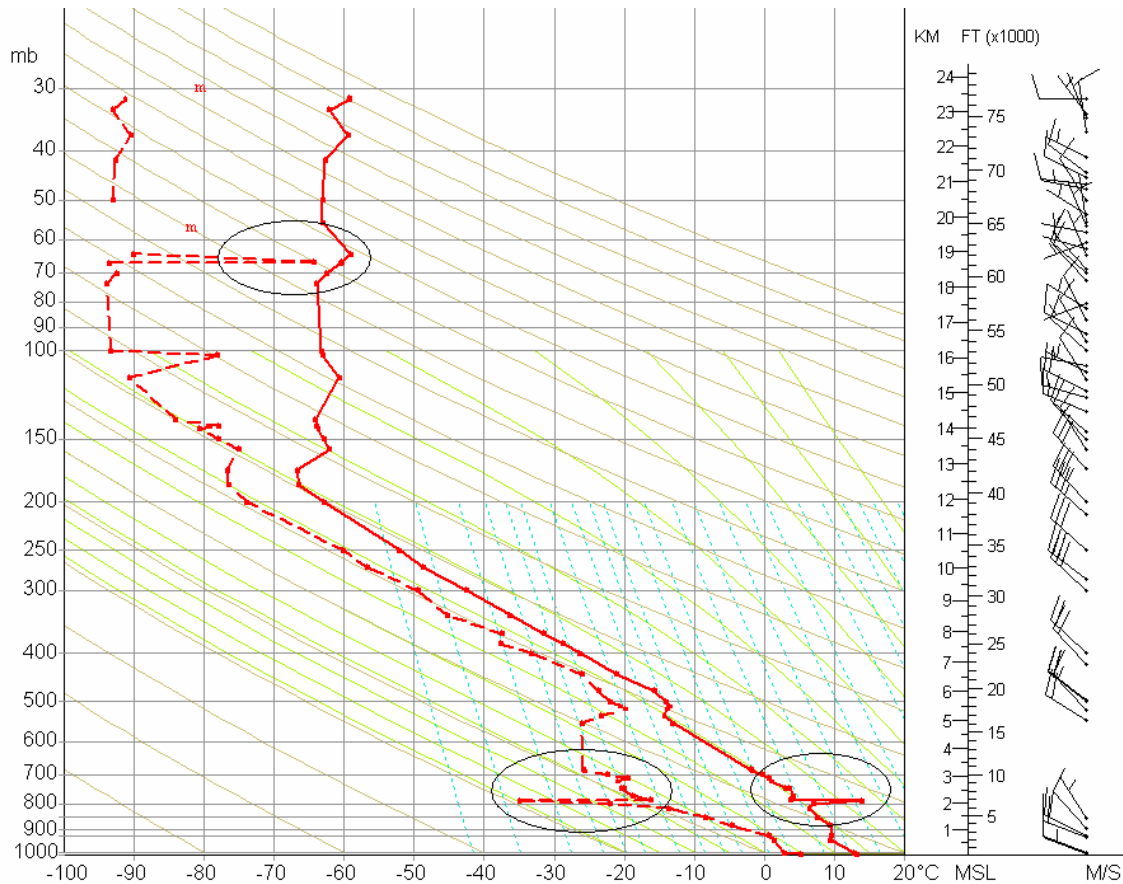


Figura 4.46. Representació gràfica del radiosondatge 99121200.

A la figura anterior es detecta una forta inversió tèrmica a la baixa troposfera i una humitat elevada per sobre dels 100 hPa.

4	50	6.1	1712	827.8	6.8	28	-10.4	///	///	///	///
5	0	5.4	1742	824.8	6.7	24	-12.4	///	///	///	///
5	10	6.4	1824	816.5	6.4	23	-13.2	///	///	///	///
5	20	5.7	1882	810.8	6.8	16	-17.3	///	///	///	///
5	30	7.3	1962	802.9	7.2	11	-21.3	///	///	///	///
5	40	6.6	2022	797.0	9.1	11	-19.9	///	///	///	///
5	50	6.9	2090	790.6	13.6	2	-35.1	///	///	///	///
6	0	6.9	2168	783.2	3.9	21	-16.5	///	///	///	///
6	10	7.5	2246	775.7	4.1	18	-18.1	///	///	///	///
6	20	7.7	2321	768.6	4.2	17	-18.7	///	///	///	///
6	30	7.7	2398	761.3	4.0	17	-18.9	///	///	///	///

53	50	5.3	18579	68.1	-61.3	1	-91.8	319	11.4	/ / / / /	/ / / / /
54	0	5.3	18631	67.5	-60.8	1	-91.4	321	10.9	/ / / / /	/ / / / /
54	10	5.3	18678	67.0	-60.5	1	-91.2	323	10.0	/ / / / /	/ / / / /
54	20	5.2	18736	66.4	-60.3	60	-64.3	325	9.1	/ / / / /	/ / / / /
54	30	5.5	18795	65.8	-60.0	44	-66.4	328	8.1	/ / / / /	/ / / / /
54	40	5.9	18854	65.2	-59.7	28	-69.4	331	6.9	/ / / / /	/ / / / /
54	50	5.9	18913	64.6	-59.3	13	-74.5	334	5.7	/ / / / /	/ / / / /
55	0	5.7	18966	64.0	-59.1	1	-90.2	335	4.5	/ / / / /	/ / / / /
55	10	5.2	19009	63.6	-59.2	1	-90.3	322	3.3	/ / / / /	/ / / / /
55	20	5.3	19072	62.9	-59.4	1	-90.4	295	2.5	/ / / / /	/ / / / /
55	30	5.4	19128	62.4	-59.7	1	-90.6	272	2.6	/ / / / /	/ / / / /

Figura 4.47. Dades sospitoses del radiosondatge representat a la figura anterior.

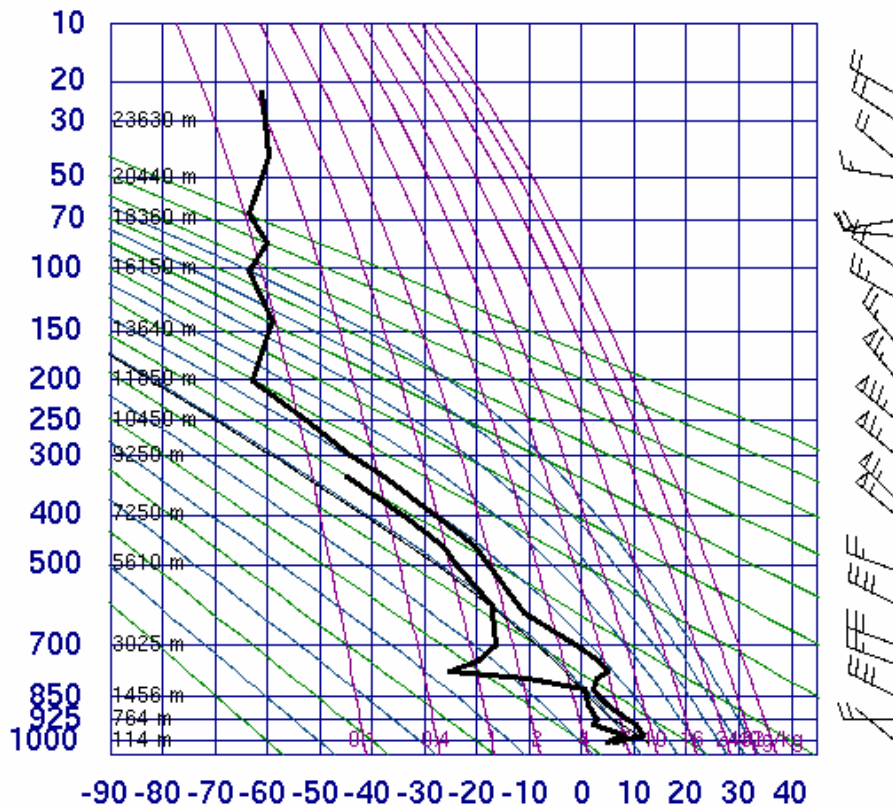


Figura 4.48. Diagrama termodinàmic del radiosondatge 99121200 de Nimes (Font: *University of Wyoming*).

La inversió a 800 hPa també es detecta en el radiosondatge de l'estat veí, però no tan acusada. De fet, en el sondatge de Barcelona la temperatura varia 10°C en 70 metres o dit d'una altra manera, cada 7 metres se suposa que variava 1°C. Per tant, cal eliminar aquestes dades.

A vegades, l'error és generat per l'observador a l'hora d'introduir les dades de superfície (figura 4.48). Però, novament, casos que a simple vista poden semblar erronis, resultat que són correctes (figura 4.49).

Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat
min s	m/s	m	hPa	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg
0 0	0.0	98	1002.6	12.6	79	9.1	335	1.0	2.1	41.4
0 2	2.8	104	1001.9	5.6	79	2.3	20	0.6	2.1	41.4
0 4	3.6	111	1001.0	5.6	80	2.4	0	0.3	2.1	41.4
0 6	5.1	121	999.8	5.6	80	2.4	0	0.3	2.1	41.4
0 8	5.0	131	998.6	5.5	81	2.5	0	0.4	2.1	41.4
0 10	4.8	141	997.4	5.5	81	2.4	82	0.5	2.1	41.4
0 12	5.0	151	996.2	5.3	81	2.3	87	0.7	2.1	41.4
0 14	4.9	160	995.0	5.2	81	2.2	89	0.9	2.1	41.4
0 16	5.0	170	993.8	5.0	82	2.1	91	1.1	2.1	41.4
0 18	5.5	181	992.4	4.9	82	2.1	92	1.2	2.1	41.4
0 20	5.3	192	991.1	4.8	82	2.0	92	1.4	2.1	41.4

Figura 4.49. Primeres dades enregistrades del radiosondatge 10030500 amb el valor de la temperatura en superfície incorrecte.

Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat
min s	m/s	m	hPa	degC	%	degC	deg	m/s	deg	deg
0 0	0.0	98	997.1	15.0	54	5.8	260	3.0	2.1	41.4
0 10	6.1	159	990.0	20.3	47	8.7	264	8.3	2.1	41.4
0 20	6.5	228	982.1	19.5	48	8.2	267	11.3	2.1	41.4
0 30	6.9	304	973.5	18.6	50	8.0	269	12.3	2.1	41.4
0 40	7.2	375	965.4	17.9	53	8.2	274	11.1	2.1	41.4
0 50	6.6	427	959.5	17.3	54	7.9	278	10.7	2.1	41.4
1 0	5.4	465	955.3	17.0	55	7.9	279	11.3	2.1	41.4
1 10	4.3	504	950.9	16.6	56	7.8	278	10.9	2.1	41.4
1 20	4.6	564	944.2	16.0	58	7.8	280	9.8	2.1	41.4
1 30	5.0	616	938.5	15.5	59	7.5	285	9.4	2.1	41.4
1 40	5.3	662	933.4	15.1	61	7.7	287	9.5	2.1	41.4
1 50	5.4	726	926.4	14.5	63	7.6	282	9.3	2.1	41.4
2 0	5.6	784	920.1	13.9	64	7.2	275	10.4	2.1	41.4
2 10	5.6	829	915.2	13.6	63	6.7	276	13.5	2.1	41.4
2 20	4.5	860	911.8	13.3	64	6.7	278	16.0	2.1	41.4
2 30	4.0	903	907.1	12.9	65	6.5	277	16.7	2.1	41.4
2 40	4.4	960	901.0	12.4	66	6.2	277	16.6	2.1	41.4
2 50	5.4	1022	894.4	11.7	68	6.0	279	16.4	2.1	41.4

Figura 4.50. Primeres dades enregistrades del radiosondatge 07021212 amb el valor de la temperatura que s’ha detectat amb el filtre A4.

En aquest cas, s’ha comprovat aquesta temperatura amb les dades d’aquesta variable meteorològica enregistrada per l’estació d’Esplugues de Llobregat (situada a 110 m), amb bona correlació amb l’estació del terrat de la facultat³³.

³³ Aquells dies no funcionava l’estació del terrat per problemes tècnics.

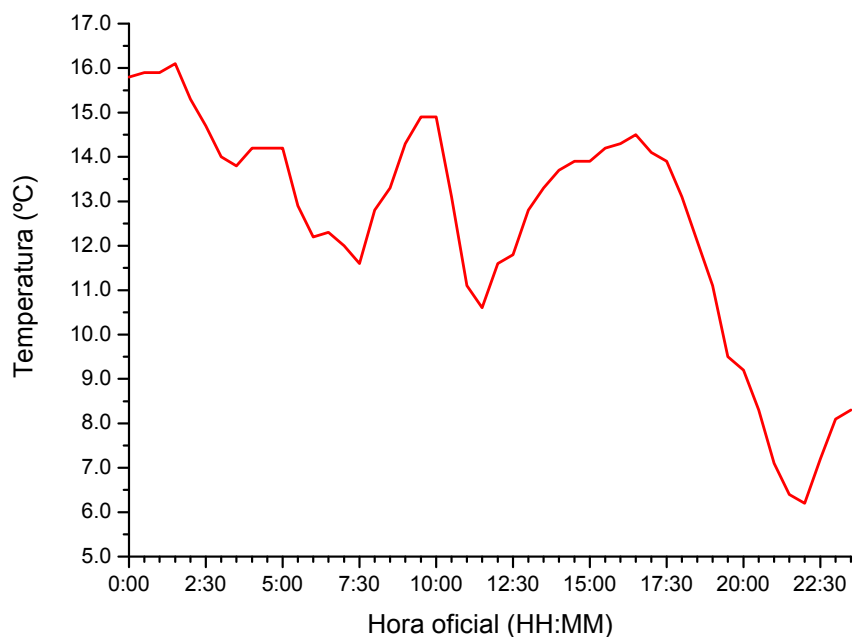


Figura 4.51. Temperatura enregistrada cada 30 minuts per l'estació automàtica d'Esplugues de Llobregat el dia 12 de febrer de 2007 (Font: B. Codina)

A l'hora del radiosondatge del migdia s'observa que la temperatura a la localitat del Baix Llobregat rondava els 12°C. Per tant, aquest fet donaria peu a pensar que potser les dades que estan enregistrades malament no és la de superfície sinó les següents.

Nivell estàndard	Barcelona	Palma de Mallorca
925	14.4 °C	11.6 °C
850	8.0 °C	7.2 °C
700	-1.5 °C	0.0 °C
500	-17.5 °C	-15.7 °C

Taula 4.7. Comparació de temperatures entre la ciutat comtal i la capital de les illes Balears.

A la taula anterior, s'observa que la discrepància entre els dos registres no és gaire considerable. Per tant, es decideix donar com a correcte aquest sondatge de Barcelona.

4.4.2. Filtres aplicats als fitxers de codi temp

Un cop s'ha descodificat el codi temp de totes les observacions del període d'estudi, el que s'ha fet a continuació és generar un fitxer per cada nivell estàndard amb totes les dades referents a aquest nivell. Cal tenir present, que tots els

radiosondatges en que s’ha mesurat incorrectament la temperatura o bé la humitat s’han eliminat els codi temp corresponents.

YYMMDDHH	Z(m)	T(°C)	Dw(°C)	D(°)	V(m/s)
99050100T	3091	-0.7	-8.7	200	12.9
99050112T	3105	0.6	-21.4	175	8.7
99050200T	3074	1.0	-13.0	175	9.3
99050212T	3065	1.6	-21.4	195	15.9
99050300T	3067	-1.1	-4.3	145	7.7
99050312T					
99050400T	2993	-2.1	-4.3	360	7.2
99050412T	2991	-1.3	-3.8	360	16.5
99050500T	3045	-0.1	-6.1	320	6.7
99050512T	3072	0.8	-4.0	275	5.1
99050600T	3106	-0.3	-8.3	285	7.2
99050612T	3110	-0.9	-3.3	265	6.2
99050700T	3121	2.0	-8.0	220	7.2
99050712T	3097	1.0	-2.6	220	14.9
99050800T	3080	0.6	-0.7	///	///
99050812T	3085	0.0	-24.0	250	14.9
99050900T	3112	3.2	-25.8	///	///
99050912T	3135	5.2	-29.8	240	11.3
99051000T	3141	4.8	-12.2	270	12.9
99051012T	3167	5.6	-31.4	260	11.8
99051100T	3185	5.2	-7.8	255	9.8
99051112T	3171	7.8	-32.2	260	17.5
99051200T	3155	6.4	-18.6	270	16.5
99051212T	3167	7.4	-21.6	265	21.1
99051300T	3167	8.6	-38.4	280	20.1
99051312T	3163	8.0	-8.0	230	17.0
99051400T	3133	7.6	-10.4	260	14.4
99051412T	3114	3.6	-6.4	260	19.0
99051500T	3098	3.4	-0.8	245	18.0

Figura 4.52. Inici del fitxer 700 hPa.dat on es poden veure totes les dades referents a aquest nivell de tots els radiosondatges realitzats des de maig de 1999 fins al juliol de 2010.

A partir d’aquí, s’han aplicat els filtres B1 i B2 a cada superfície isobàrica i al nivell de la superfície (98 m).

FILTRE B1

El mateix que succeïa en el cas dels filtres aplicats als fitxers text, en aquest cas, també hom troba alguns valors clarament lluny dels límits establerts (assenyalats de color vermell a la figura anterior) que fan pensar que aquell fitxer presenta algun problema de format. Per sort, els casos com aquest són minoritaris en els codi temp.

YYMMDDHH	Z	T	Dw	V
99082512T		25.2		
99111212T	1008			
99111212T		663.2		
99111212T			661.6	
99122800T				33.4
00070700T		27.2		
00082100T		25.2		
00082512T		26.0		
01062500T		25.4		
01080200T		25.2		
01102712T	1742			
01102712T		-28.3		
01102812T	1747			
01102812T		-27.9		
01102812T			-48.9	
01102812T				53.5
01102900T	1009			
01102900T		-546.3		
01102900T			-549.5	
01102900T				55.0
02082612T	1999			
03080700T	1853			
03080700T		25.6		
05071700T		26.0		
05071712T		26.2		
05071800T		26.2		
05073100T	1182			

Figura 4.53. Primers fitxers temp detectats pel filtre B1 al nivell de 850 hPa.

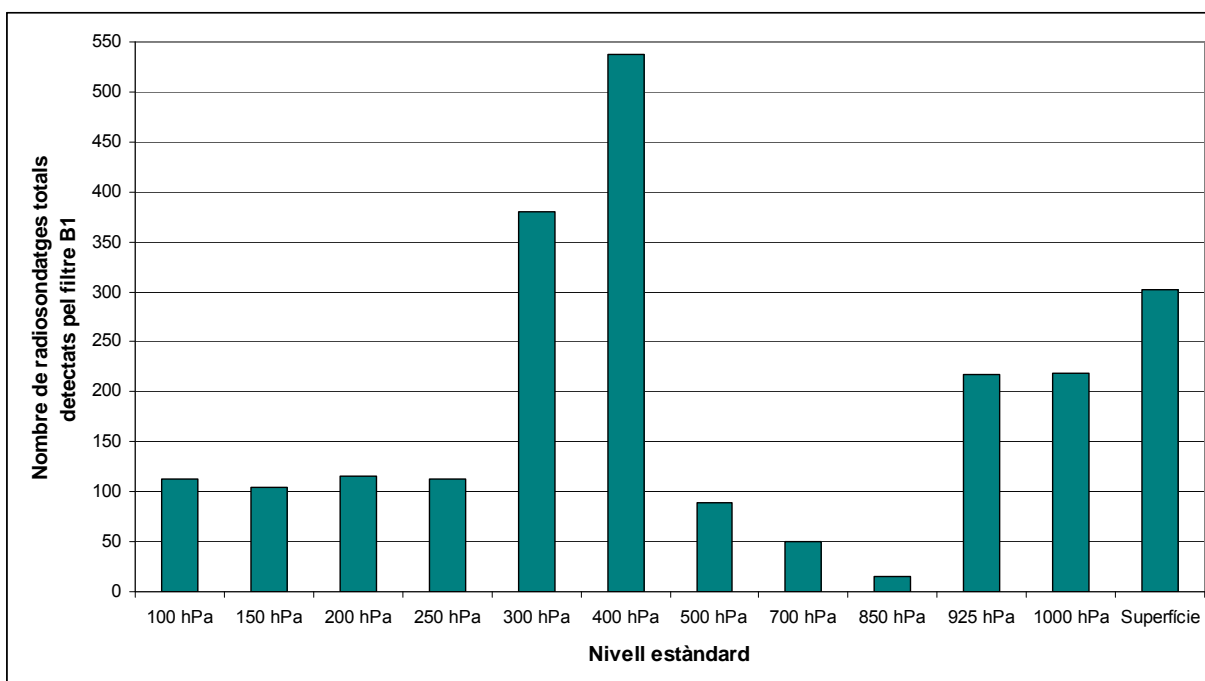


Figura 4.54. Nombre d'observacions que han sigut detectades pel filtre B1 per cada nivell estàndard segons els intervals establerts a la taula 4.4.

Tal com s’ha comentat anteriorment, els casos amb problemes de format o bé de temp incomplets són realment inexistents. Només s’han comptabilitzat 7 d’un total de més de 8000 observacions!

071024 23:00

```
TTAA 74001 08190
99000 16650 01506 00096 // // // // 92756 13239 08501
92756 13239 08501 85462 07422 28006 70037 01962 32012
50564 16759 30531 40727 28959 30547 30927 435// 30571
25047 525// 29588 20191 533// 30542 15374 575// 33524
10627 627// 30013
88232 551// 30080 88134 609// 33021
```

Figura 4.55. Primera part del fitxer temp del dia 07102400 en que el nivell de 925 hPa està repetit.

Però tornant a la figura 4.52, tot seguit s’analitza el camp de temperatura del dia 00070700 en que la radiosonda va enregistrar 27.2°C a 850 hPa.

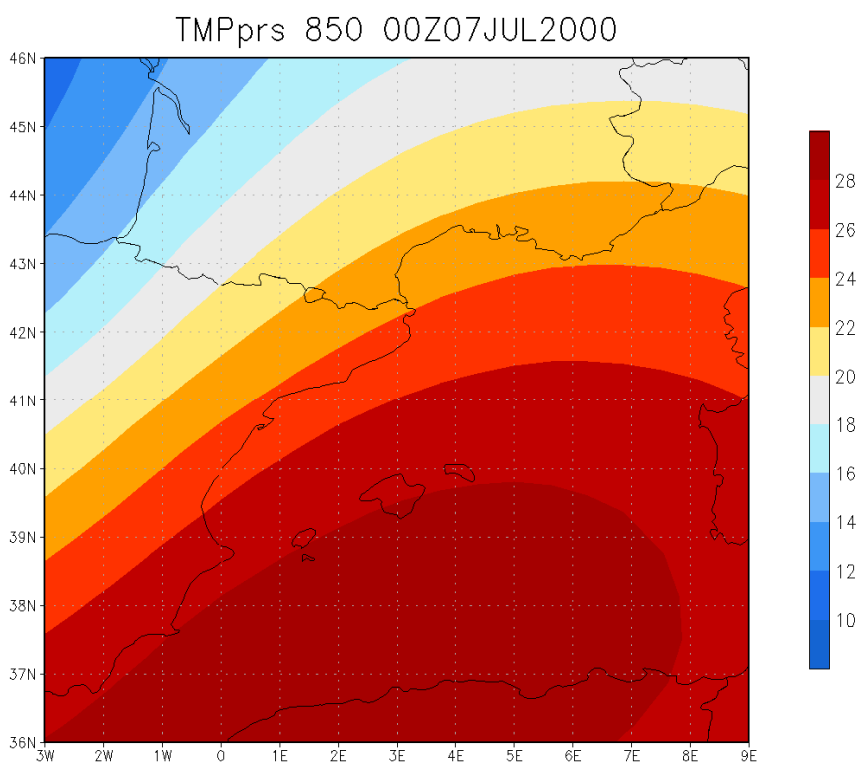


Figura 4.56. Camp de temperatura a la superfície isobàrica de 850 hPa al Mediterrani Occidental el dia 7 de juliol de 2000 a les 00 UTC (Font: NOAA).

En aquest mapa, s’observa al vessant mediterrani peninsular el que es coneix popularment com una bombolla d’aire calent a la part baixa de la troposfera. Per tant, s’ha de donar totalment per vàlid aquell sondatge. Cal dir, que abans de prendre aquesta decisió es mira en detall el comportament del fitxer text corresponent al

mateix dia. Així doncs, novament, el temps emprat en realitzar un control exhaustiu dels temps és molt llarg.

```
011028 23:00
TTAA 79001 08180
99015 19226 27001 00230 18843 2 92898 17656 27505
85619 15463 32509 70227 02659 33517 50585 16756 33010
0749 29156 32017 30947 451// 32017 25067 541// 30021
20207 609// 31027 4 631// 31024 10635 609// 00510
88183 633// 30524999
31313 46108 82303=
```

Figura 4.57. Primera part del fitxer temp del dia 01102900 en que manquen algunes dades.

Aleshores, el que s’ha fet en aquests casos en que el fitxer no està complet i això genera un format diferent, és comprovar si el text està complet, com en aquest cas. A continuació, cerquem les dades que interessin. Per exemple, en aquest cas hi manca el vent a 1000 hPa i el geopotencial a 150 hPa.

‡	Time	AscRate	Hgt/MSL	Pressure	Temp	RH	Dewp	Dir	Speed	Lon	Lat
min	s	m/	m	hPa	degC	%	deC	deg	m/s	deg	deg
0	0	0.0	98	1015.4	19.3	85	167	268	0.5	2.1	41.4
0	10	4.8	146	1009.8	19.2	76	14.9	251	2.0	2.1	41.4
0	20	5.8	214	1001.9	18.9	76	14.6	244	2.9	2.1	41.4
0	30	6.0	279	994.4	18.4	77	14.3	240	3.6	2.1	41.4
0	40	6.5	342	987.1	17.9	79	14.2	238	4.0	2.1	41.4
0	50	6.2	400	980.4	17.8	77	13.7	237	4.2	2.1	41.4
1	0	6.2	465	973.0	17.6	76	13.3	239	3.9	2.1	41.4
1	10	6.1	526	966.1	17.3	76	13.0	246	3.2	2.1	41.4
33	30	8.6	13505	158.5	-63.7	15	-77.3	311	17.9	2.2	41.3
33	40	8.6	13594	156.3	-63.9	14	-77.9	316	17.0	2.3	41.3
33	50	8.9	13676	154.2	-63.9	14	-77.9	318	15.5	2.3	41.3
34	0	7.8	13740	152.6	-63.5	13	-78.1	318	13.6	2.3	41.3
34	10	8.0	13833	150.3	-63.2	13	-78.3	312	12.2	2.3	41.3
34	20	8.2	13922	148.1	-63.3	12	-78.4	306	11.6	2.3	41.3
34	30	9.3	14019	145.8	-63.5	12	-78.6	305	11.0	2.3	41.3
34	40	8.6	14091	144.1	-63.2	11	-78.9	306	10.6	2.3	41.3
34	50	8.2	14168	142.3	-63.0	11	-78.7	304	10.1	2.3	41.3
35	0	7.4	14240	140.7	-62.6	10	-79.0	298	9.5	2.3	41.3

Figura 4.58. Parts d’interès del fitxer text del dia 01102900.

Per interpolació lineal, es pot calcular fàcilment les variables a 1000 hPa (=230m):

Velocitat: $y=0.0108x+0.5954$

Direcció: $y=-0.0615x+257.17$

$Dir(z = 230m) = 243^\circ$

$Velocitat(z = 230m) = 3.0m/s \rightarrow 6knots$

Pel geopotencial a 150 hPa, s’aplica el mateix procediment:

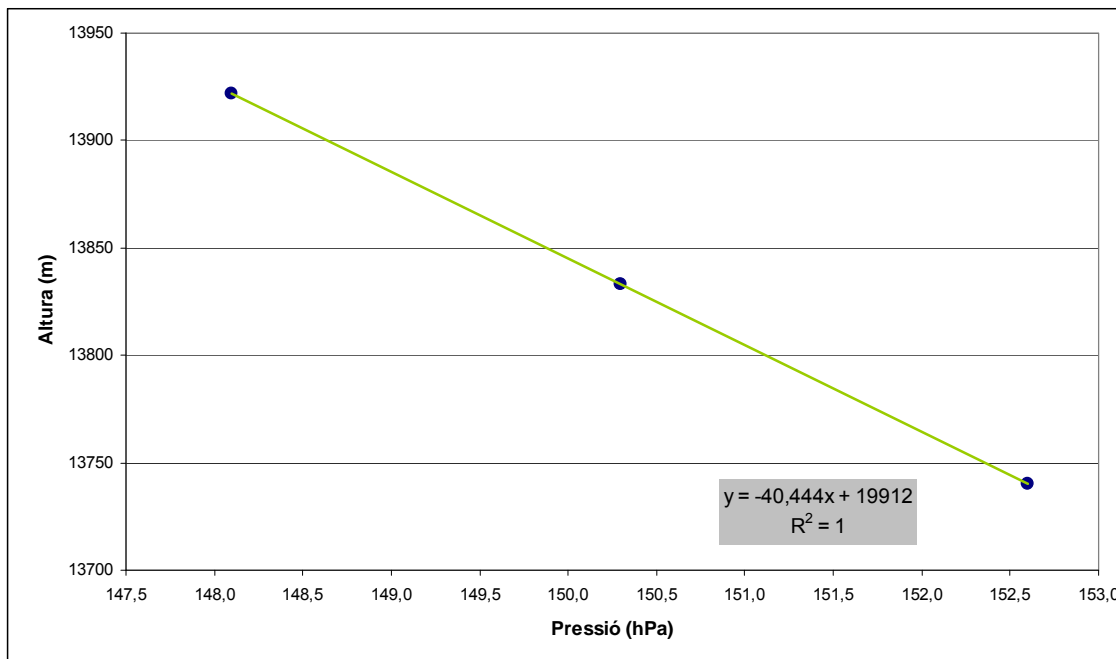


Figura 4.59. Representació gràfica de la variació de l’altura amb la pressió del sondatge 01102900.

Per tant,

$$z(p = 150,0 \text{ hPa}) = 13845 \text{ m}$$

Així doncs, ara ja es pot completar el codi temp:

```
TTAA 79001 08180
99015 19226 27001 00230 18843 24506 92898 17656 27505
85619 15463 32509 70227 02659 33517 50585 16756 33010
40749 29156 32017 30947 451// 32017 25067 541// 30021
20207 609// 31027 15384 631// 31024 10635 609// 00510
```

Figura 4.60. Primera part del fitxer temp del dia 01102900 completat a partir del fitxer text.

En el cas del dia 27 i 28 d’octubre de 2001 en que es detecta un geopotencial superior a 1700 m a 850 hPa, la raó d’aquest resultat es troba en el format següent:

```
TTAA 78122 0818014 22656 20004 00223 20250 21003 92889 14832 25514
85604 14261 31519 70208 02457 29015 50583 16761 29006
40747 27971 2514 30946 447// 25031 25065 549// 25533
88999
77999
```

Figura 4.61. Primera part del fitxer temp del dia 01102812 en que s’observa que el format és incorrecte.

A continuació, es convida al lector a observar breument alguns casos extrems de valors de temperatura, geopotencial o vent detectats en el filtre B1 en alguns nivells estàndards.

- $T = -4.9^{\circ}\text{C}$ (a la superfície isobàrica de 500 hPa)

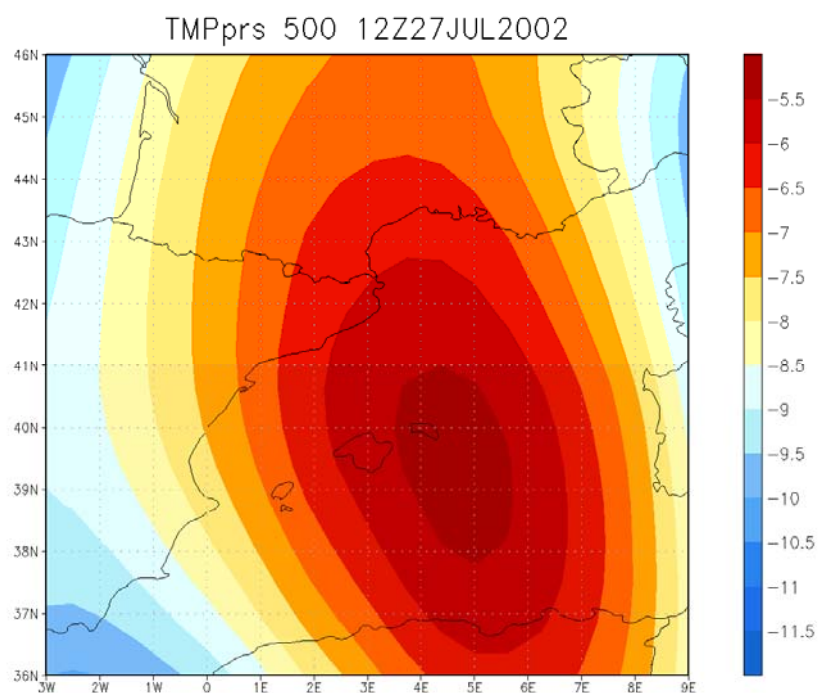


Figura 4.62. Camp de temperatura al nivell de 500 hPa al Mediterrani Occidental el dia 27 de juliol de 2002 a les 12 UTC. S’observa que entre les illes i la costa catalana les temperatures són força més altes en comparació a les zones del voltant (Font: NOAA/NCEP).

- $T = -38.3^{\circ}\text{C}$ (a la superfície isobàrica de 500 hPa)

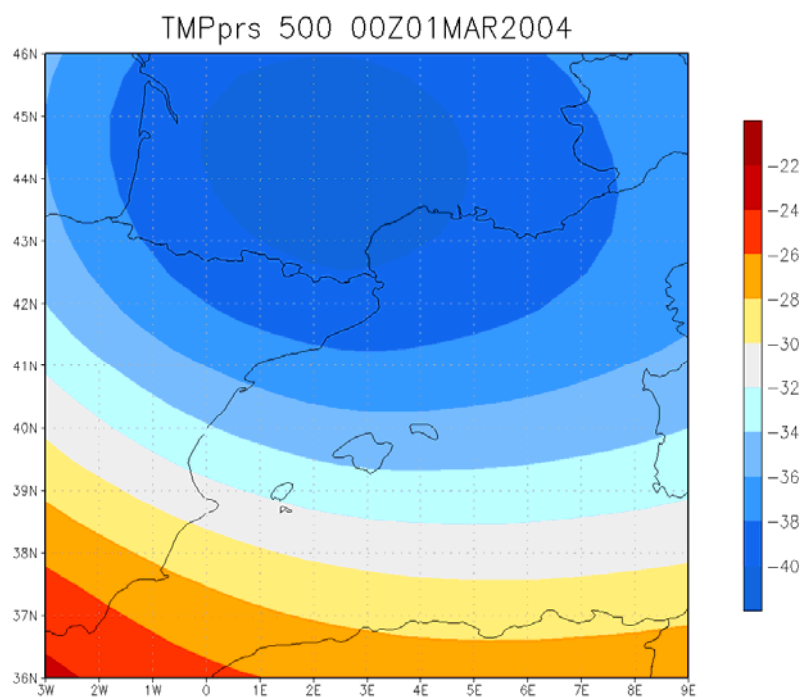


Figura 4.63. Camp de temperatura al nivell de 500 hPa al Mediterrani Occidental el dia 1 de març de 2004 a les 00 UTC. Es comprova que,

efectivament, la temperatura a la vertical de Barcelona i a la mitja troposfera volta els -38°C (Font: NOAA/NCEP).

- $V = 0.0 \text{ m/s}$ (superfície isobàrica de 300 hPa)

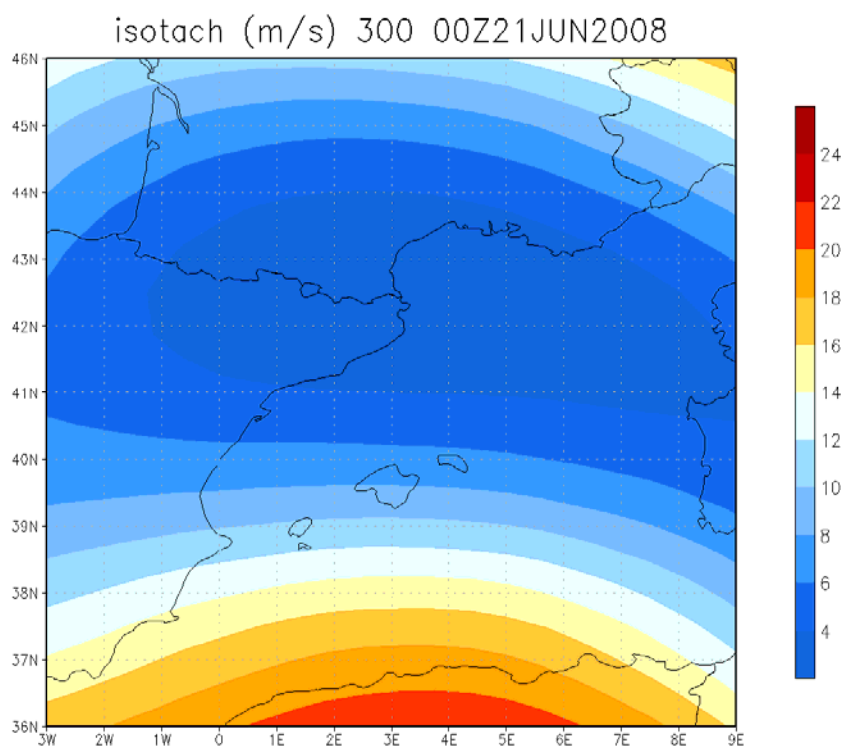


Figura 4.64. Camp d'isotaques al nivell de 300 hPa al Mediterrani Occidental el dia 21 de juny de 2008 a les 00 UTC. Es comprova que, efectivament, la velocitat del vent en aquest nivell és molt baixa (Font: NOAA/NCEP).

- $Z = 1244 \text{ m}$ (superfície isobàrica de 850 hPa)

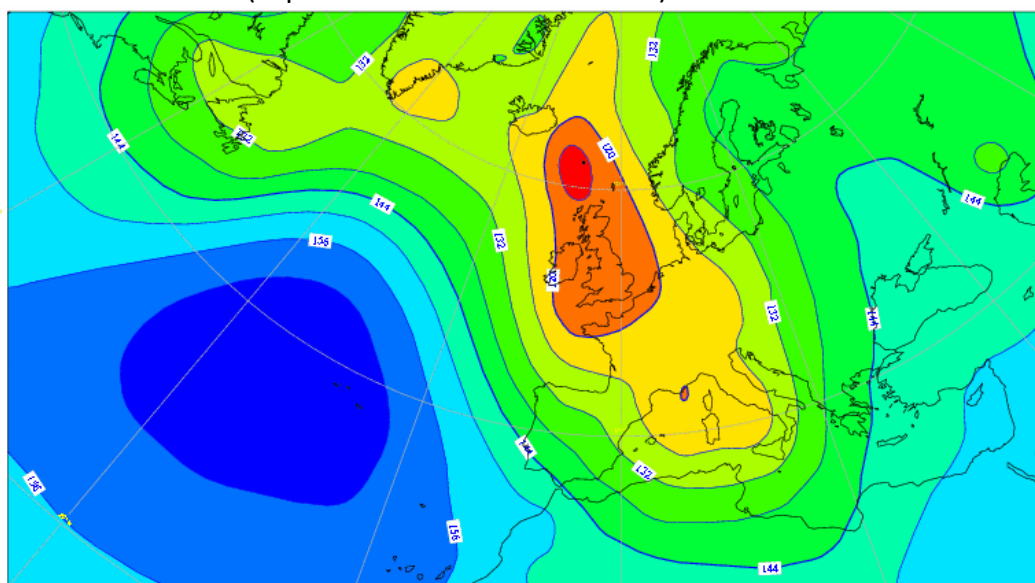


Figura 4.65. Camp de geopotencial a 850 hPa el dia 5 de març de 2009 a les 00 UTC expressat en dam (Font: ERA-ECMWF).

FILTRE B2

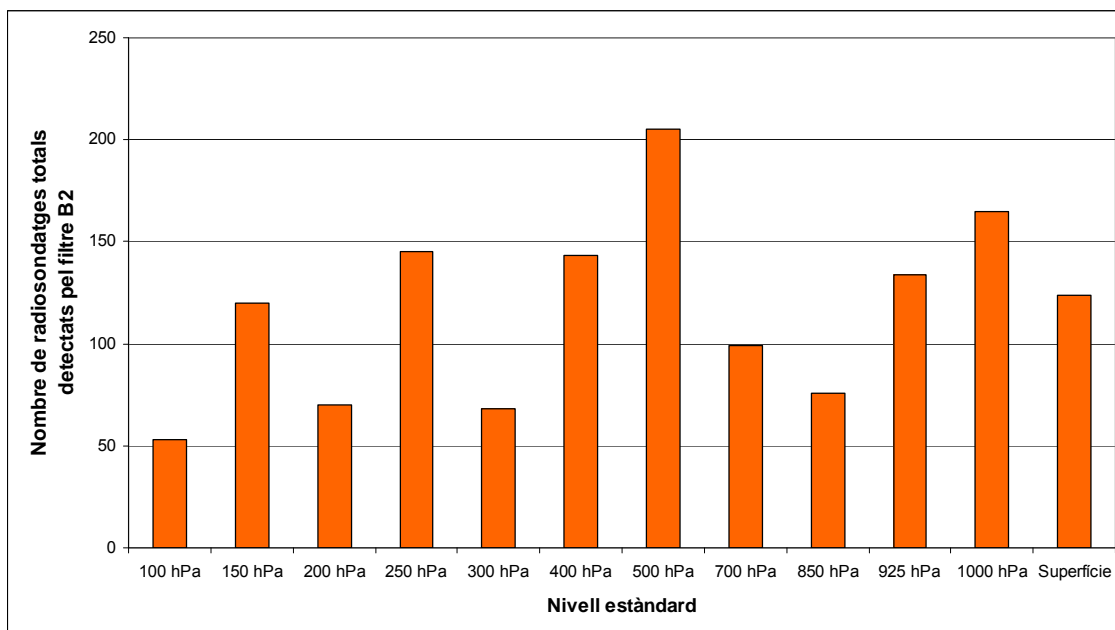


Figura 4.66. Nombre de radiosondatges totals detectats pel filtre B2 segons el diferents nivells estàndards.

En aquest darrer filtre, com els altres, el resultat depèn dels límits o llindars que s’estableix en un principi. Cal dir que la majoria d’observacions que s’han detectat en aquest filtre són com a conseqüència de canvis bruscos de temperatura i geopotencial. A continuació, es mostren alguns exemples.

YYMMDDHH	Z	T	Dw	V
99071200T		8.8		
99080400T	-90			
99080400T		-7.4		
99090412T	90			
00012000T	-140			
00012000T		-8.2		
00042012T	250			
00082012T		10.2		
00092100T	100			
00092812T	-100			
00112900T	-90			
00100112T	90			
00100112T		6.6		
00103100T	-140			
00110300T	-90			
00110400T	90			
00111000T	90			
00111712T				28.3
00112100T	170			
00112100T		6.8		
00112200T	100			
00112212T	-100			
00112300T	-90			
00112312T	-160			

Figura 4.67. Primers radiosondatges detectats pel filtre B2 aplicat al nivell de 400 hPa.

Tot seguit, s’analitzarà breument tres casos en que les variacions brusques de temperatura, velocitat del vent i geopotencial entre 12 hores consecutives són les protagonistes.

- Entre les observacions de les 00 i les 12 UTC del dia 7 de febrer de 2002 s’ha detectat un increment de la temperatura de 16.2°C a 500 hPa.

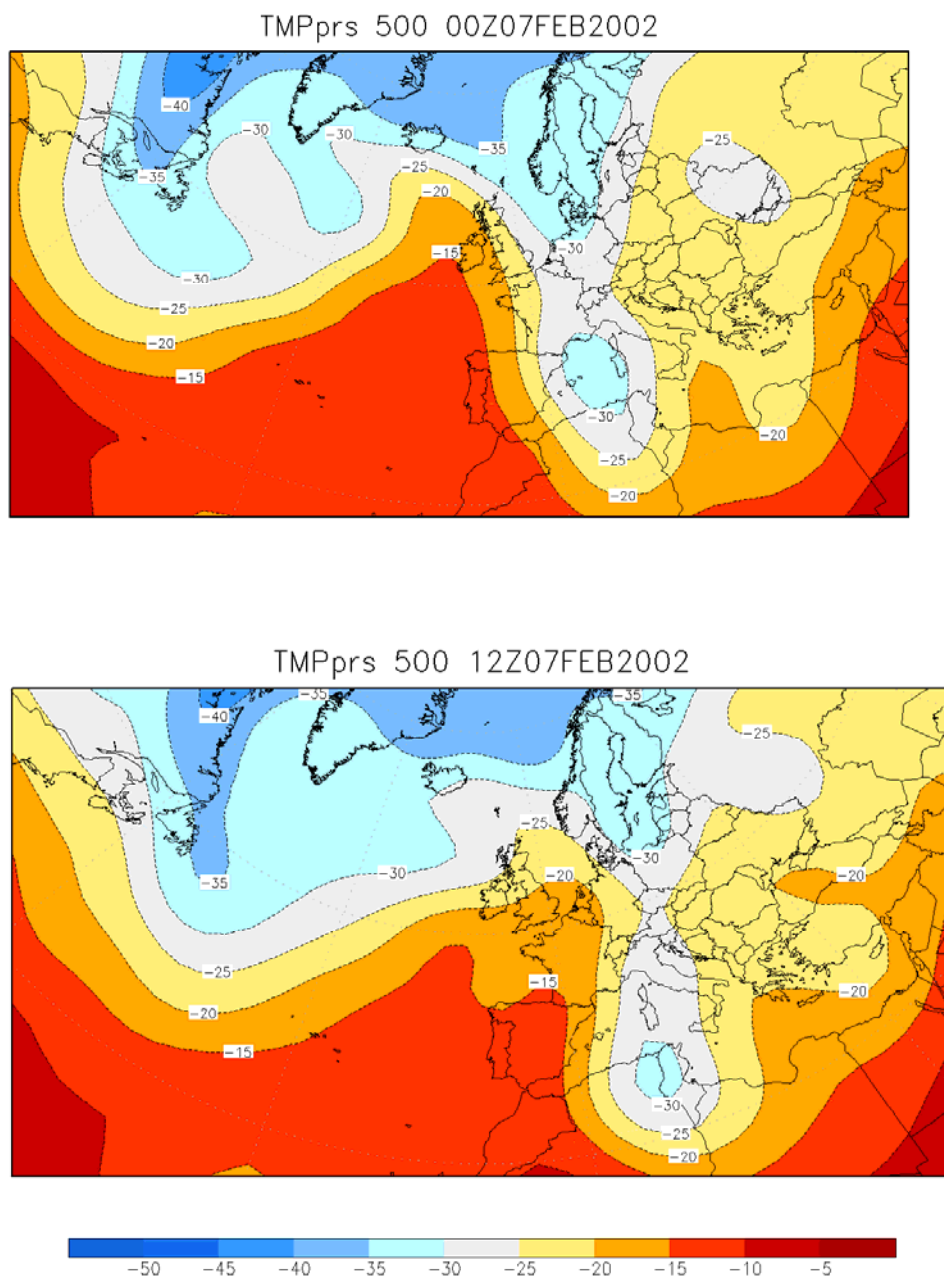


Figura 4.68. Camp de temperatura a 500 hPa el dia 7 de febrer de 2002 a les 00 UTC i 12 UTC. Es pot comprovar com la dorsal penetra ràpidament a la península ibèrica produint un augment considerable de la temperatura a la mitja atmosfera (Font: NOAA/NCEP).

- Sense canviar de superfície isobàrica, s’ha detectat una variació del vent de gairebé 39 m/s (140 km/h) entre les 00 i 12 UTC del dia 18 de gener de 2004.

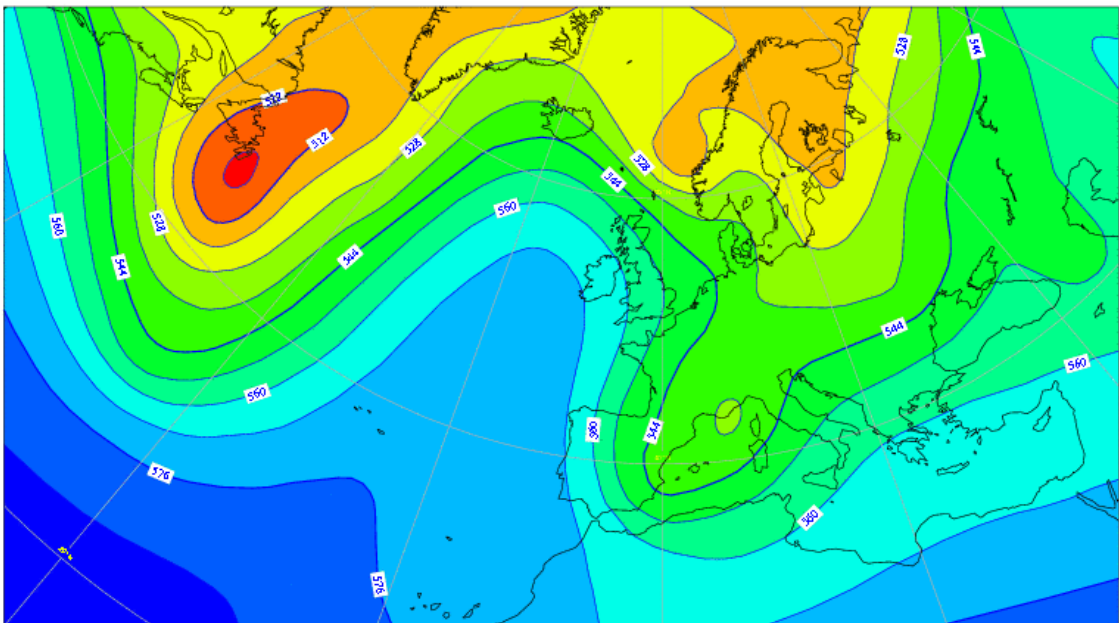
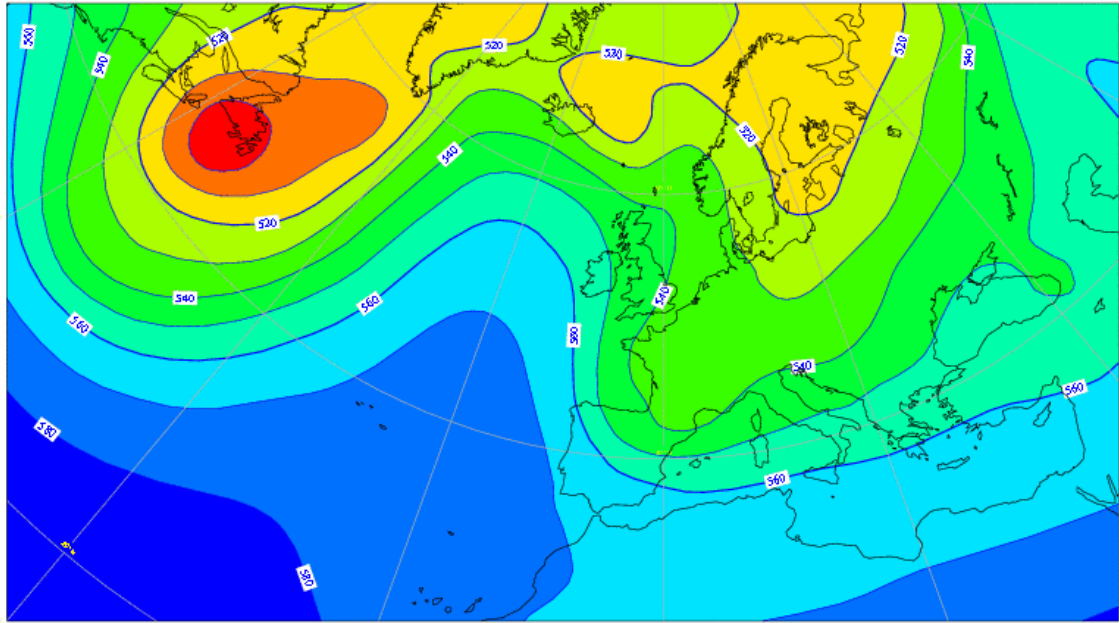


Figura 4.69. Camp de geopotencial a 500 hPa expressat en dam el dia 18 de gener de 2004 a les 00 UTC i 12 UTC. Es pot comprovar que la separació de les isohipses és important³⁴ (Font: ERA/ECMWF).

³⁴ L’aproximació del vent geotròfic a la meitat de l’atmosfera es pot aplicar perfectament. Per això, s’ha representat el geopotencial, en comptes, d’isotaques.

- Finalment, es destaca un cas en que el geopotencial va variar 540 m al nivell de 1000 hPa entre les 12 UTC del dia 24 de gener de 2009 i les 12 hores següents. Aquesta jornada correspon a la forta ventada que va afectar Catalunya provocant nombroses destrosses.

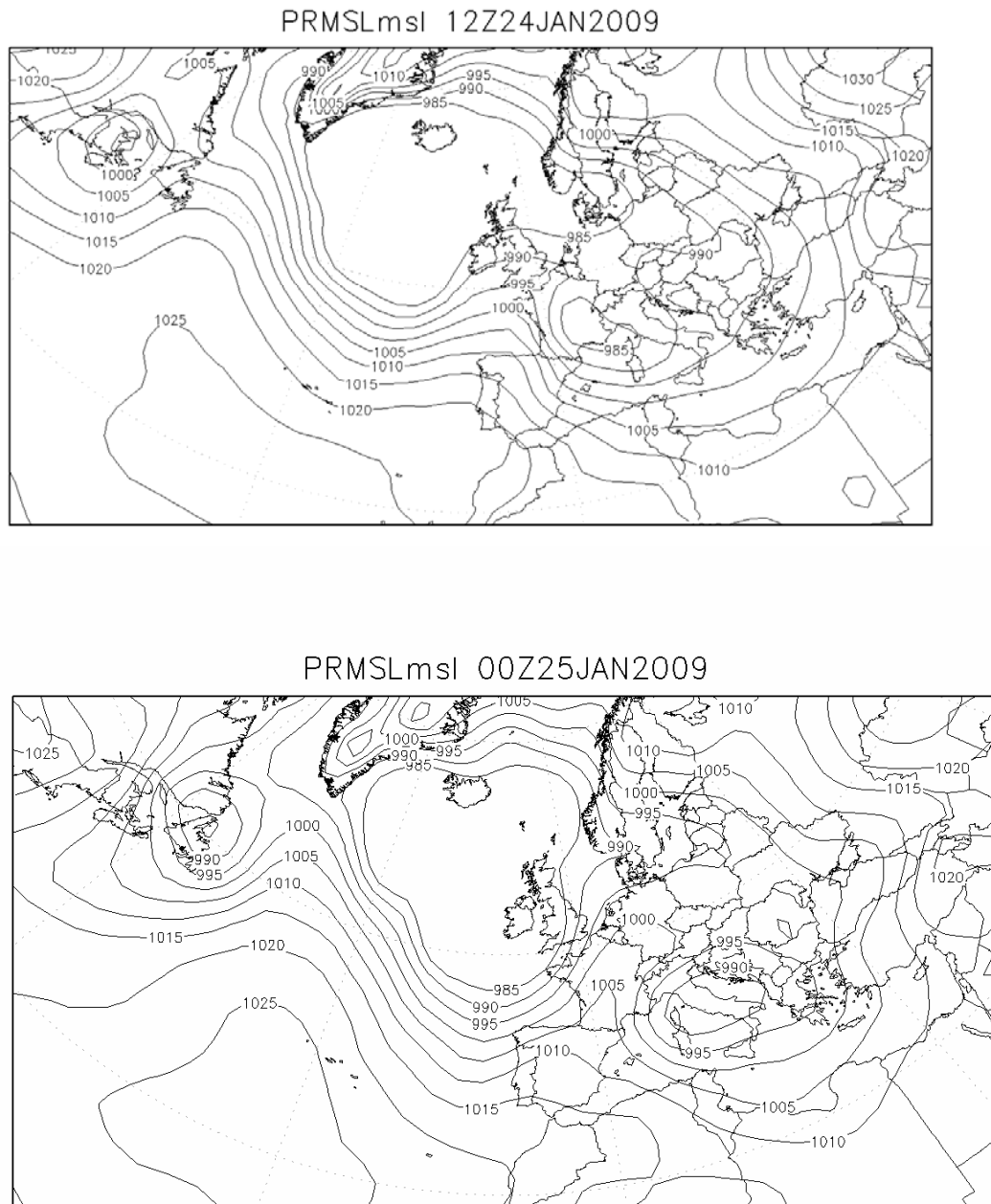


Figura 4.70. Pressió reduïda a nivell del mar a l'Atlàntic i Europa el dia 24 de gener de 2009 a les 12 UTC i 12 hores més tard (Font: NOAA/NCEP).

5. Tractament estadístic

Aquest capítol consisteix en tractar les dades que s’han corregit prèviament mitjançant els filtres del capítol anterior. En primer lloc, s’explica el procediment que se seguirà per tal de complir l’objectiu. A continuació, es troba, per cada nivell estàndard, les mitjanes anuals de temperatura.

Cal tenir present que, per tal que una sèrie climàtica sigui representativa, el nombre de dades necessari per trobar la mitjana a un nivell de significació del 5%, és a dir, interval de confiança del 95%, és aproximadament d’uns 15 anys per la temperatura segons la directiva de l’OMM (Codina, 2009). Per aquest motiu, encara és aviat per parlar de la sèrie del radiosondatge de Barcelona, com a sèrie climàtica.

5.1. Procediment

En aquesta secció es treballarà exclusivament amb els fitxers de codi *temp* i, concretament, amb la primera de les quatre parts, que conté els valors de les variables per tots els nivells estàndards fins a 100 hPa. El fet d’utilitzar aquest codi, que recordem que és enviat internacionalment, facilita la feina ja que permet conèixer de forma directa, un cop s’ha descodificat, els valors de les variables en aquestes superfícies isobàriques. No obstant, els errors d’arrodoniment hi són presents. Tot seguit, es mostra un exemple d’aquest tret característic del codi *temp*:

38	24	4.5	12263	200.5	-49.6	3	-76.1	307	27.7	2.5	41.2
38	26	3.9	12271	200.2	-49.7	3	-76.1	307	27.7	2.5	41.2
38	28	4.2	12279	200.0	-49.8	3	-76.0	307	27.6	2.5	41.2
38	30	4.1	12288	199.7	-49.8	3	-75.9	308	27.6	2.5	41.2
38	32	4.0	12296	199.5	-49.9	3	-75.8	308	27.5	2.5	41.2

Figura 5.1. Petita part del radiosondatge realitzat el 6 d’agost de 2010 a les 12 en el codi *text*.

A partir d’aquest arxiu es pot afirmar que en el nivell estàndard de 200.0 hPa, les variables representades en el *temp* prenen els següents valors:

T = -49.8°C	T _d = -76.0°C	U = 27.6 m/s
Z = 12279 m	D = 307°	

100806 12:00

TTAA 56121 08190

99005 25258 24504 00145 22058 21510 92816 16038 23513

85529 10622 25519 70132 06675 32015 50581 09963 30529

40750 20977 29542 30955 36377 29552 25079 43173 29554

20228 49976 30554 15412 59774 31542 10663 60779 34522

88132 61974 32534

77999

31313 48008 81120=

Figura 5.2. Primera part del fitxer *.tem* de la mateixa observació que la figura anterior.

La informació que s’obté amb aquest altre fitxer és la següent:

T = -49.9°C DD = 26.0°C → T_d = -75.9°C
Z = 12280 m D = 305° U = 54 knots → U = 27.8 m/s

Per tant, existeix una petita discrepància en totes les variables. La raó, com ja s’ha avançat, és l’arrodoniment que es necessita en els *temp*. Per exemple, la precisió del geopotencial és d’una desena de metres (per a pressions entre 250 i 100 hPa), la direcció del vent ha de ser múltiple de 5, com la temperatura és negativa la dècima ha de ser senar (per això, en el *temp* no surt 498), etc. Tot i així, els errors que es cometien són petits:

Temperatura

La precisió amb la que es mesura aquesta variable és decimal, que és justament l’arrodoniment que s’ha d’aplicar en el *temp*. Recordem que si la temperatura és positiva, la xifra decimal ha de ser parell i viceversa en el cas contrari. Per tant, una temperatura de 22.3°C en el missatge *temp* es llegirà com 22.2°C o 22.4°C. Si es treballa amb temperatura absoluta, l’error comès és tan sols de l’ordre de 0.03%.

Geopotencial

Aquesta variable s’expressa en metres fins a 700 hPa i en decàmetres a partir de 500 hPa. En el següent cas, que correspon al més desfavorable, es comprova que l’error es totalment negligible:

$$\varepsilon = \frac{5505 - 5500}{5505} \times 100 \approx 0.09\%$$

Direcció del vent

La procedència del vent en el codi *temp* ha de ser múltiple de 5, és a dir, l’error d’arrodoniment en aquest cas són 5°.

$$\frac{5^\circ}{360^\circ} \times 100 \approx 1\%$$

Velocitat del vent

El mòdul del vent ve expressat en unitats de nusos en el codi *temp* ja que se li ha sumat 50 unitats al dia del mes que s’ha realitzat l’observació.

```
100120 00:00
TTAA 70001 08190
99004 11820 28001 00131 10817 00000 92777 07408 30014
85473 05017 29522 70032 04156 30514 50561 20382 29532
40721 33564 30036 30918 47170 30052 25036 56162 30555
20175 63557 30552 15356 53783 28540 10615 56782 27538
88204 63757 30552
77120 28559 41720
31313 48008 82317=
TTBB 70008 08190
00004 11820 11966 08400 22926 07408 33903 08020 44818
```

Figura 5.3. Encapçalament i primera part del fitxer *temp* d’un dia qualsevol. En particular, correspon al dia 20 de gener de l’any 2010. Se sap que el vent està expressat en nusos perquè les dues primeres xifres després de TTAA correspon al dia del mes (20+50=70).

Es recorda que la conversió de nusos a metres per segon és la següent:

$$1 \text{ nus} = 0.5144 \text{ m/s}$$

Per tant, en aquest cas no hi ha cap arrodoniment ja que la precisió és d'unitats de nusos.

Per tal de fer el tractament estadístic d'aquestes dades s'ha hagut de recórrer a llenguatge de programació (perl i C) que, en primer lloc, descodifiqui el fitxer temp en un format llegible i, posteriorment, que llegeixi les dades dels diferents nivells estàndards per separat. És a dir, el que s'ha fet per cada any de dades és crear 12 fitxers (11 nivells estàndards + superfície) on es troben les dades meteorològiques consecutives cada 12 hores. Aleshores, primer se'ls ha aplicat els filtre B1 i B2 comentats a la secció anterior.

5.2. Sèrie meteorològica 2000-2009

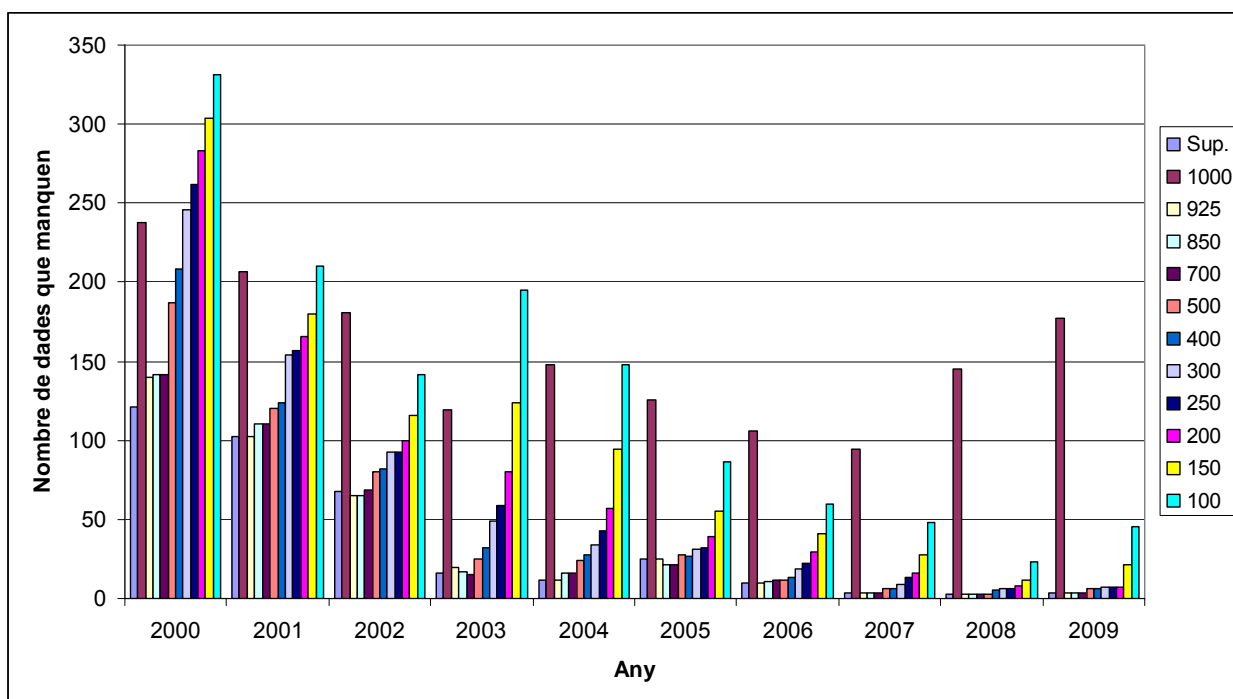


Figura 5.4. Nombre de dades que manquen en els fitxers temp segons el nivell i l'any. Cal tenir present que al llarg d'un any “normal”³⁵ el nombre d'observacions és 730.

A la figura anterior s'observa que durant els primers anys de radiosondatge no és res estrany que el globus no assoleixi els 100 hPa. Un altre motiu pel qual hi manquen dades, pot ser que el radiosondatge estigui incomplet o bé simplement que no es va realitzar l'observació. D'altra banda, el fet que hi manquin tantes dades del nivell de 1000 hPa és perquè a vegades es troba per sota de l'altura de l'estació i, per això, en el temp només s'enregistra el geopotencial.

³⁵ S'ha emprat aquest adjectiu, tan limitat en el món de la meteorologia, en referència a un any en que no s'han realitzat observacions extres com el projecte MEDEX de la tardor de l'any 2009 o durant el núvol de cendres provocat pel volcà islandès la primavera de 2010.

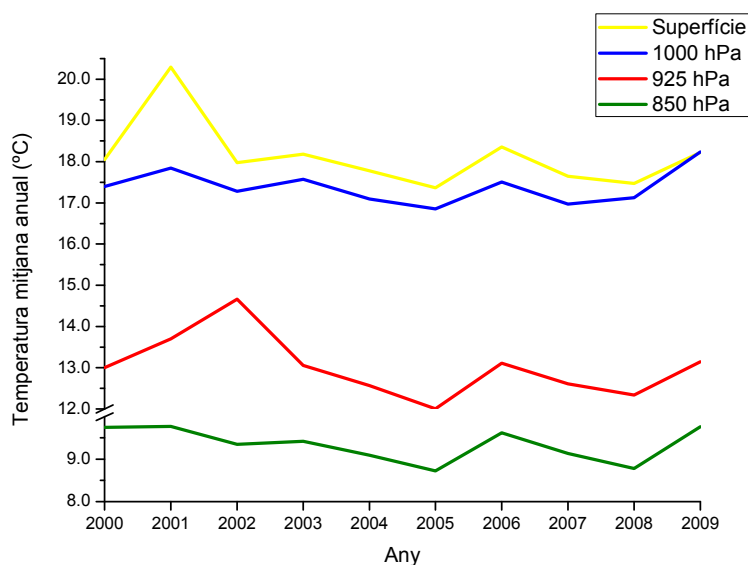
100308 12:00

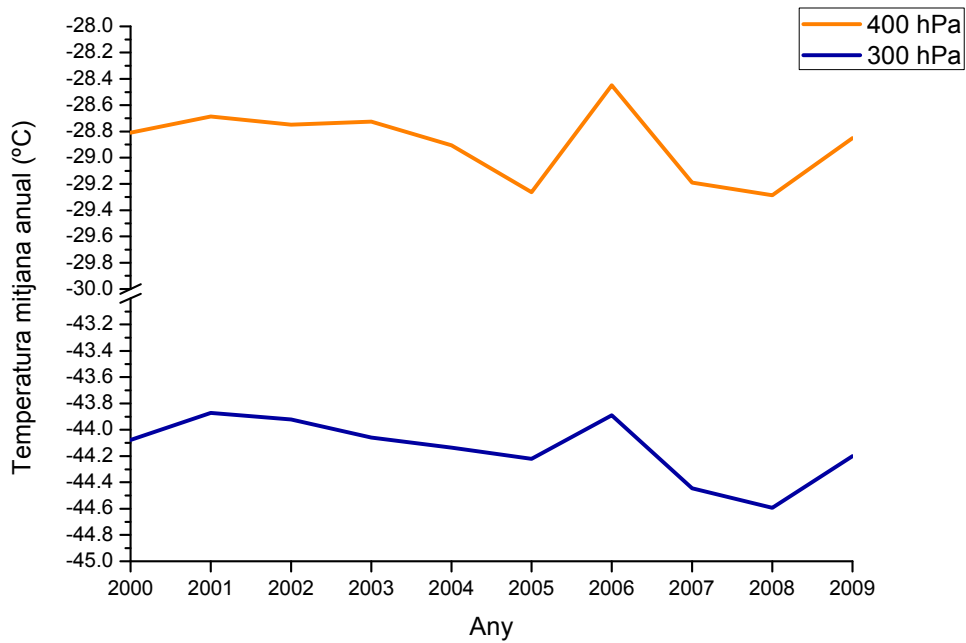
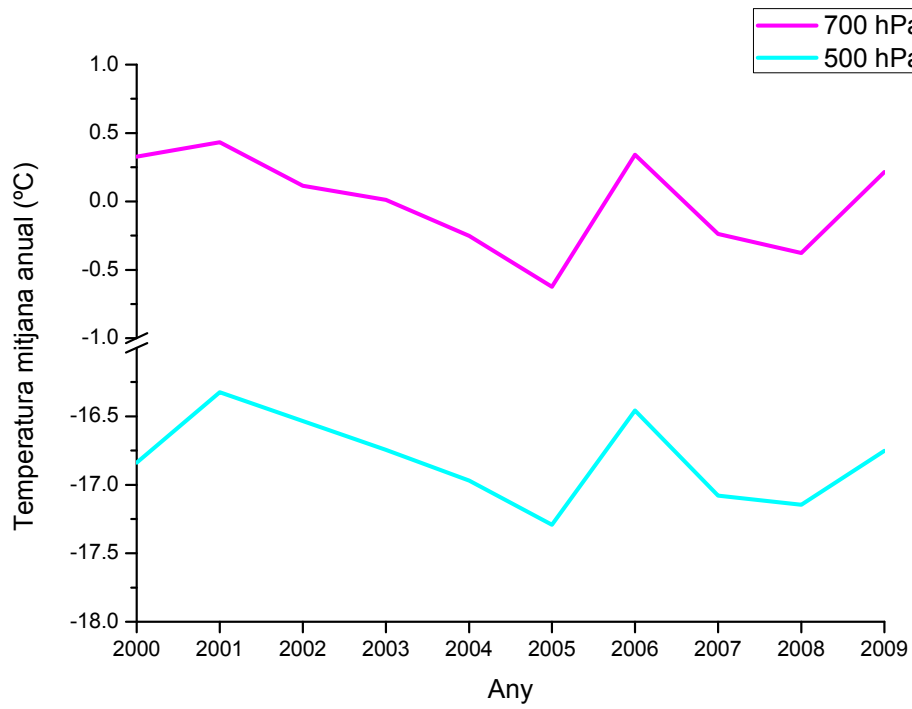
TTAA 58122 08190
 99993 01005 28514 00038 // // // // // 92663 00240 35017
 85334 04514 04524 70846 12748 23516 50533 29990 24508
 40689 37988 20019 30883 45185 24040 25005 44586 28540
 20153 49184 27540
 88306 45985 22040
 77999
 31313 48008 81226=

Figura 5.5. Primera part del fitxer temp del dia 8 de març de 2010, en que la superfície isobàrica de 1000 hPa es trobava a 38 m (la pressió a l'altura de l'estació era de 993 hPa).

Any	98 m	1000 hPa	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	400 hPa	300 hPa	250 hPa	200 hPa	150 hPa	100 hPa
2000	18,1	17,4	13,0	9,7	0,3	-16,8	-28,8	-44,1	-52,2	-57,6	-59,1	-61,2
2001	20,3	17,8	13,7	9,8	0,4	-16,3	-28,7	-43,9	-51,9	-57,5	-58,4	-60,6
2002	18,0	17,3	14,7	9,3	0,1	-16,5	-28,7	-43,9	-51,9	-57,2	-57,9	-60,0
2003	18,2	17,6	13,1	9,4	0,0	-16,7	-28,7	-44,1	-51,8	-57,8	-58,3	-60,3
2004	17,8	17,1	12,6	9,1	-0,3	-17,0	-28,9	-44,1	-51,9	-57,0	-58,2	-60,5
2005	17,4	16,9	12,0	8,7	-0,6	-17,3	-29,3	-44,2	-52,1	-57,3	-58,2	-60,2
2006	18,4	17,5	13,1	9,6	0,3	-16,5	-28,4	-43,9	-52,4	-58,3	-58,5	-60,7
2007	17,6	17,0	12,6	9,1	-0,2	-17,1	-29,2	-44,4	-52,3	-57,3	-58,3	-60,6
2008	17,5	17,1	12,3	8,8	-0,4	-17,1	-29,3	-44,6	-52,5	-57,1	-57,8	-60,7
2009	18,2	18,2	13,1	9,8	0,2	-16,8	-28,9	-44,2	-52,1	-57,6	-58,5	-60,3
V.MITJA*	18,1	17,4	12,9	9,3	-0,1	-16,8	-28,9	-44,1	-52,1	-57,4	-58,2	-60,4
σ	0,8	0,4	0,7	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3

Taula 5.1. Temperatura mitjanes anuals en graus centígrads per cada nivell estàndard i valor mig i desviació estàndard de les mateixes.





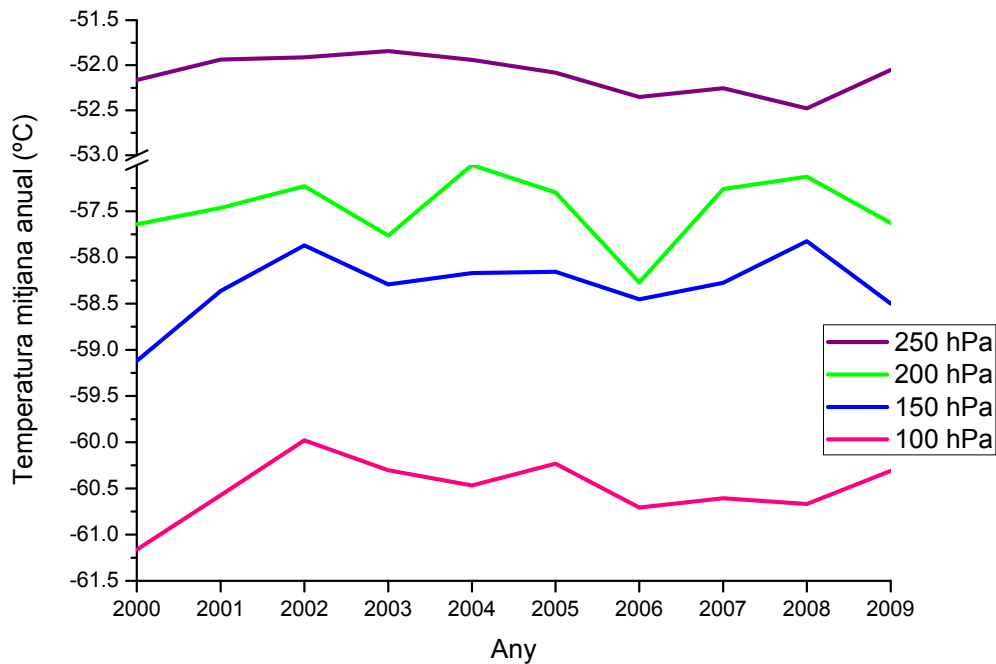
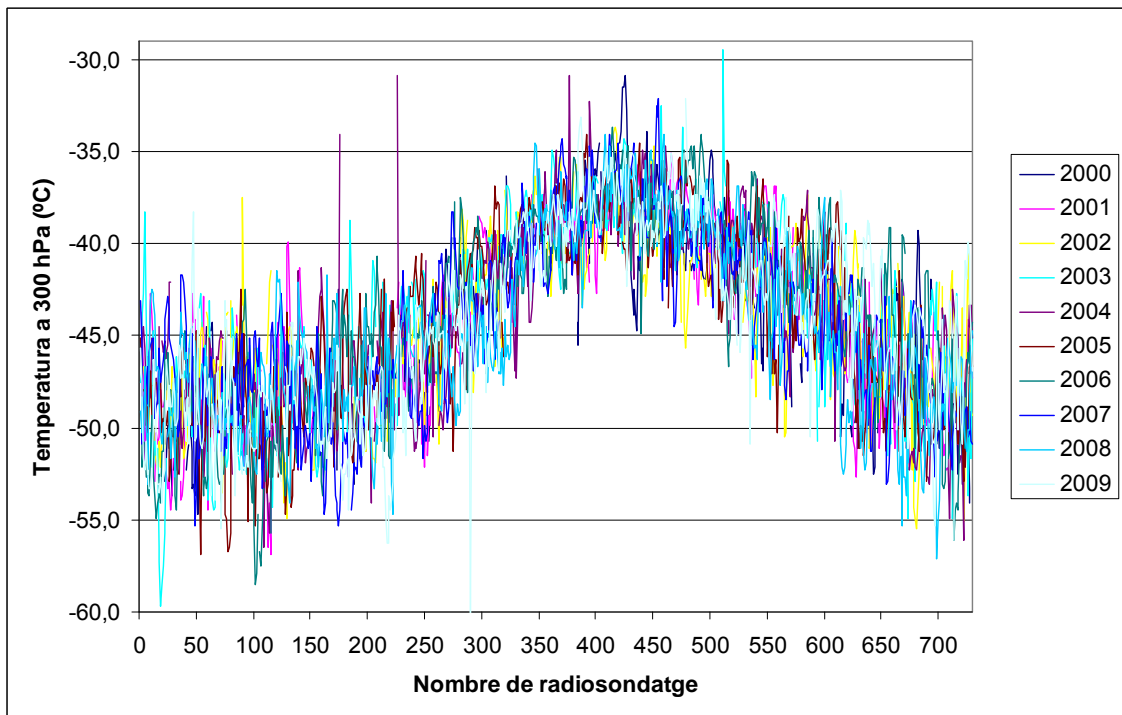
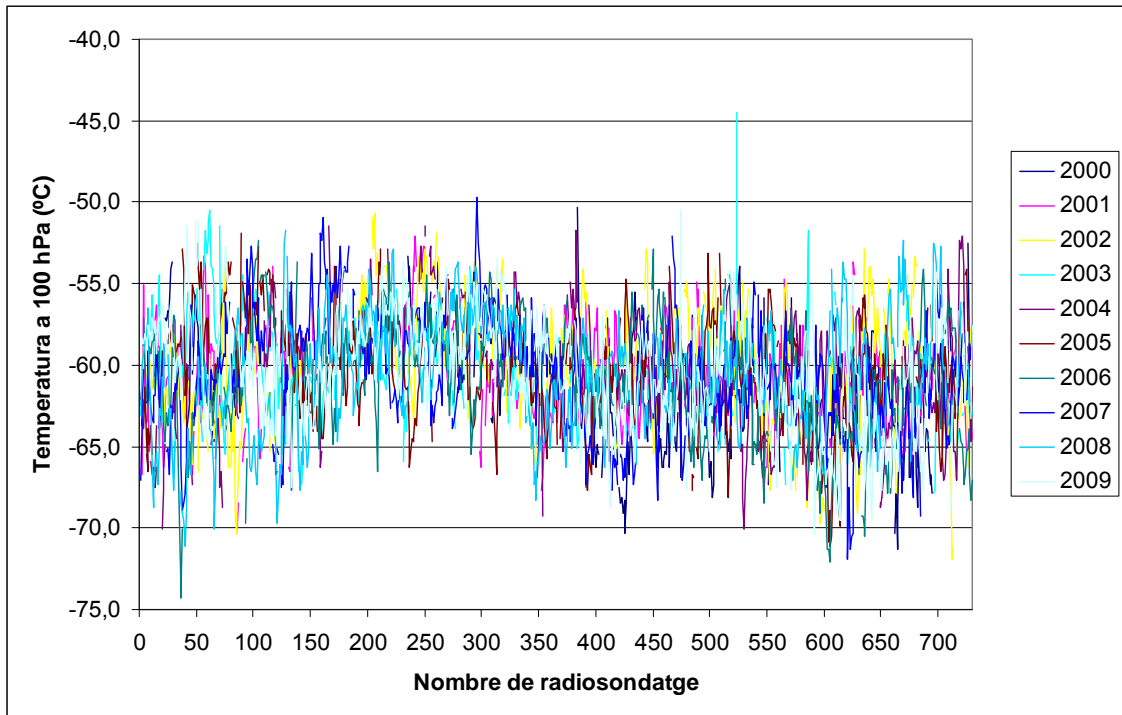


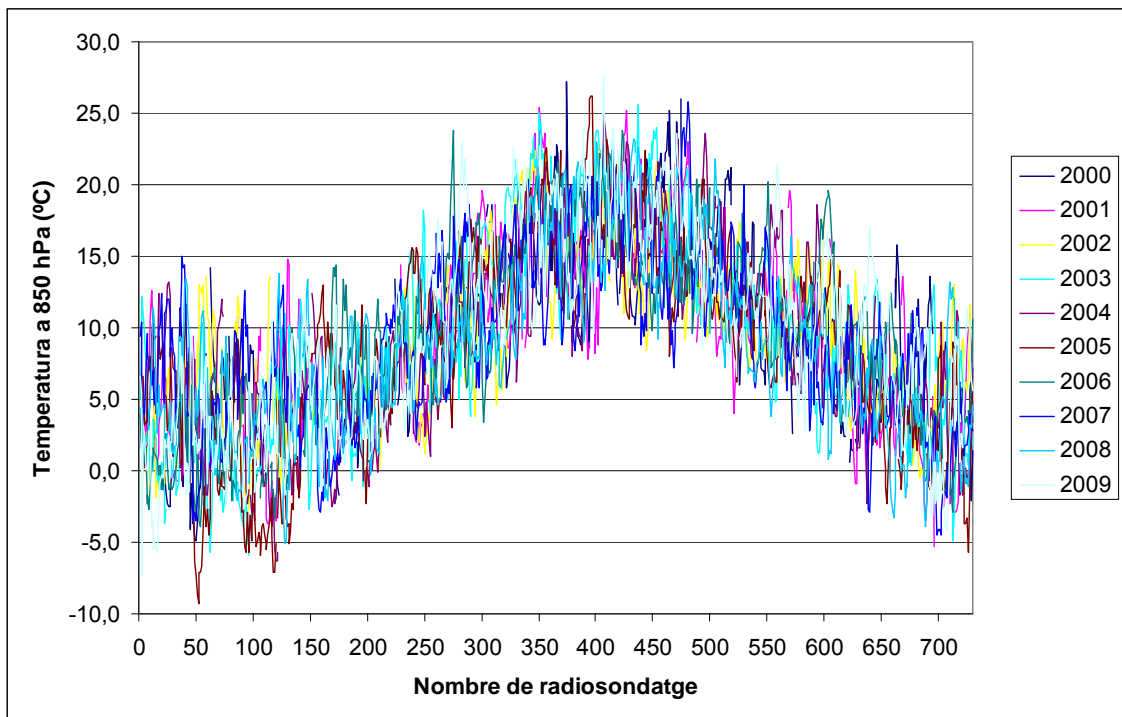
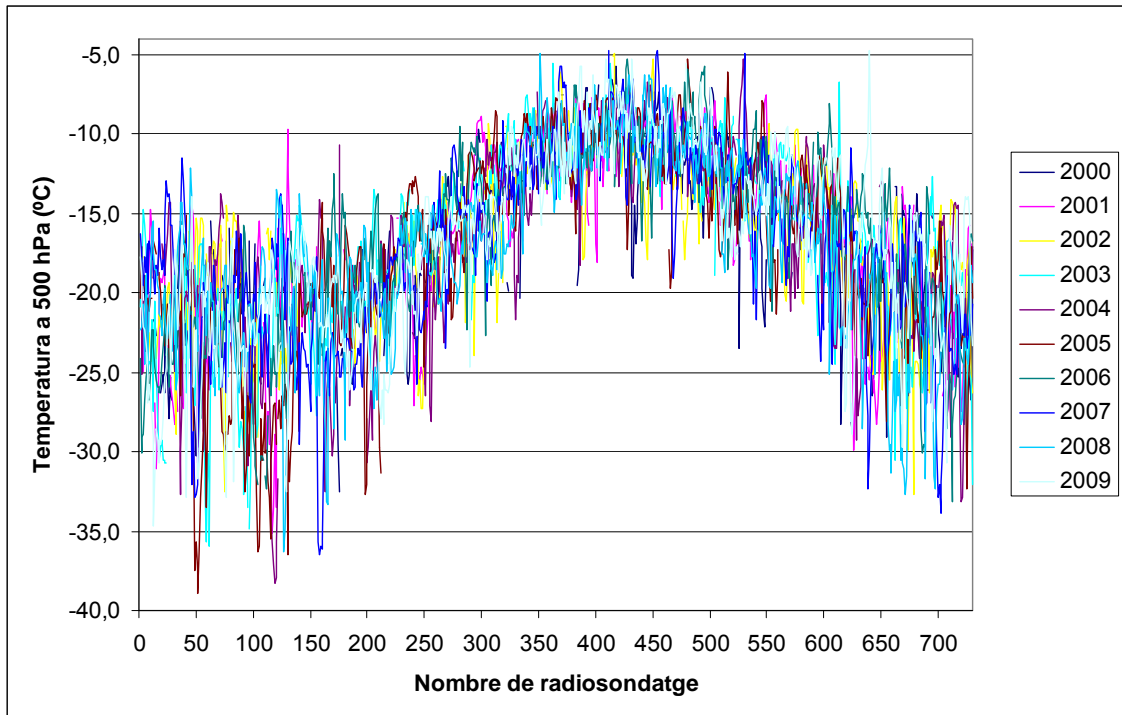
Figura 5.6. Representacions gràfiques de la temperatura mitjana anual per tots els nivells estàndards.

El fet que hi manquin dades (a vegades, durant 10 dies seguits en el període d'hivern d'un any i una altra tongada d'un altre any en l'estació estiuenca) fa que els valors mitjans que s'han calculat no siguin del tot fiables. No obstant, en general, no s'observa cap tendència significativa en els darrers 10 anys. Tret de la darrera gràfica, les altres línies segueixen bastant bé un patró. Per exemple, l'any 2005 sembla que la temperatura disminueix a tots els nivells, excepte a la baixa estratosfera en que augmenta lleugerament (tal com és d'esperar).

“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”



“10 anys de radiosondatge de Barcelona: control de qualitat de dades”



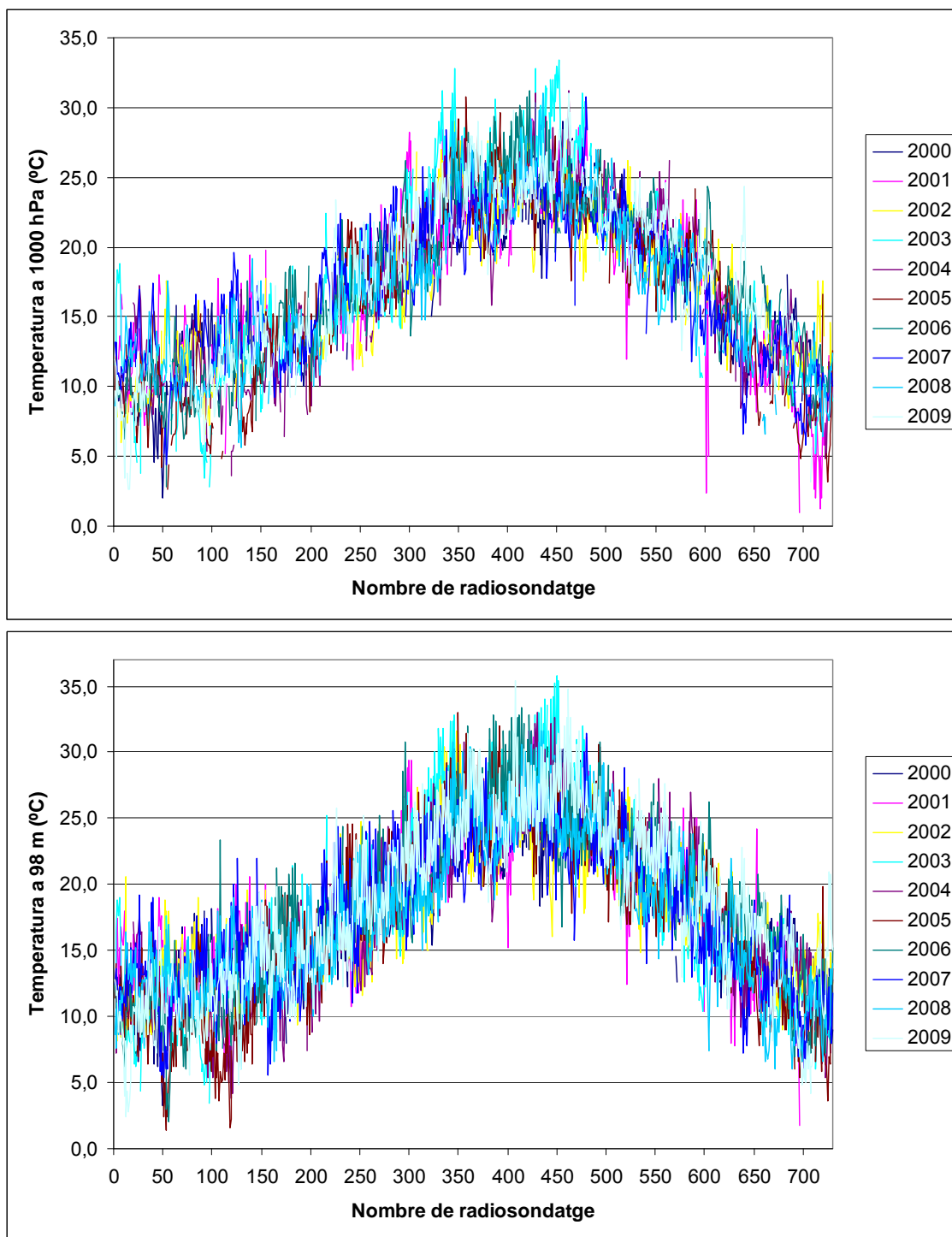


Figura 5.7. Representacions gràfiques de la temperatura enregistrada a cada observació per tots els anys. Un any complet implica 730 observacions.

Tots els *outliers* que s’observen han estat validats. Es convida al lector a seguir amb el següent capítol, íntimament lligat a aquest.

6. Reanàlisi

El *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP) i *National Center for Atmospheric Research* (NCAR) han estat cooperant en un projecte anomenat reanàlisi amb la finalitat de produir mesures retroactives de més de 50 anys d’anàlisi de camps atmosfèrics. Aquesta tasca s’ha elaborat a partir de la recuperació d’estacions de superfície, mar, radiosondatges, avions, satèl·lits i altres dades. Totes aquestes dades van ser controlades i validades amb un sistema d’assimilació de dades que ha romàs sense canvis durant tot el període de reanàlisi (Kistler et al. 2001).

Aprofitant aquestes dades de reanàlisi, el que es pretén en aquesta darrera secció és comprovar fins a quin punt aquestes reanàlisi són fiables. A més, en el marc de l’escalfament global que s’està experimentant s’estimarà en quina intensitat està afectant a l’atmosfera lliure.

6.1. Procediment

Tal com s’ha fet referència en el primer capítol, el fet que les dades de radiosondatge de Barcelona no hagin format part de la xarxa internacional de l’OMM ha generat un gran avantatge que dóna peu a aquest capítol. Ens referim al fet que es pot comparar aquests darrers 10 anys de dades reals sobre el perfil vertical de la nostra ciutat amb les dades de reanàlisi que ofereix NCEP/NOAA que han estat interpolades pels radiosondatges de la nostra zona geogràfica.

Així doncs, es representarà les gràfiques de temperatura a diferents nivells estàndards seleccionant l’interval de latitud 41.3° - 41.5° i de longitud 2.0° - 2.2° .

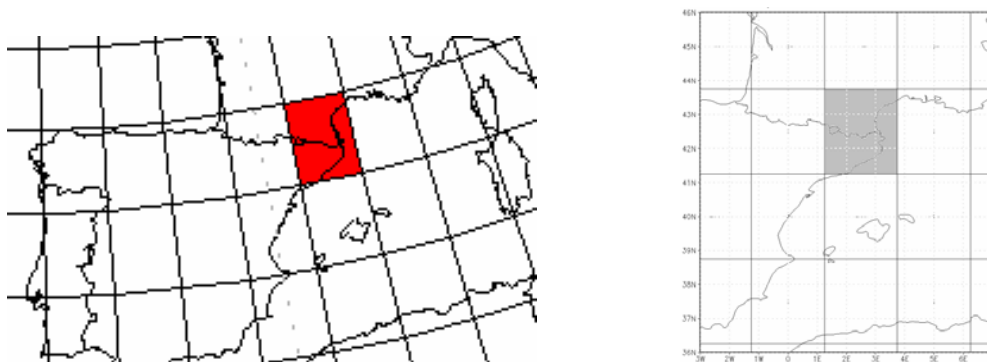
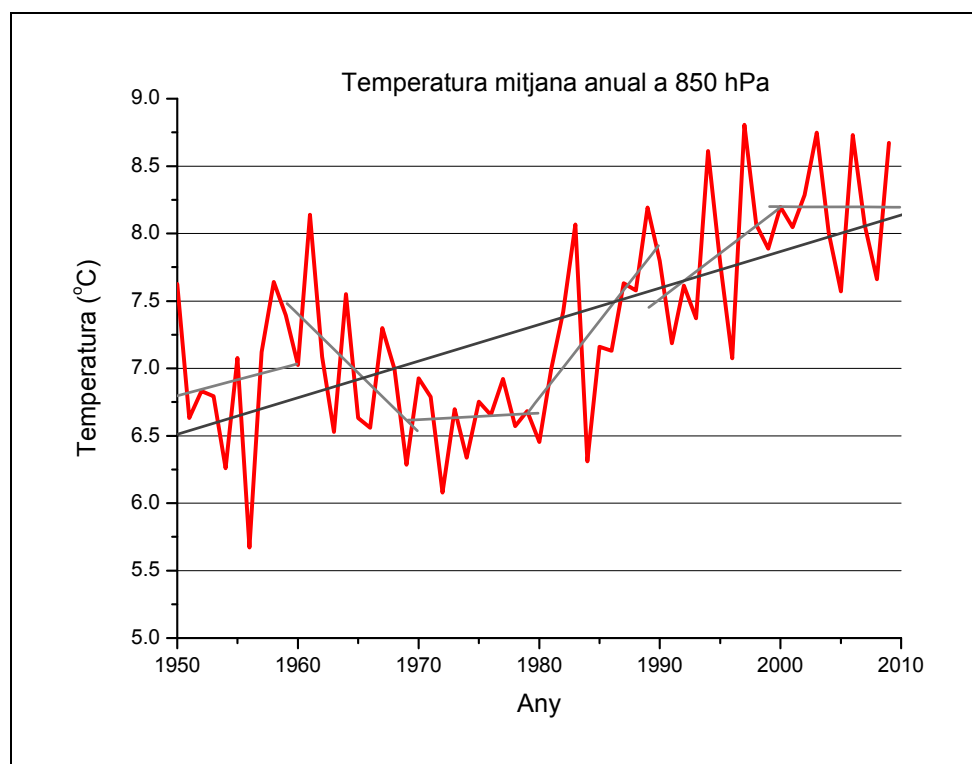
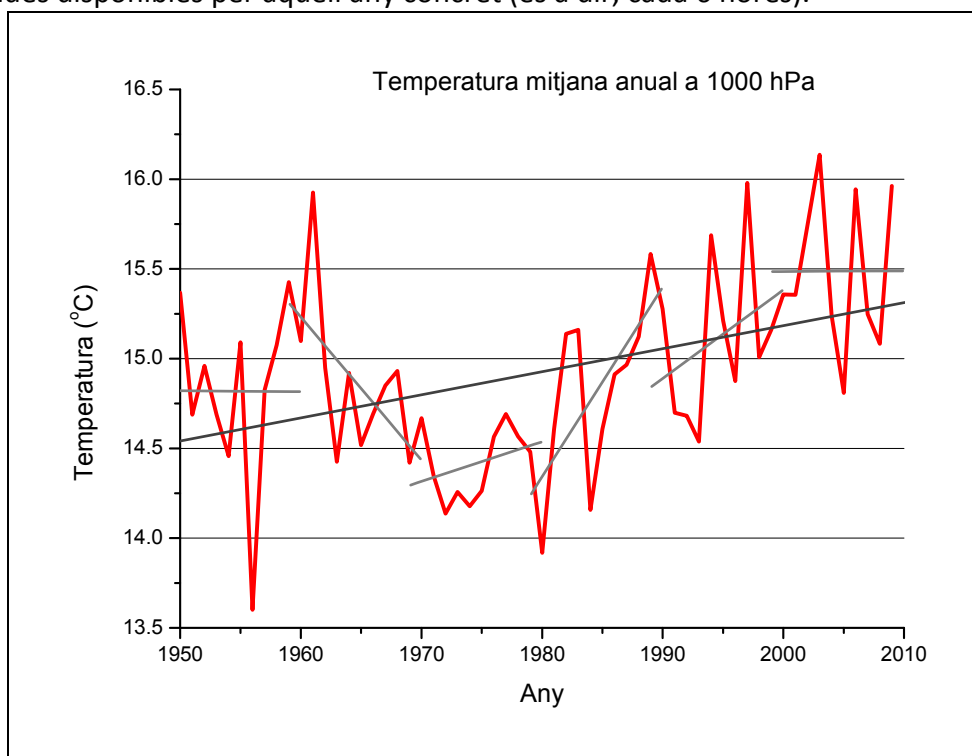


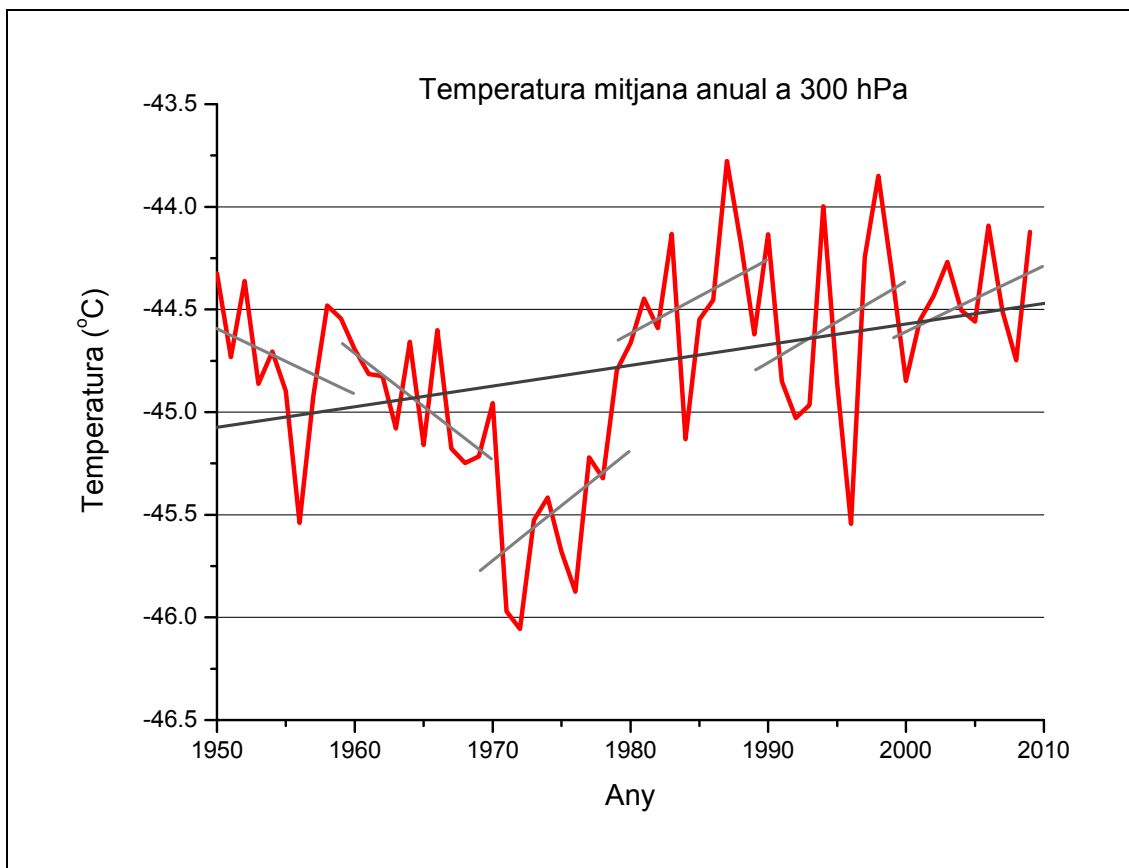
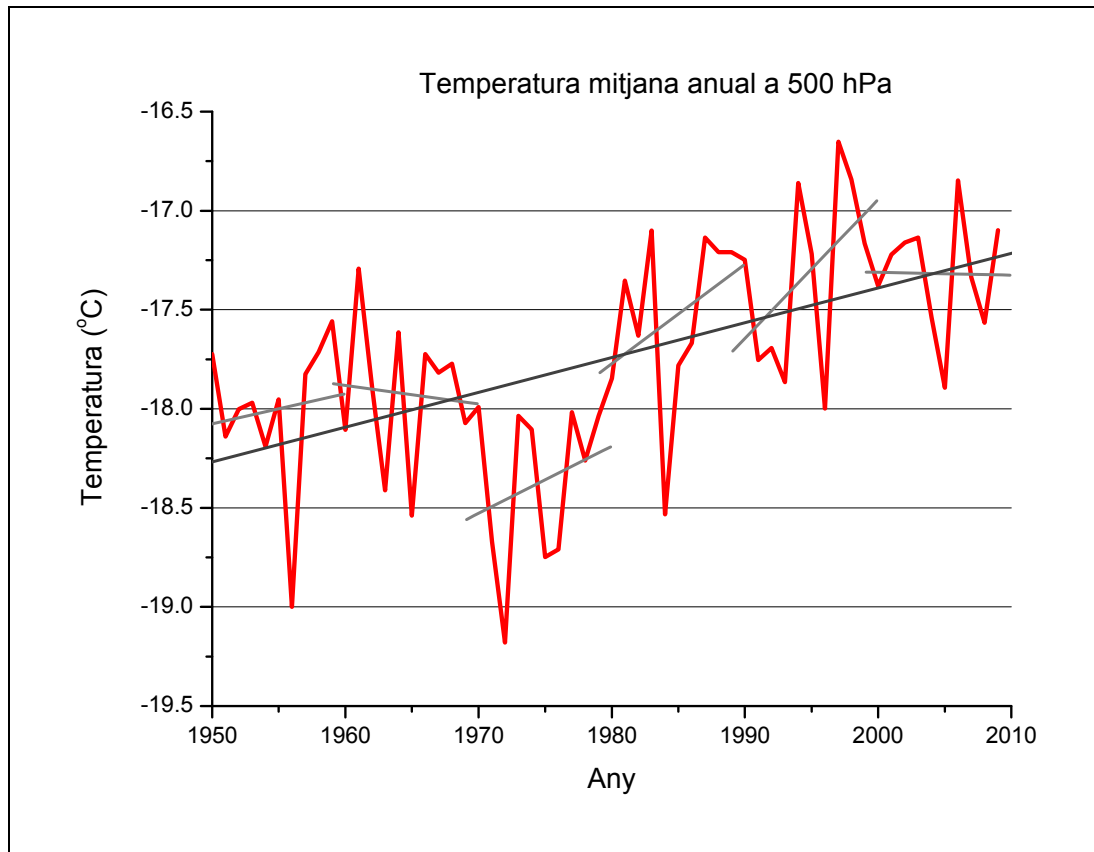
Figura 6.1. Línies de *grid* establertes en els mapes de reanàlisi de NCEP-NOAA al voltant de la nostra àrea geogràfica (Font: NCEP/NOAA).

Així doncs, cal tenir en compte les coordenades de l’indret d’interès a l’hora de cercar el valor de qualsevol variable. Per exemple, en el cas de Barcelona, si se selecciona una latitud lleugerament més cap al sud els valors de les variables canvien ja que aquests són mesurats pel radiosondatge de Palma.

6.2. Resultats

Tot seguit es presenten les gràfiques de temperatura per diferents nivells estàndards obtingudes a partir de reanàlisi per les coordenades geogràfiques de Barcelona. Cal tenir en compte que les mitjanes anuals s’han calculat a partir de totes les dades disponibles per aquell any concret (és a dir, cada 6 hores).





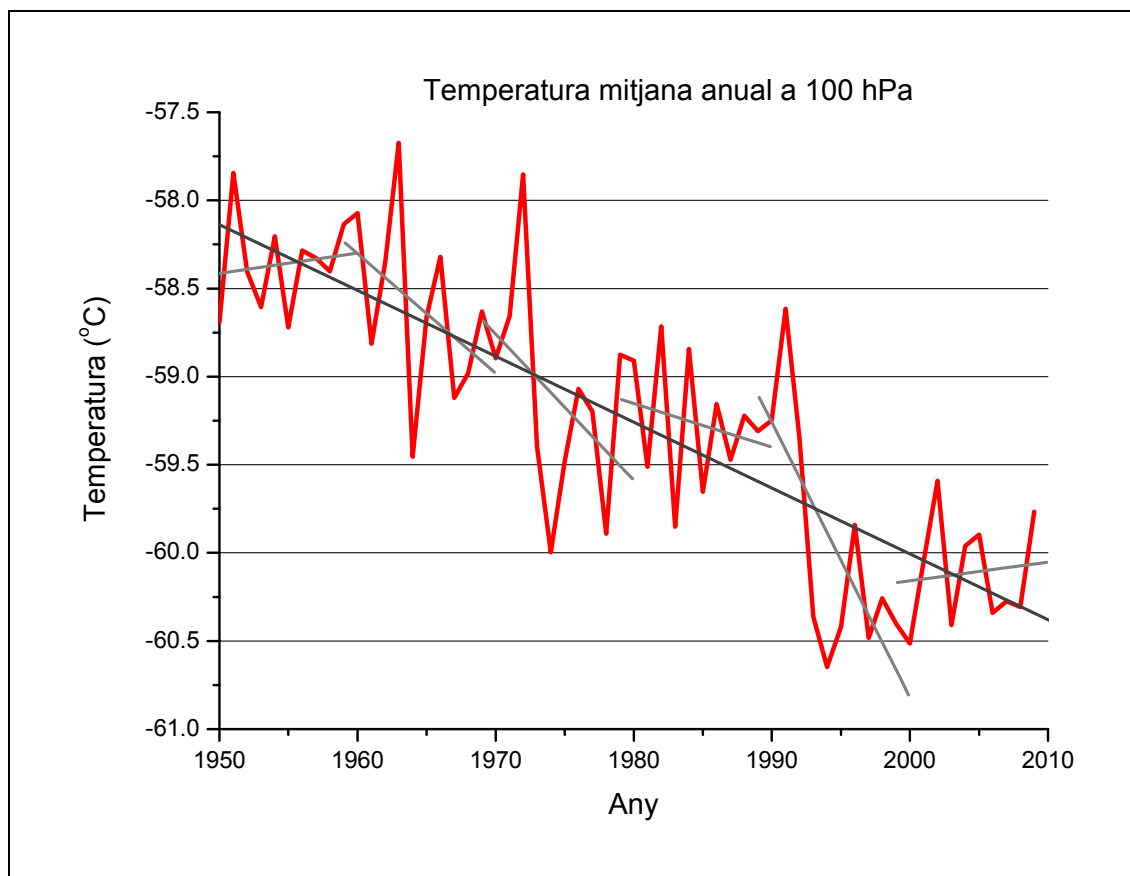


Figura 6.2. Temperatures mitjanes anuals des de 1950 a 2009 amb mitjanes decadals amb reanàlisi NCEP-NOAA de l'àrea de Barcelona pels nivells estàndards 1000, 850, 500, 300 i 100 hPa (Font dades: NCEP/NOAA).

Nivell estàndard	Recta de regressió	Coefficient de correlació	Temperatura mitjana	Desviació estàndard
1000 hPa	$y = (-10 \pm 7) + (0.013 \pm 0.004)x$	$R = 0.42$	$T = 14.9^\circ C$	$\sigma = 0.49^\circ C$
850 hPa	$y = (-46 \pm 8) + (0.027 \pm 0.004)x$	$R = 0.64$	$T = 7.3^\circ C$	$\sigma = 0.57^\circ C$
500 hPa	$y = (-53 \pm 7) + (0.017 \pm 0.003)x$	$R = 0.56$	$T = -17.8^\circ C$	$\sigma = 0.46^\circ C$
300 hPa	$y = (-65 \pm 7) + (0.010 \pm 0.004)x$	$R = 0.34$	$T = -44.8^\circ C$	$\sigma = 0.48^\circ C$
100 hPa	$y = (14 \pm 7) - (0.037 \pm 0.003)x$	$R = -0.82$	$T = -59.2^\circ C$	$\sigma = 0.46^\circ C$

Taula 6.1. Rectes de regressió de cadascuna de les gràfiques anteriors amb el corresponent valor mig i desviació estàndard.

Observant les gràfiques i la taula anterior es detecta una tendència a l'augment de la temperatura en la troposfera lliure. Aquest escalfament és més notable, com era d'esperar, a nivells baixos i va disminuint d'intensitat a mesura que l'altura és major. D'altra banda, es pot afirmar amb rotunditat que la part inferior de l'estratosfera està

experimentant un refredament en els darrers 60 anys. De fet, el pendent de la recta d'aquesta darrera gràfica és el més gran de tots.

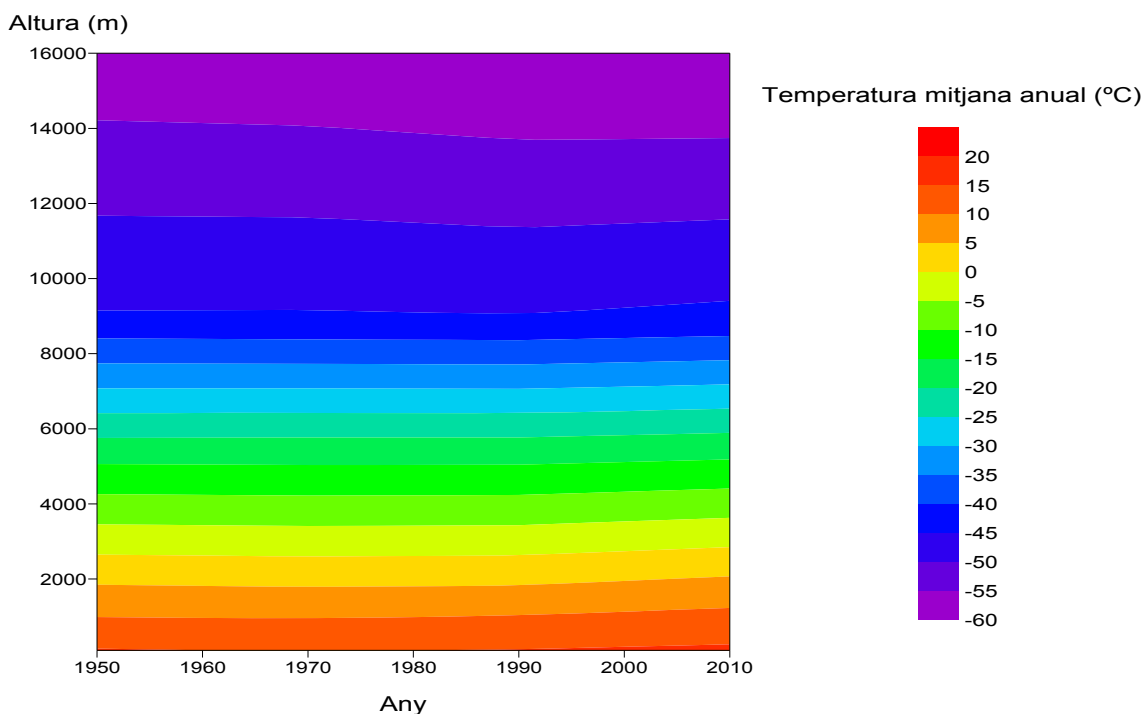


Figura 6.3. Representació gràfica de la temperatura mitjana anual segons la variació en alçada i en el temps, al llarg dels darrers 60 anys (Font dades: NCEP/NOAA).

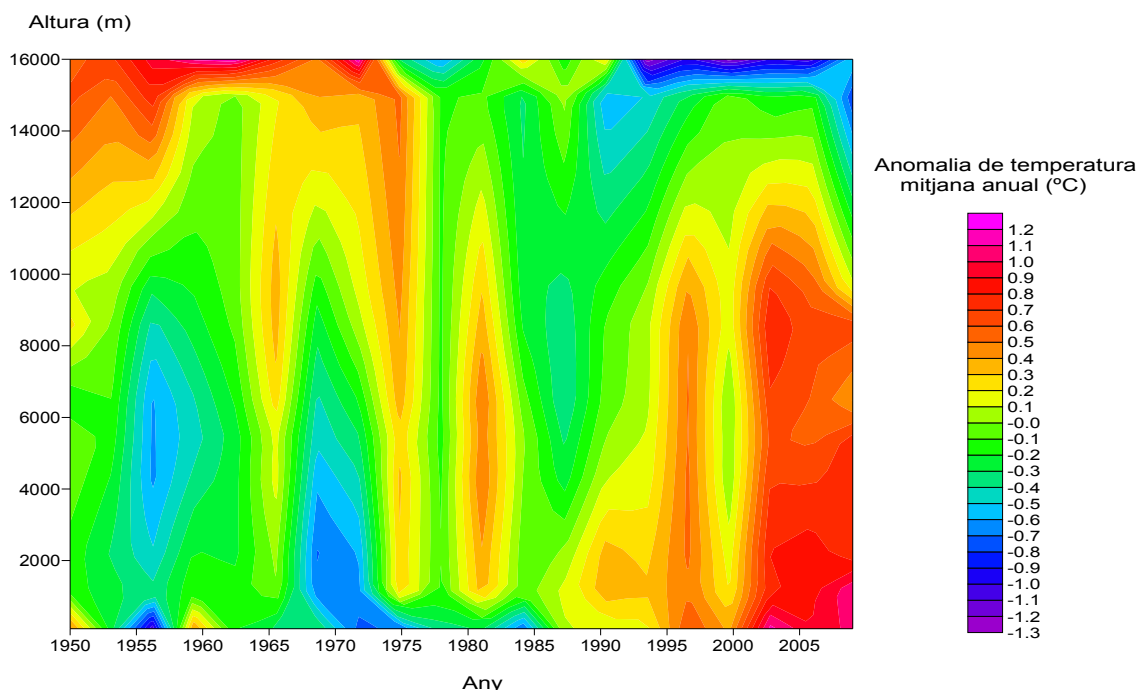
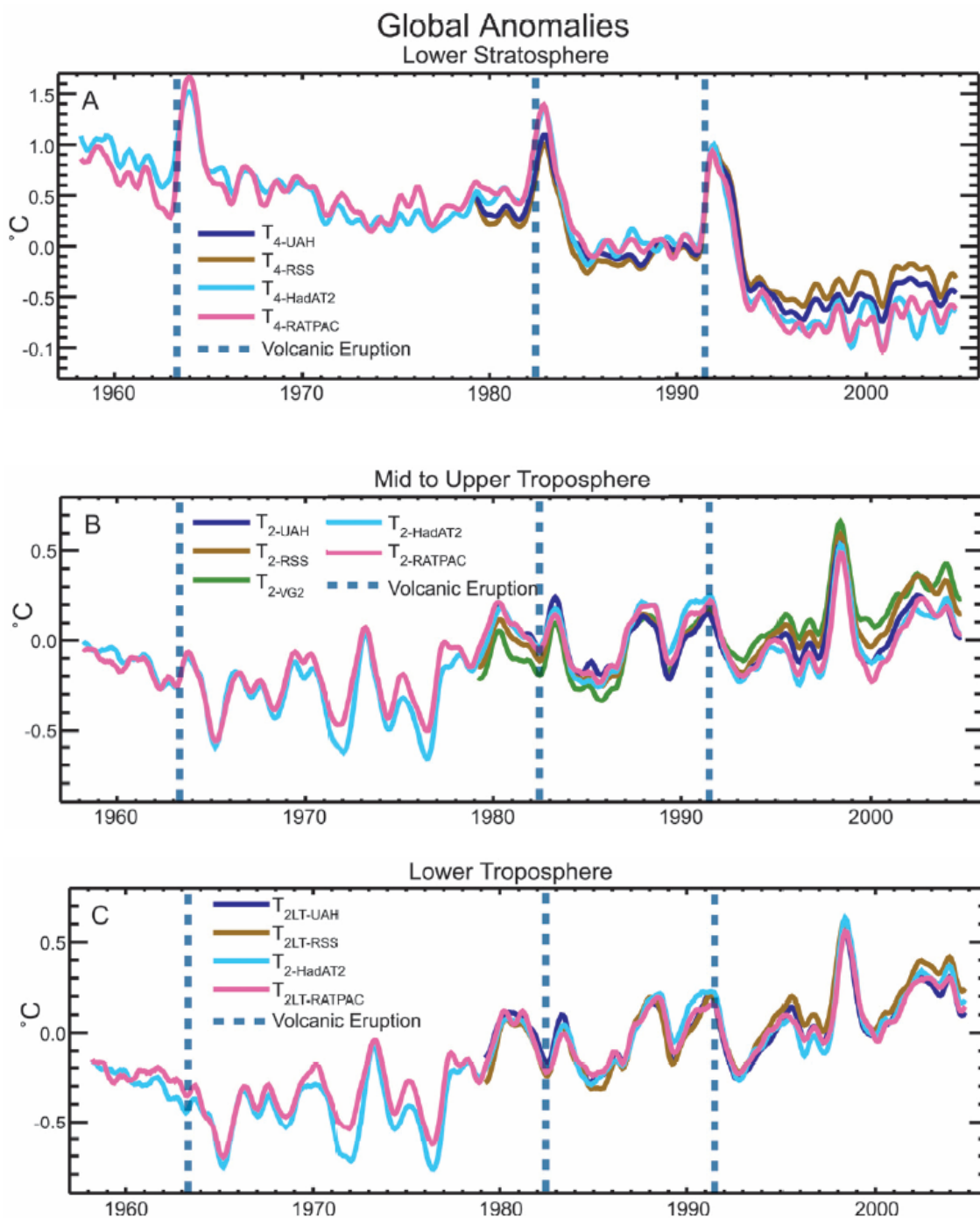


Figura 6.4. Anomalia de temperatura mitjana anual segons la variació alçada-temps (Font dades: NCEP/NOAA).

A la figura 6.4 s'observa que l'estratosfera al llarg de les dues primeres dècades té una anomalia de temperatura positiva i, en canvi, aquesta tendència s'inverteix a les

darreres dues. D'altra banda, es detecta una augment de la temperatura respecte al valor mig en els darrers 15 anys força considerable a tota la troposfera i, especialment, a la part més propera a la superfície. Aquests resultat estan en acord als obtinguts en el darrer informe del IPCC.



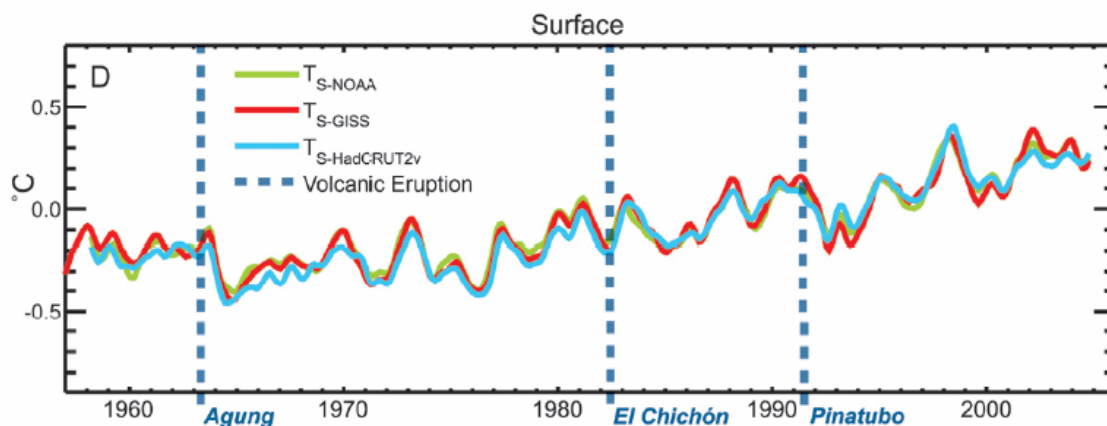


Figura 6.5. Anomalia global de la temperatura a diferents zones de l’atmosfera. Les erupcions de volcans més importants s’han indicat amb línies discontinúes de color blau (Karl et al. 2006). (Font: IPCC)

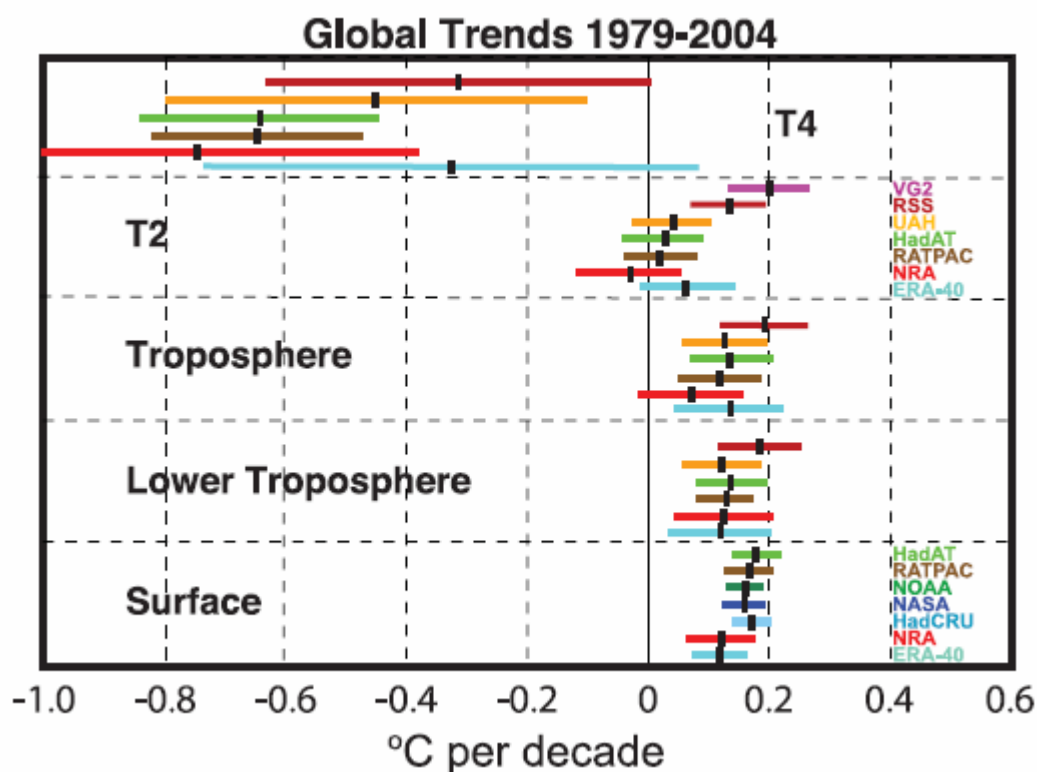


Figura 6.6. Tendències de la temperatura lineals ($^{\circ}\text{C}$ per dècada) pels anys 1979 al 2004 pels canals MSU³⁶. La barres d’error representen del 5 al 95% de confiança (Font: IPCC).

En aquesta darrera figura les observacions de radiosondes estan representats per les barres horitzontal de color marró. Es pot observar que el refredament de l’estratosfera és entre -0.32°C i -0.47°C per dècada i l’escalfament de la troposfera

³⁶ MSU (*Microwave Sounding Units*): sèrie de nou instruments creada l’any 1978 amb la finalitat d’estimar la temperatura tot mesurant l’emissió de microones que són proporcionals a l’estat tèrmic de l’emissió de molècules d’oxigen. A diferència del sondatges infrarojos, els de microones no estan afectats per la majoria de núvols.

entre 0.04°C i 0.20°C per dècada pel període 1979-2004. El 15% de les dades de T2 (canal 2 de MSU) provenen de la baixa estratosfera. Per aquest motiu, es produeix una subestimació de l'escalfament troposfèric.

D'altra banda, l'altura de la tropopausa està afectada pel balanç de calor entre la troposfera i l'estratosfera. Per exemple, quan l'estratosfera s'escalfa degut a l'augment de l'absorció de radiació pels aerosols volcànics, la tropopausa se situa a una altura menor. Contràriament, un escalfament de la troposfera fa elevar la tropopausa, així com refredar l'estratosfera. Conseqüentment, canvis en l'altura de la tropopausa és un indicador molt sensible a l'efecte de l'home en el clima. Entre 1979 i 2001, l'altura de la tropopausa ha augmentat aproximadament uns 200 m, en termes globals (Santer et al. 2004) segons els reanàlisi de ERA-40. Les anàlisis amb radiosondes també mostren aquest increment (Randel et al. 2000).

Convé destacar que si bé és cert que tant les radiosondes, com les observacions amb satèl·lit i de reanàlisi mostren un refredament global estratosfèric des de 1979, s'estima que les radiosondes sobreestimen aquest refredament. Això seria conseqüència dels canvis d'instrumentació i processament de dades (per exemple, correcció per radiació) i, fins i tot, per disposar de globus més forts per mesurar condicions més fredes.

Finalment, comentar que encara que algunes dades de radiosondatge podrien estar afectades per inhomogeneïtats, s'estima que l'impacte d'aquestes dades sobre la sensibilitat del clima és molt menor que l'escalfament de les dades de superfície.

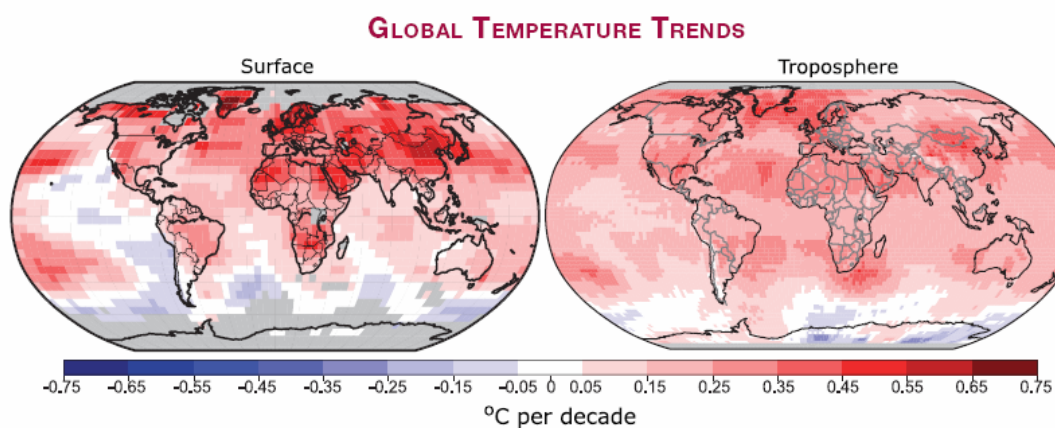


Figura 6.7. Tendència global de la temperatura pel període 1979-2005 estimat a la superfície (esquerra), i a la troposfera a partir de mesures amb satèl·lit (dreta). (Font: IPCC 2007)

Finalment, es compara les temperatures mitjanes anuals obtingudes amb dades de reanàlisi i les mesurades per la radiosonda:

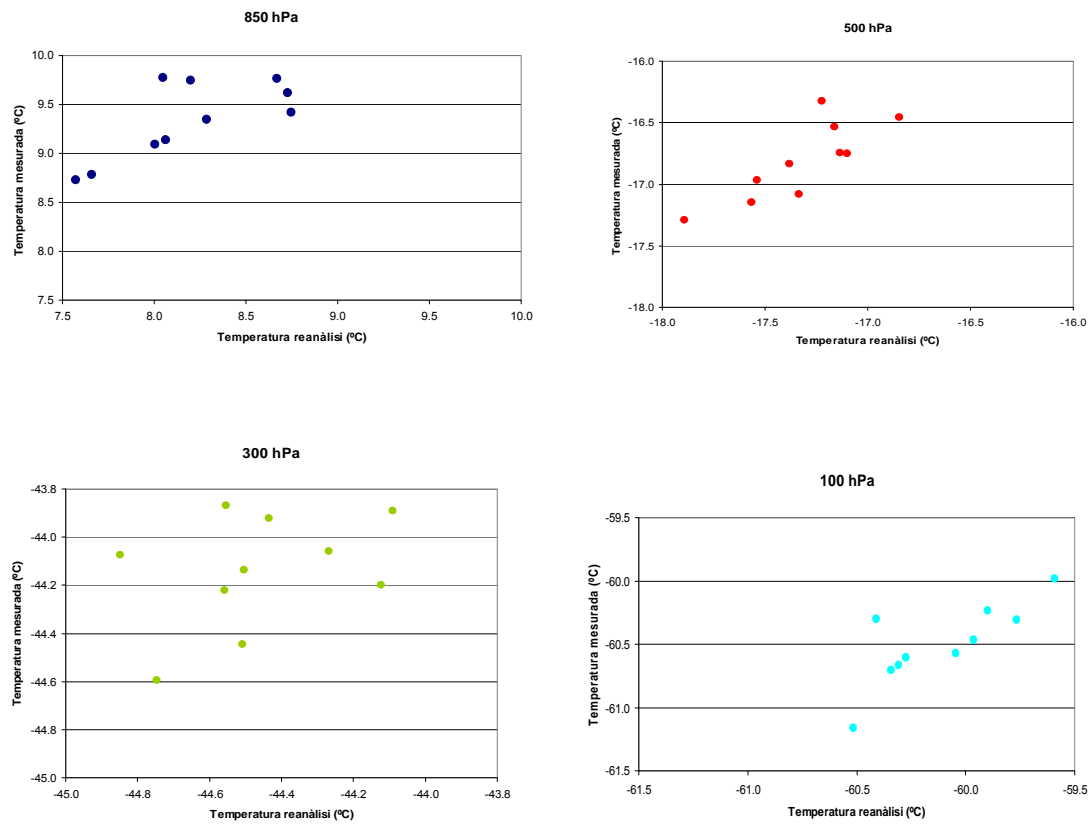


Figura 6.8. Comparació de temperatures mitjanes anuals enregistrades per la radiosonda i les corresponents a les dades de reanàlisi.

En tots aquests nivells representats, s’observa que hi ha força discrepància entre els valors mesurats i els de reanàlisi.

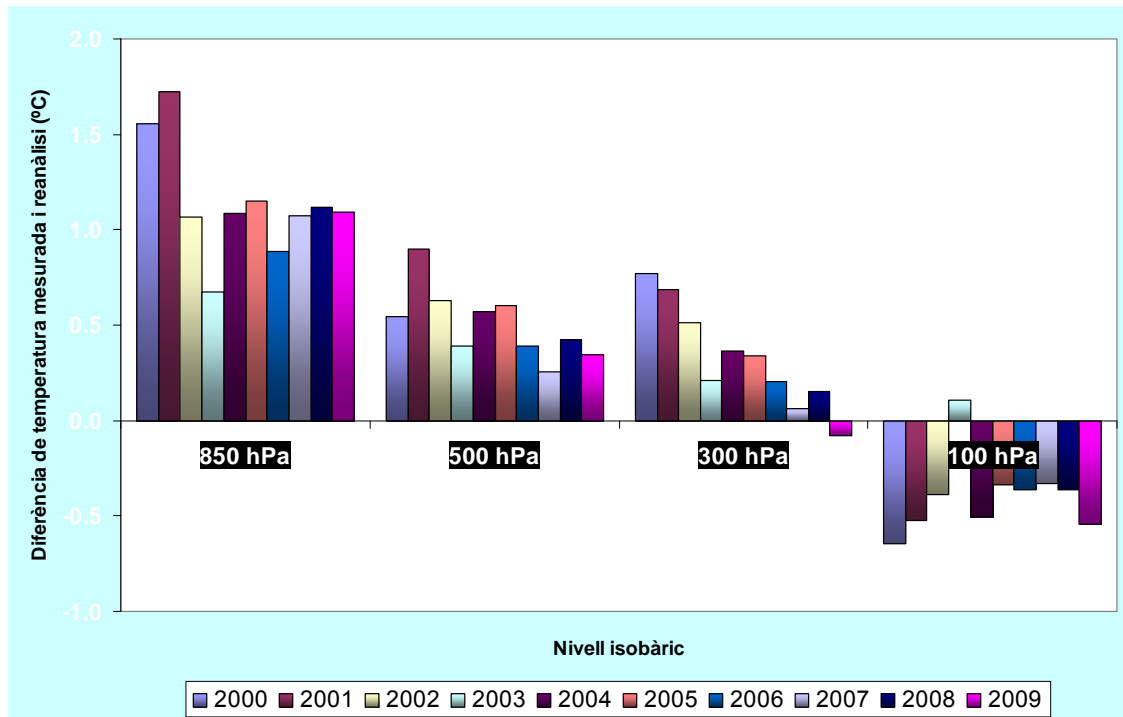


Figura 6.9. Diferències de temperatures entre les mesures per les observacions de radiosondatge i les obtingudes a partir de les dades de reanàlisi.

En aquesta darrera figura s’observa que les dades mesurades estan subestimades per les dades de reanàlisi, excepte pel nivell de 100 hPa en que es produeix la situació contrària.

Conclusions

Després del llarg i laboriós control de qualitat, però gratificant vistos els resultats, hom s'adona de la importància de disposar d'una bona sèrie de dades. Cal remarcar que, malgrat que l'objectiu inicial dels filtres era identificar possibles valors erronis de les mesures degut a un calibratge incorrecte p. ex., el que s'ha trobat és que la majoria dels fitxers de dades de radiosondatge detectats presentava algun problema de caràcter tècnic. Com s'ha il·lustrat en diversos exemples, en alguns casos es tractava de dades incompletes en una mateixa observació o bé simplement d'un format diferent. No obstant, s'ha comprovat que hi ha casos en que el termòmetre o l'higròmetre van mesurar incorrectament alguns valors al llarg d'una part de l'observació o bé alguna dada puntual. Convé tenir present que gran part de les dades errònies estan situades per sobre de 100 hPa i, per tant, a nivells de poc interès meteorològic. També és cert que en els darrers anys les mesures a pressions baixes han millorat considerablement. No s'ha d'oblidar que la radiosonda no es recupera i, aleshores, el cost econòmic ha de ser viable.

En el moment de decidir si es rebutja una dada en concret, s'han seguit bàsicament dos criteris: observació d'altres radiosondatges propers a la nostra àrea geogràfica i/o mitjançant l'anàlisi sinòptic. Tanmateix, el fet d'anular dades ha endarrerit molts descobriments científics al llarg de la història, tot i que avui dia el comportament de l'estratosfera i, especialment, la troposfera és ben conegut. A més, com s'ha comentat abans, molts errors estan a pressions baixes i, per aquest motiu, el funcionament correcte dels aparells de mesura no estan garantits, almenys amb la radiosonda RS82.

Com s'ha justificat a la secció cinc, encara és aviat per parlar de la sèrie climatològica amb només 10 anys de registres. A més, existeixen discontinuïtats, segons els nivells i els anys, que en alguns casos són de l'ordre de 2 o 3 setmanes seguides.

Per últim, convé comentar la forta discrepància entre la base de reanàlisi i els valors mesurats per la radiosonda: excepte el nivell de 100 hPa, els valors d'NCEP subestimen la temperatura enregistrada. Això pot ser com a conseqüència de no haver triat el pas de malla adequat al cas de Barcelona o bé a la irregularitat de les mesures. Per exemple, alguns anys hi manquen moltes observacions en el període d'estiu i en canvi pràcticament cap a l'hivern. Aquest fet s'ha anat reduint considerablement en els darrers anys.

Així doncs, queda clar que la qualitat de la sèrie del radiosondatge de Barcelona està millorant any rere any, i el compromís de realitzar observacions cada 12 hores i tots els dies de l'any és ben evident. Per tant, segurament d'aquí 10 anys es podrà fer un bon tractament estadístic d'aquesta sèrie i tractar d'observar tendències significatives en la temperatura. Ara per ara, tal com s'ha vist amb les gràfiques de reanàlisi, el comportament que predomina la darrera dècada ve marcat per fluctuacions o com s'anomena popularment com “soroll”.

Comentaris

A continuació, s'esmenten alguns temes en projecte que per no fer excessivament llarg aquest projecte s'ha optat per descartar-ho.

- Estudiar amb detall el comportament estacional de cada nivell estàndard.
- Estudiar la correlació entre altres estacions de radiosondatge a prop nostre: Saragossa, Palma de Mallorca i Nimes.
- Estudiar les sèries de geopotencial i vent.

A més, juntament amb el SMC, es crearà properament una base de dades en entorn de MySQL així com també es modernitzarà la pàgina web del SMC referent al radiosondatge fent-la més interactiva en un entorn multimèdia.

Finalment, els meus agraïments pel Dr. Codina per decidir ser el tutor d'aquest projecte i pels seus savis consells. També, a la Montse Aran, per transmetre'm la seva experiència i coneixement en el tractament de les dades de radiosondatge. Finalment, a l'Alex Montornès, per la seva gran ajuda, paciència i coneixements en llenguatges de programació.

Referències

Capítol 1

- ✚ American Meteorological Society (*glossary*)
<http://amsglossary.allenpress.com/glossary/>
- ✚ Institut d'Estudis Catalans (diccionari) , <http://dlc.iec.cat/>
- ✚ The weather channel (*glossary*) <http://www.weather.com/glossary/r.html>
- ✚ DABBERDT, W F . Meteorological research needs for improved air quality forecasting: Report of the 11th Prospectus Development Team of the U.S. Weather Research Program. *Bull. Amer. Meteor.Soc.*,2003, vol. 85, núm. 2, p. 563-586.
- ✚ MetEd <http://www.meted.ucar.edu/>
- ✚ Apunts de l'assignatura *Teledetecció meteorològica* del màster de Meteorologia UB (Cunillera, 2009)
- ✚ Apunts d'un seminari impartit pel doctor García-Moya 2010 sobre *Predicció numèrica del temps*.
- ✚ Publicacions breus del SMC, 2005. *El radiosondatge*
- ✚ JANSÀ, Agustí. El proyecto MEDEX, sobre ciclones que producen fenómenos meteorológicos de alto impacto en el Mediterráneo. AEMET, 2003
- ✚ *La Gran Enciclopèdia de la Meteorologia*. Costa et al. 2005. Sàpiens Barcelona.

Capítol 2

- ✚ *User manuals*. Vaisala.
<http://www.vaisala.com/en/meteorology/products/soundingsystemsandradiosondes/radiosondes/Pages/RS92.aspx>
- ✚ *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. WMO, c.12.

Capítol 3

- ✚ American Meteorological Society (*glossary*)
<http://amsglossary.allenpress.com/glossary/>
- ✚ Programa informàtic RAOB.

Capítol 4

- ✚ DURRE, Imke, et al. Robust automated quality assurance of radiosonde Temperatures. *Journal of applied Meteorology and Climatology*, 2008, vol. 47, p. 2081 – 2095.

- ✚ COLLINS, W. G. The operational complex quality control of radiosonde heights and temperatures at the National Centers for Environmental Prediction. *Journal of applied Meteorology and Climatology*, 2001, vol. 40, p. 137 – 151.
- ✚ DURRE, Imke, et al. Overview of the Integrated Global Radiosonde Archive. *J. Climate*, 2006, vol. 19, p. 53 – 68.
- ✚ HAIMBERGER, L. Homogenization of radiosonde temperature time series using innovation statistics. *J. Climate*, 2007, vol. 20, p. 1377 – 1403.
- ✚ CEBALLOS, Javier. *Curso de programación C/C++*. RA-MA 1995. 560 p. ISBN: 84-7897-200-5.
- ✚ ERA-ECMWF, http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/levtype=pl/ .
- ✚ NASA, http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone/ozone_v8.html

Capítol 5

- ✚ Apunts de l'assignatura *Clima i canvi climàtic* del màster de Meteorologia UB (Codina, 2009)

Capítol 6

- ✚ KISTLER, Robert. Reanalysis at NCEP: Past, Present and Future
- ✚ LANZANTE, J.R. et al. Temporal homogenization of monthly radiosonde temperature data. *J. Climate*, 2003, vol. 16, p.241-261.
- ✚ KARL, T.R. et al. Temperature trends in the lower atmosphere: steps for understanding and reconciling differences. *Climate change science program and subcommittee on global change research*, 2006 <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap1-1/finalreport/default.htm>
- ✚ SANTER, B.D. et al. Identification of anthropogenic climate change using a second-generation reanalysis. *J. Geophys. Res.*, 2004, vol. 109
- ✚ RANDEL, W.J. et al. Interannual variability of the tropical tropopause derived from radiosonde data and NCEP reanalyses. *J. Geophys. Res.* , 2000, vol. 105, p. 15509-15524.