

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
Programa de Doctorado en Ingeniería Ambiental



Tesis Doctoral

**Simulación de los campos de viento de la Península Ibérica y
el área geográfica de Catalunya con alta resolución espacial
para distintas situaciones meteorológicas típicas**

Oriol Jorba i Casellas

Tutor y Director: Dr. José María Baldasano

Barcelona, marzo de 2005

Als pares i a l'avi

Agraïments:

Al Dr. José María Baldasano per la confiança i suport durant el desenvolupament d'aquesta Tesi doctoral.

Al Dr. Nicolau Pineda i Dr. Joan Jorge per la col·laboració que va contribuir a estudiar la sensibilitat del model meteorològic a les propietats geofísiques del sòl; al Dr. Javier Martín-Vide i a tres revisors anònims per la revisió del treball de l'anàlisi per cúmuls.

A la Pennsylvania State University/National Center For Environmental Research pel suport en els temes relacionats amb el model meteorològic mesoscalar MM5. De la mateixa manera, agrair al NOAA Air Resources Laboratory (ARL) per facilitar les dades del model FNL-HYSPLIT, i el model de transport i dispersió HYSPLIT.

A la Environmental European Agency per facilitar la base de dades EEA NATLAN-2000 pel mapa d'usos del sòl CORINE; al Instituto Nacional de Meteorología (INM) que ha facilitat part dels fitxers per inicialitzar el model MM5, i dades d'estacions en superfície per la validació del model; al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) per facilitar les dades de les estacions en superfície i radiosondatges en la validació dels resultats del model. Agrair també al Centre de Supercomputació de Catalunya (CESCA) per facilitar el maquinari necessari per executar les simulacions meteorològiques.

Als companys del Laboratori de Modelització Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya, Carlos, Pedro, René, Eugeni, Nelson, Leyton i Gustavo, sense els quals no hagués arribat a bon port, i a la gent que m'ha animat i recolzat durant el desenvolupament d'aquest treball, especialment durant l'últim període que no ha estat gens fàcil.

Per últim agrair a la família el seu suport i la paciència necessària que han tingut per aguantar els mals humors inevitables durant la realització d'un treball d'aquestes característiques.

Aquest treball s'ha desenvolupat en el marc dels projectes del Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Catalunya IMPACTE, de la Comissió Europea EARLINET i del Ministerio de Ciencia y Tecnología CICYT REN2000-1754-C02-01/CLI.

Resumen

La calidad del aire de una zona está directamente ligada con la situación meteorológica presente y sus características dispersivas. Por ello, el estudio de los vientos en una región supone un aporte de información necesario para poder profundizar en distintos campos científicos. El presente tema de Tesis profundiza en el conocimiento del campo de vientos de la Península Ibérica y del Área Geográfica de Catalunya (AGC).

Como paso previo al estudio de los campos de vientos se han identificado las situaciones atmosféricas típicas que afectan a la región de estudio. Se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de distintas clasificaciones de situaciones sinópticas típicas de la Península Ibérica y Catalunya. Del estudio se ha visto la dificultad de encontrar una clasificación unitaria que englobe la mayoría de propuestas realizadas hasta el momento. Por ello, y viendo que las clasificaciones existentes presentan un elevado grado de subjetividad se ha optado por proponer y aplicar una metodología poco desarrollada en la región de estudio para analizar los flujos que afectan a la Península Ibérica desde un punto de vista estadístico.

Así, se ha implementado un algoritmo de agrupación por cúmulos para analizar las retro-trayectorias con destino el área de Barcelona. A partir de una base de datos de 5 años de retro-trayectorias cinemáticas de 4 días, calculadas con el modelo *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT), se ha obtenido un conjunto de cúmulos de retro-trayectorias de curvatura y longitud similar. Para poder realizar una mejor descripción de la circulación troposférica afectando a Barcelona, se han analizado las retro-trayectorias con destino a 5500, 3000 y 1500 m s.n.m. en Barcelona. Los principales patrones de transporte identificados a 5500 m se clasifican en flujos del W, flujos del NW, flujos del SW, y recirculaciones regionales de masas de aire sobre Europa y el mar Mediterráneo. Se describe la distribución anual de los distintos patrones de transporte. En verano, los flujos moderados de W y SW en la media troposfera, flujos débiles de W y SW a 3000 m, y las recirculaciones regionales a 1500 m caracterizan los patrones de transporte que afectan a Barcelona. Este patrón general varía en invierno, con mayor frecuencia de las advecciones del W a 5000 m, e un incremento de las situaciones del N y NW a 1500 m. Combinando los resultados a 5000 y 1500 m se observan un gran número de situaciones con desacoplamiento entre la baja troposfera y la media troposfera.

A partir de estos resultados se han escogido siete días que son representativos de distintas situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica definidas a partir de los flujos en la troposfera media y baja (W-W, W-NW, W-wR, SW-wR, R-eR, SW-eR, NW-N). Con la aplicación del modelo numérico de pronóstico meteorológico mesoscalar *5th generation Mesoscale Model* (MM5) se han descrito los campos de vientos de estas situaciones para la Península Ibérica y el AGC. Las simulaciones se han realizado con elevada resolución horizontal (24 y 2 km respectivamente). Los resultados permiten describir las circulaciones y regímenes de vientos que se establecen, y permiten caracterizar las particularidades principales de las mismas. Para describir las características dispersivas y turbulentas de la troposfera, y especialmente de la capa fronteriza, se describe también la evolución de la energía cinética turbulenta para cada día de estudio. De cada día se presenta un patrón con las características generales de cada situación.

Se ha realizado un esfuerzo importante para cuantificar los errores tanto en superficie como en altitud de los vientos y la temperatura del aire en la validación de las simulaciones. Se han calculado distintos estadísticos para analizar el error del modelo, visualizando la evolución horaria y espacial del mismo. Para analizar el comportamiento en altitud se han validado las simulaciones con radiosondeos distribuidos a lo largo de la Península Ibérica y el AGC.

Summary

The air quality of a region is directly related with the present meteorological situation. The study of the winds of a region represents an important contribution to the knowledge of several scientific fields. The present PhD Thesis focuses on the knowledge of the wind field of the Iberian Peninsula and the Catalonia geographical area.

The first step in the study of the wind field of a region is the identification of the typical synoptic situations affecting the zone. An extended bibliographic revision of the different classifications of the synoptic situations is presented for the Iberian Peninsula and Catalonia. The bibliographic revision has pointed out the difficulty aroused when a unified classification is intended. For that reason, and due to the high subjective approach used in the proposed classifications, a more objective approach is proposed and applied to the region of study.

A cluster algorithm was implemented to analyze the backward trajectories arriving in the Barcelona area. Five years of 4-day kinematic back trajectories, computed with the HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model version 4 (HYSPLIT), were clustered and classified in groups of similar length and curvature. To better describe the tropospheric circulations at BCN, backward trajectories arriving at 5500, 3000, and 1500 m above sea level were analyzed. The main transport patterns are identified at 5500 m: westerly flows, northwesterly flows, and regional recirculations over Europe and the Mediterranean Sea. An annual distribution of the transport patterns is described. During summertime, moderate westerlies and southwesterlies in the middle troposphere, slow westerlies and southwesterlies at 3000 m, and regional recirculations at 1500 m characterize the Barcelona long-range transport. This general pattern varies during wintertime with more westerlies at 5500 m, and an increase of northern and northwestern situations at 1500 m. Large number of situations with decoupling between lower from middle troposphere are observed when combining 5500 m and 1500 m cluster results.

From these results, seven meteorological situations have been selected as representative cases of the several synoptic situations affecting the Peninsula Iberica (W-W, W-NW, W-wR, SW-wR, R-eR, SW-eR, NW-N). The wind fields of the region of study has been described with the application of the the mesoscale numerical weather prediction 5th generation *Mesoscale Model* (MM5). The simulations have been performed with high horizontal resolution for the Peninsula Iberica and AGC (24 and 2 km) for the AGC. The results show the complex circulations developed within the domain of study, and the basic features of the wind fields can be analyzed. With the aim to describe the turbulence and dispersion of the troposphere, and with special attention to the boundary layer, the turbulent kinetic energy is analyzed.

A special effort has been realized to quantify the errors of the simulations. Surface and aloft fields of wind and temperature have been validated. Several statistics are calculated, and temporal and spatial representations of them are performed. To analyze the behavior of the model aloft, the results are compared with radiosoundings located along the domains of study.

Resum

La qualitat de l'aire d'una zona està directament lligada amb la situació meteorològica present i les seves característiques dispersives. Per aquest motiu, l'estudi dels vents en uns regió suposa una aportació d'informació necessària per a poder aprofundir en diversos camps científics. El present tema de Tesis aprofundeix en el coneixement del camp de vents de la Península Ibèrica i de l'Àrea Geogràfica de Catalunya (AGC).

Com a pas previ a l'estudi dels camps de vents s'han identificat les situacions atmosfèriques típiques que afecten a la regió d'estudi. S'ha realitzat una extensa revisió bibliogràfica de les diferents classificacions de situacions sinòptiques típiques de la Península Ibèrica i Catalunya. De l'estudi s'ha vist la dificultat de trobar una classificació unitària que englobi la majoria de propostes realitzades fins el moment. Per això, tenint en compte que les classificacions existents presenten un elevat grau de subjectivitat s'ha optat per proposar i aplicar una metodologia poc desenvolupada en la regió d'estudi per tal d'analitzar els fluxos que afecten a la Península Ibèrica des d'un punt de vista estadístic.

D'aquesta manera, s'ha implementat un algorisme de agrupació per cúmuls per analitzar les retro-trajectòries amb destí l'àrea de Barcelona. A partir d'una base de dades de 5 anys de retro-trajectòries cinemàtiques de 4 dies, calculades amb el model *Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT), s'han obtingut un conjunt de cúmuls de retro-trajectòries de curvatura i longitud similar. Per poder realitzar descripció més acurada de la circulació troposfèrica afectant Barcelona, s'han analitzat les retro-trajectòries amb destí a 5500, 3000 i 1500 m s.n.m. a Barcelona. Els principals patrons de transport identificats a 5500 m es classifiquen en fluxos del W, fluxos del NW, fluxos del SW, i recirculacions regionals de masses d'aire sobre Europa i la mar Mediterrània. Es descriu la distribució anual dels diferents patrons de transport. A l'estiu, els fluxos moderats de W i SW en la mitja troposfera, fluxos dèbils de W i SW a 3000 m, i les recirculacions regionals a 1500 m caracteritzen els patrons de transport que afecten a Barcelona. Aquest patró general varia a l'hivern, amb major freqüència de les adveccions del W a 5000 m, i un augment de les situacions del N i NW a 1500 m. Combinant els resultats a 5000 y 1500 m s'observen un gran nombre de situacions amb desacoblament entre la troposfera baixa i mitja.

A partir d'aquests resultats s'han escollit set dies que són representatius de diferents situacions atmosfèriques típiques que afecten a la Península Ibèrica definides a partir dels fluxos en la troposfera mitja i baixa (W-W, W-NW, W-wR, SW-wR, R-eR, SW-eR, NW-N). Amb l'aplicació del model numèric de pronòstic meteorològic mesoscalar mesoscalar *5th generation Mesoscale Model* (MM5) s'han descrit els camps de vent d'aquestes situacions per a la Península Ibèrica i el AGC. Les simulacions s'han realitzat amb elevada resolució horitzontal (24 i 2 km respectivament). Els resultats permeten descriure les circulacions i règims de vents que s'estableixen, i permeten caracteritzar les particularitats principals de les mateixes en referència als vents. Per descriure les característiques dispersives i turbulentes de la troposfera, i especialment de la capa fronterera, es descriu també l'evolució de l'energia cinètica turbulenta per a cada dia d'estudi.

S'ha realitzat un esforç important per quantificar el errors tant en superfície com en altitud dels vents i la temperatura de l'aire en la validació de les simulacions. S'han

calculat diferents estadístics per analitzar l'error del model, visualitzant l'evolució horària i espacial del mateix. Per analitzar el comportament en altitud s'han validat les simulacions amb radiosondatges distribuïts pels dominis d'estudi.

Publicaciones

Revistas:

1. Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., Baldasano, J.M. (2004). Using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *Int. J. Remote Sens.*, **25**, 129-143.
2. Jorba O., Pérez, C., Rocadenbosch, F., y J.M. Baldasano, 2004: Cluster Analysis of 4-Day Back Trajectories Arriving in the Barcelona Area (Spain) from 1997 to 2002. *J. Appl. Meteor.*, **43**, 887-901.
3. Pérez, C., Sicard, M., Jorba, O., Comerón, A., y J.M. Baldasano, 2004: Summertime re-circulations of air pollutants over the north-eastern Iberian coast observed from systematic EARLINET lidar measurements in Barcelona. *Atmos. Environ.*, **38**, 3983-4000.
4. Baldasano, J.M., Jiménez, P., Jorba, O., López, E., Parra, R., y C. Pérez, 2004: Modelització de la qualitat de l'aire de Catalunya, TERAFLOR, **76**, 14-15.
5. Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., y J.M. Baldasano, 2005: Influence of model grid resolution on tropospheric ozone levels: the necessity of high resolution for photochemical modeling in very complex terrains. *Int. J. Environ. Pollution* (En prensa).
6. Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., y J.M. Baldasano, 2005: Evaluation of MM5-EMICAT2000-CMAQ performance and sensitivity in very complex terrains: high-resolution application to the northeastern Iberian Peninsula. *Atmos. Environ.* (Enviado).

Congresos:

7. Soriano, C., Jorba, O., y J.M. Baldasano, 2002: One-way nesting versus Two-way nesting: Does it really make a difference?. *Proc. Air Pollution Modeling and Its Application XV*, Ed. Borrego and Schayes, Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, 177-185.
8. Pineda, N., Jorba, O., Jorge, J., y J.M. Baldasano, 2002: Using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data to estimate surface parameters: application to a mesoscale meteorological model. *Proceedings of 1st International Symposium Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, Valencia, Spain, 16-20 September*, Ed. A.S. Sobrino Universitat de València, València, pp. 268-276.
9. Jorba, O., Pérez, C., Baldasano, J. M., Rocadenbosch, F., y M.A. López, 2003: Cluster analysis of back- trajectories arriving at Barcelona air basin, in *1st EARLINET Symposium on the Structure and Use of the Database derived from Systematic Lidar Observations*, Hamburg (Germany) 11-12 February.

10. Jorba, O., Gassó, S., y J.M. Baldasano, 2003: Regional circulations within the Iberian Peninsula east coast. *Preprints of 26th Int. Tech. Meeting of NATO-CCMS on "Air Pollution Modelling and its application", Istanbul, Turkey, 26-30 May*, Eds. C. Borrego & G. Schayes. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, pp. 388-395.
11. Pérez, C., Sicard, M., Baldasano, J.M., Jorba, O., y A. Comerón, 2003: Multiple layer aerosol structures observed within the barcelona air basin from regular lidar measurements. *In European Aerosol Conference*, Madrid, Spain, 31 August – 5 September.
12. Jiménez, P., Jorba, O., y J.M. Baldasano, 2004: Influence of horizontal model grid resolution on tropospheric ozone levels. *In 9th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes*, Garmisch-Partenkirchen, Germany, June 1-4.
13. Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., y J.M. Baldasano, 2004: Evaluation of Models-3/CMAQ in Very Complex Terrains: High-Resolution Application to the Northeastern Iberian Peninsula. *In: 2004 Models-3 Workshop*, Chapel Hill, NC, USA. October 18-20.
14. Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., y J.M. Baldasano, 2004: Modeling photochemical pollution in the northeastern Iberian Peninsula. *In: 27th NATO/CCMS International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and Its Application*. Banff, Canada, October 24-29, pp. 192-199.
15. Jiménez, P., Jorba, O., Parra, R., Pérez, C., Viana, M., Alastuey, A., Querol, X., y J.M. Baldasano, 2005: High-resolution modeling of gaseous photochemical pollution and particulate matter in Barcelona air basin. *In: Urban Air Quality 2005*. Valencia, Spain, March 2005 (aceptado).

Informes

16. Baldasano, J.M., Jorba, O., López, E., 2004: Atlas de radiació solar a Catalunya (dades del període 1964-2002). Document tècnic Laboratori Modelització Ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya, 82 pp.
17. Jorba, O., y J. M., Baldasano, 2002a: Tècniques d'aniuament en un model de pronòstic meteorològic de mesoscala. (Model de pronòstic meteorològic de mesoscla. MM5. Resum d'activitats desenvolupades) Projecte IMMPACTE, Informe final, Generalitat de Catalunya, DURSI/DMA, 24 pp.
18. Jorba, O., y J.M. Baldasano, 2002b: Sensibilitat d'un model de pronòstic meteorològic de mesoescala a les propietats físiques del sòl. Projecte IMMPACTE, Informe final, Generalitat de Catalunya, DURSI/DMA, 51 pp.

Tabla de contenidos

Parte I: Introducción

1	Introducción.....	1-1
1.1	Justificación.....	1-1
1.2	Antecedentes.....	1-4
1.3	Objetivos.....	1-5
1.3.1	Identificación de las situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica.....	1-6
1.3.2	Análisis de retrotrayectorias durante el período 1997-2002.....	1-6
1.3.3	Adopción y evaluación de un modelo meteorológico para trabajar con elevada resolución.....	1-7
1.3.4	Análisis en detalle del campo de vientos simulado....	1-8
1.3.5	Síntesis de los objetivos.....	1-8
1.4	Estructura del documento.....	1-9
2	Zona de estudio: fisiografía y climatología.....	2-1
2.1	Península Ibérica.....	2-1
2.1.1	Orografía.....	2-2
2.1.2	Usos del suelo y fisonomía humana.....	2-4
2.1.3	Climatología.....	2-5
2.1.3.1	Variabilidad climática.....	2-5
2.1.3.2	Rasgos climáticos.....	2-10
2.2	Área geográfica de Catalunya.....	2-14
2.2.1	Orografía.....	2-14
2.2.1.1	Pirineos.....	2-15
2.2.1.2	Depresión Central.....	2-16
2.2.1.3	Sistema Mediterráneo.....	2-16
2.2.2	Usos del suelo y fisonomía humana.....	2-17
2.2.3	Climatología.....	2-19
2.2.3.1	Termopluviometría y radiación solar.....	2-19
2.2.3.2	Los vientos en Catalunya: Rosas de vientos.....	2-21

Parte II: Fundamentos

3	La orografía y el viento: efectos geográficos.....	3-1
3.1	Capa fronteriza atmosférica.....	3-1
3.1.1	Estructura general.....	3-2
3.1.2	Capa de mezcla convectiva.....	3-4
3.1.3	Capa estable nocturna.....	3-5
3.1.3.1	Capa residual nocturna.....	3-6
3.1.4	Capa fronteriza interna térmica: interfaz mar-tierra.....	3-6
3.2	Circulaciones de origen térmico.....	3-7
3.2.1	Brisas de mar y tierra.....	3-7
3.2.2	Brisas de montaña y valle.....	3-9
3.2.2.1	El sistema de vientos de ladera.....	3-13
3.2.2.2	El sistema de vientos de valle.....	3-14
3.2.2.3	El sistema de vientos de montaña-llanura.....	3-15

3.2.3	Baja térmica ibérica.....	3-15
3.3	Flujos inducidos por forzamientos orográficos.....	3-17
3.3.1	Flujos sobre montañas.....	3-18
3.3.1.1	Ondas de montaña.....	3-18
3.3.1.2	Efecto Föhen.....	3-20
3.3.2	Flujos rodeando montañas.....	3-20
3.3.3	Flujos canalizados.....	3-21
3.3.3.1	Efecto Venturi.....	3-21
3.3.3.2	Flujos en los valles.....	3-22
3.3.4	Bloqueo a barlovento de una barrera orográfica.....	3-24
4	Situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica.....	4-1
4.1	Conceptos previos.....	4-1
4.2	Revisión bibliográfica de las situaciones atmosféricas que afectan a la Península Ibérica.....	4-3
4.2.1	Clasificaciones subjetivas.....	4-3
4.2.1.1	Clasificaciones subjetivas basadas en el tipo de flujo	4-4
4.2.1.2	Clasificaciones subjetivas basadas en las combinaciones de las direcciones principales del flujo.....	4-8
4.2.2	Clasificaciones objetivas.....	4-13
4.3	Resumen de las clasificaciones de situaciones atmosféricas típicas que afectan a la Península Ibérica	4-17

Parte III: Trabajos prácticos

5	Análisis de cúmulos de retro-trayectorias con llegada a Barcelona para el periodo 1997-2002.....	5-1
5.1	Introducción.....	5-1
5.2	Análisis de cúmulos.....	5-2
5.3	Base de datos: retro-trayectorias de cuatro días.....	5-5
5.4	Resultados y discusión.....	5-6
5.4.1	Características sinópticas que afectan a los flujos en Barcelona.....	5-6
5.4.2	Patrones de transporte a 5500 m.....	5-7
5.4.3	Patrones de transporte a 3000 y 1500 m.....	5-12
5.4.4	Combinación de los cúmulos a 5500 m y 1500 m.....	5-14
5.4.5	Variabilidad anual y distribución mensual.....	5-15
5.5	Conclusiones del análisis de cúmulos.....	5-19
5.6	Selección de los días a simular con el modelo mesoscalar	5-20
6	Modelo de pronóstico meteorológico mesoscalar: fundamentos, configuración y estudios de sensibilidad	6-1
6.1	Fundamentos y revisión bibliográfica.....	6-1
6.1.1	Escalas meteorológicas.....	6-2
6.1.2	Fundamentos de un NWP.....	6-5

6.1.2.1	Tipos de modelos.....	6-5
6.1.2.2	Ecuaciones primitivas.....	6-6
6.1.2.3	Sistemas de integración.....	6-8
6.1.2.4	Discretización numérica.....	6-9
6.1.2.5	Procesos de ejecución.....	6-11
6.1.2.6	Parametrizaciones físicas.....	6-12
6.1.2.7	Anidamiento: técnicas de interacción entre dominios	6-14
6.1.3	Revisión bibliográfica de los principales modelos numéricos de pronóstico meteorológico de mesoscala	6-15
6.2	Modelo meteorológico mesoscalar utilizado: MM5.....	6-22
6.2.1	Breve descripción del modelo mesoscalar MM5.....	6-22
6.2.2	Configuración del modelo mesoscalar MM5.....	6-25
6.2.2.1	Revisión bibliográfica.....	6-25
6.2.2.2	Definición de los dominios de trabajo.....	6-27
6.2.2.3	Condiciones de inicialización y de frontera.....	6-31
6.2.2.4	Resumen: configuración y parametrizaciones físicas.....	6-31
6.3	Estudios de sensibilidad.....	6-34
6.3.1	Sensibilidad del modelo mesoscalar a las técnicas de interacción entre dominios	6-34
6.3.1.1	Configuración del modelo.....	6-35
6.3.1.2	Situaciones meteorológicas estudiadas.....	6-36
6.3.1.3	Resultados.....	6-38
6.3.1.4	Conclusiones.....	6-46
6.3.2	Sensibilidad del modelo MM5 a las propiedades geofísicas del suelo.....	6-48
6.3.2.1	Estimación de los parámetros geofísicos del suelo.	6-50
6.3.2.2	Mapa de usos del suelo CORINE: introducción en MM5.....	6-52
6.3.2.3	Simulación con el mapa CORINE y una nueva estimación de distintos parámetros geofísicos del suelo.....	6-54
6.3.2.4	Simulación con el mapa USGS y la nueva estimación de los parámetros geofísicos del suelo.....	6-64
6.3.2.5	Conclusiones.....	6-73
6.3.3	Sensibilidad a la parametrización de la capa fronteriza	6-77
6.3.3.1	Parametrizaciones utilizadas.....	6-77
6.3.3.2	Resultados.....	6-80
6.3.3.3	Conclusiones.....	6-85
7	Descripción de las situaciones meteorológicas simuladas con el modelo mesoscalar.....	7-1
7.1	Situación del W-W: 25 de diciembre de 2002.....	7-3
7.1.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-3
7.1.2	Campo de presiones y temperaturas de la Península Ibérica	7-4
7.1.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-10
7.1.4	Campo de vientos.....	7-10
7.1.4.1	Península Ibérica.....	7-10

7.1.4.2	Área Geográfica de Catalunya.....	7-12
7.1.5	Energía cinética turbulenta.....	7-21
7.1.5.1	Península Ibérica.....	7-21
7.1.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-23
7.1.6	Modelo conceptual de las circulaciones que se acontecen en una situación de W-W.....	7-24
7.1.7	Validación de la simulación W-W: 25 de diciembre de 2002.....	7-27
7.1.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-27
7.1.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-30
7.1.7.3	Comparación entre las distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-34
7.2	Situación W-NW: 10 de octubre de 2000.....	7-36
7.2.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-36
7.2.2	Campo de presiones y temperatura de la Península Ibérica.....	7-37
7.2.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-37
7.2.4	Campo de vientos.....	7-42
7.2.4.1	Península Ibérica.....	7-42
7.2.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-43
7.2.5	Energía cinética turbulenta.....	7-53
7.2.5.1	Península Ibérica.....	7-53
7.2.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-54
7.2.6	Modelo conceptual de las circulaciones que se acontecen en una situación del W-NW.....	7-55
7.2.7	Validación de la simulación W-NW: 10 de octubre de 2000	7-58
7.2.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-58
7.2.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-60
7.2.7.3	Comparación entre las distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-63
7.3	Situación W-wR: 14 de agosto de 2000.....	7-65
7.3.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-65
7.3.2	Campo de presión y temperatura de la Península Ibérica	7-66
7.3.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-70
7.3.4	Campo de vientos.....	7-71
7.3.4.1	Península Ibérica.....	7-71
7.3.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-73
7.3.5	Energía cinética turbulenta.....	7-88
7.3.5.1	Península Ibérica.....	7-88
7.3.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-90
7.3.6	Modelo conceptual de una situación de W-wR.....	7-91
7.3.7	Validación de la simulación W-wR: 14 de agosto de 2000	7-94
7.3.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-94
7.3.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-97

7.3.7.3	Comparación entre distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-100
7.4	Situación SW-wR: 28 de abril de 2003.....	7-102
7.4.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-102
7.4.2	Campo de presión y temperatura de la Península Ibérica	7-103
7.4.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-107
7.4.4	Campo de vientos.....	7-108
7.4.4.1	Península Ibérica.....	7-108
7.4.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-109
7.4.5	Energía cinética turbulenta.....	7-124
7.4.5.1	Península Ibérica.....	7-124
7.4.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-126
7.4.6	Modelo conceptual de una situación de SW-wR.....	7-128
7.4.7	Situación SW-wR: 28 de abril de 2003.....	7-130
7.4.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-130
7.4.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-131
7.4.7.3	Comparación entre las distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-134
7.5	Situación R-eR: 12 de agosto de 2003.....	7-136
7.5.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-136
7.5.2	Campo de presión y temperatura de la Península Ibérica	7-137
7.5.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-142
7.5.4	Campo de vientos.....	7-143
7.5.4.1	Península Ibérica.....	7-143
7.5.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-145
7.5.5	Energía cinética turbulenta.....	7-158
7.5.5.1	Península Ibérica.....	7-158
7.5.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-160
7.5.6	Modelo conceptual de las circulaciones. que se acontecen en una situación de R-eR.....	7-161
7.5.7	Situación R-eR: 12 de agosto de 2003.....	7-164
7.5.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-164
7.5.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-165
7.5.7.3	Comparación entre las distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-168
7.6	Situación SW-eR: 20 de diciembre de 2002.....	7-170
7.6.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-170
7.6.2	Campo de presión y temperatura de la Península Ibérica	7-171
7.6.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-176
7.6.4	Campo de vientos.....	7-177
7.6.4.1	Península Ibérica.....	7-177
7.6.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-178
7.6.5	Energía cinética turbulenta.....	7-187
7.6.5.1	Península Ibérica.....	7-187

7.6.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-188
7.6.6	Modelo conceptual de una situación de SW-eR.....	7-189
7.6.7	Situación SW-eR: 20 de diciembre de 2002.....	7-191
7.6.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-191
7.6.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-194
7.6.7.3	Comparación entre distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-197
7.7	Situación NW-N: 31 de enero de 2003.....	7-199
7.7.1	Situación sinóptica: análisis y validación del dominio europeo.....	7-199
7.7.2	Campo de presión y temperatura de la Península Ibérica	7-199
7.7.3	Estructura vertical de la atmósfera.....	7-204
7.7.4	Campo de vientos.....	7-206
7.7.4.1	Península Ibérica.....	7-206
7.7.4.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-207
7.7.5	Energía cinética turbulenta.....	7-218
7.7.5.1	Península Ibérica.....	7-218
7.7.5.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-220
7.7.6	Modelo conceptual de las circulaciones que se acontecen en una situación del NW-N.....	7-221
7.7.6.1	Península Ibérica.....	7-221
7.7.6.2	Área geográfica de Catalunya.....	7-223
7.7.7	Validación de la simulación NW-N: 31 de enero de 2003	7-224
7.7.7.1	Dominio D2: Península Ibérica.....	7-225
7.7.7.2	Dominio D4: Área geográfica de Catalunya.....	7-226
7.7.7.3	Comparación entre las distintas resoluciones: D2-D3-D4	7-229
7.8	Conclusiones y discusión sobre el comportamiento del modelo mesoscalar al simular distintas situaciones sinópticas.....	7-231
7.8.1	Comportamiento del modelo mesoscalar simulando las siete situaciones meteorológicas.....	7-231
7.8.2	Influencia de la resolución horizontal.....	7-235
7.8.3	Influencia de la parametrización de la capa fronteriza	7-236

Parte IV: Conclusiones y bibliografía

8	Conclusiones y recomendaciones.....	8-1
8.1	Situaciones sinópticas que afectan a la Península Ibérica: un enfoque más objetivo.....	8-1
8.2	Modelo meteorológico mesoscalar: aplicaciones con elevada resolución.....	8-2
8.3	Simulación de distintas situaciones meteorológicas típicas.....	8-3
8.3.1	Campo de vientos de la Península Ibérica.....	8-3
8.3.2	Campo de vientos del área geográfica de Catalunya con elevada resolución.....	8-4

8.4	Recomendaciones y propuestas de continuidad.....	8-6
9	Bibliografía.....	9-1

Parte V- Anexos y apéndices (CD-ROM)

A1	Anexo 1: Resultados del modelo mesoscalar: Evolución horaria de los distintos campos meteorológicos para la Península Ibérica y el Área geográfica de Catalunya.	
A2	Anexo 2: Información meteorológica de los días de estudio.....	A-1
A2.1	Fuentes de información para la validación.....	A-1
A2.1.1	Análisis meteorológicos.....	A-1
A2.1.2	Medidas meteorológicas en superficie.....	A-1
A2.1.3	Medidas meteorológicas en altitud: radiosondeos.....	A-5
A2.1.4	Imágenes Meteosat.....	A-6
A2.2	Simulación W-W: 25 de diciembre de 2002.....	A-7
A2.2.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-7
A2.2.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-11
A2.2.3	Imagen Meteosat.....	A-12
A2.3	Simulación W-NW: 10 de octubre de 2000.....	A-13
A2.3.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-13
A2.3.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-14
A2.3.3	Imagen Meteosat.....	A-15
A2.4	Simulación W-wR: 14 de agosto de 2000.....	A-16
A2.4.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-16
A2.4.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-20
A2.4.3	Imagen Meteosat.....	A-20
A2.5	Simulación SW-wR: 28 de abril de 2003.....	A-21
A2.5.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-21
A2.5.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-25
A2.5.3	Imagen Meteosat.....	A-26
A2.6	Simulación R-eR: 12 de agosto de 2003.....	A-27
A2.6.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-27
A2.6.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-31
A2.6.3	Imagen Meteosat.....	A-31
A2.7	Simulación SW-eR: 20 de diciembre de 2002.....	A-32
A2.7.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-32
A2.7.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-36
A2.7.3	Imagen Meteosat.....	A-37
A2.8	Simulación NW-N: 31 de enero de 2003.....	A-38
A2.8.1	Observaciones de la velocidad y la dirección del viento a 10 m.....	A-38

A2.8.2	Radiosondeos de Barcelona.....	A-42
A2.8.3	Imagen Meteosat.....	A-43
Ap.A	Apéndice A: Metodología para la evaluación del modelo de pronóstico meteorológico.....	A-1
ApA.1	Estadísticos.....	A-1
ApA.2	Aplicación en superficie y altitud.....	A-4

Lista de Figuras

Figura 1.1 Diagrama sintético de los objetivos del presente tema de investigación.....	1-11
Figura 2.1 Localización de la Península Ibérica.....	2-1
Figura 2.2 Orografía de la Península Ibérica (Fuente: Ascón et al., 1991).....	2-3
Figura 2.3 (a) Usos del suelo de la Península Ibérica (Fuente: EEA, 2000); (b) Densidad de población de España por término municipal a 1 de enero de 2003 (Fuente: MAPA, 2004).....	2-4
Figura 2.4 Esquema de las fases de la Oscilación del Atlántico Norte.....	2-6
Figura 2.5 Esquema de los distintos climas de España (Fuente: INM).....	2-7
Figura 2.6 (a) Mapa de precipitación media anual en mm (período 1961-1990), y (b) temperatura media anual en °C para la Península Ibérica (Capel-Molina, 2000).....	2-10
Figura 2.7 Mapa de isobaras y vientos anuales (a) medios, (b) de enero, y (c) de julio en la Península Ibérica [Presión reducida a nivel del mar en hPa] (Capel-Molina, 2000).....	2-12
Figura 2.8 Unidades del relieve y principales accidentes geográficos del área geográfica de Catalunya (Fuente: Font et al., 1992; Bolòs et al., 1983).....	2-14
Figura 2.9 (a) Mapa de usos del suelo de Catalunya del año 1997 y (b) mapa de la densidad de población de Catalunya de 2001 (Fuente: Departament de Medi Ambient y Departament de Política Territorial i Obres Públiques).....	2-18
Figura 2.10 (a) Temperatura media anual en °C, (b) amplitud térmica media anual en °C, (c) precipitación media anual en mm, y radiación solar media anual en MJm ⁻² (Fuente: (a)-(c) Ninyerola et al., 2000; (d) Baldasano et al., 2004).....	2-20
Figura 2.11 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 1997 y 1998.....	2-23
Figura 2.12 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 1999 y 2000.....	2-24
Figura 2.13 Rosas de vientos de las estaciones XMET en Catalunya para el año 2001 (arriba), y calmas (%) registradas en las estaciones XMET interpoladas para el dominio de Catalunya (abajo).....	2-25
Figura 3.1 Estructura térmica de la atmósfera (Ahrens, 2000).	3-1
Figura 3.2 (a) Estructura térmica y evolución de la ABL en regiones con altas presiones sobre tierra, (b) evolución del perfil de temperatura potencial virtual media correspondientes a los instantes temporales S1, S2, S3, S4, S5, y S6 de (a) (Stull, 1988).....	3-3

Figura 3.3 Estructura de la capa de mezcla convectiva. Perfil de temperatura potencial virtual, velocidad del viento y relación de mezcla (Stull, 1988).....	3-4
Figura 3.4 Estructura de la capa estable nocturna. Perfiles de temperatura potencial virtual y viento medio durante la noche (Stull, 1988).....	3-5
Figura 3.5 Desarrollo de una TIBL en la interfase tierra-mar en función de la distancia (Lyons, 1975).....	3-7
Figura 3.6 Formación y evolución de la brisa de mar y tierra durante un ciclo diario (Fuente: COMET, 2001).....	3-8
Figura 3.7 Esquema de los vientos de montaña (Whitemann, 2000).....	3-10
Figura 3.8 Ciclo de los vientos de montaña (COMET, 2002).....	3-11
Figura 3.9 Evolución horaria de la dirección de los vientos en las laderas de un valle (Whitemann, 2000; adaptado de Hawkes (1947)).....	3-12
Figura 3.10 Perfil característico de los vientos de ladera (Whitemann, 2000).....	3-13
Figura 3.11 Desarrollo de los vientos de valle (Whitemann, 1990).....	3-14
Figura 3.12 Estructura esquemática vertical de la baja térmica ibérica deducida a partir de medidas meteorológicas y observaciones de calidad del aire (Millán et al., 1996).....	3-16
Figura 3.13 Perturbación orográfica de un flujo (Bougeault et al., 1990).....	3-18
Figura 3.14 (a) Onda de gravedad y (b) onda de gravedad a sotavento (Whitemann, 2000).....	3-19
Figura 3.15 Esquema de una rotura de una onda de montaña con un salto hidráulico y un rotor a sotavento (Whitemann, 2000).....	3-19
Figura 3.16 Esquema de una separación de flujos con la formación de vórtices a sotavento [Whitemann, 2000; adaptado de Orgill (1981)].....	3-21
Figura 3.17 Esquema del efecto Venturi (a) en un caso ideal, y (b) en un caso real (Fuente: COMET, 2003).....	3-22
Figura 3.18 Relación entre la dirección del viento en altitud y del viento dentro del valle para los mecanismos (a) canalización forzada, (b) canalización inducida por el gradiente de presión, y (c) transporte de momento descendente. Se asume que el valle presenta dirección NE-SW (Whitemann y Doran, 1993).....	3-23
Figura 4.1 Clasificación por agrupación por cúmulos de efectos en superficie (Ribalaygua y Borén, 1996).....	4-14
Figura 5.1 Evolución del RMSD-total en función del número de cúmulos utilizado. Caso particular de la clasificación	

	de las retrotrayectorias con destino en Barcelona a una altitud de 5500 m s.n.m.....	5-4
Figura 5.2	La Península Ibérica y la cuenca aérea Mediterránea.....	5-7
Figura 5.3	Los centroides del análisis de cúmulos a (a) 5500m, (b) 3000 m, y (c) 1500 m. Los números de los centroides indican el porcentaje de retro-trayectorias incluidas en ese cúmulo (arriba) y un número de identificación del centroide (abajo).....	5-8
Figura 5.4	(a)-(f) Representaciones de los seis cúmulos para las retro-trayectorias de cuatro días a 5500 m del período Julio 1997 a junio 2002 (Líneas negras: retro-trayectorias de invierno; líneas grises: retro-trayectorias de verano; línea blanca: centroide).....	5-9
Figura 5.5	Ídem Figura 5.4 pero para los siete cúmulos a 3000 m (a)-(g).....	5-12
Figura 5.6	Ídem Figura 5.4 pero para los seis cúmulos a 1500 m (a)-(f).....	5-13
Figura 5.7	Centroides resultantes del análisis de cúmulos de las retro-trayectorias de 5500 m para los años (a) 1998, (b) 1999, (c) 2000, y (d) 2001. Los números de los centroides indican el porcentaje de retro-trayectorias incluidas en ese cúmulo (arriba) y un número de identificación del centroide (abajo).....	5-16
Figura 5.8	Centroides a 1500 m de las retro-trayectorias invernales (diciembre a marzo) de (a) 1997-1998, (b) 1998-1999, (c) 1999-2000, (d) 2000-2001, y (e) 2001-2002. Los números de los centroides indican el porcentaje de retro-trayectorias incluidas en ese cúmulo (arriba) y un número de identificación del centroide (abajo).....	5-17
Figura 5.9	Distribución mensual de los cúmulos a (a) 5500 m, (b) 3000 m, y (c) 1500 m s.n.m en porcentaje (Los valores de porcentaje están calculados con relación a las 3565 retro-trayectorias utilizadas en el análisis de cúmulos).....	5-18
Figura 5.10	Retro-trayectorias FNL de cuatro días con destino en Barcelona a las 0, 12 y 24 UTC de los días (a) 25 de diciembre de 2002, (b) 10 de noviembre de 2000, (c) 14 de agosto de 2000, (d) 28 de abril de 2003, (e) 12 de agosto de 2003, (f) 20 de diciembre de 2002, (g) 31 de enero de 2003 correspondientes a las situaciones meteorológicas a simular con el modelo mesoscalar	5-23
Figura 6.1	Espectro de modelos numéricos meteorológicos (Meso, 1997).....	6-5
Figura 6.2	Malla de trabajo de un modelo global (negro), un modelo regional (azul) y un modelo mesoscalar (rojo) (García-Moya, 2003).....	6-6

Figura 6.3 Interacción entre procesos atmosféricos (MMMD/NCAR, 2001).....	6-9
Figura 6.4 Coordenadas verticales cartesianas y sigma (Hernández, 1995).....	6-10
Figura 6.5 Celda de un NWP (Stull, 2000).....	6-11
Figura 6.6 Módulos de un NWP.....	6-11
Figura 6.7 Diagrama de flujo del sistema MM5 (MMMD/NCAR, 2001).....	6-23
Figura 6.8 Coordenadas verticales sigma.....	6-24
Figura 6.9 Discretización horizontal según el escalonamiento Arakawa-Lamb B de MM5.....	6-24
Figura 6.10 Zona geográfica de Barcelona con resolución de 5 km (izquierda) y 2 km (derecha).....	6-28
Figura 6.11 Definición de los dominios de trabajo.....	6-29
Figura 6.12 Definición de los dominios.....	6-36
Figura 6.13 Análisis a 500 hPa para el 29 de mayo de 2000 a les 00 UTC (Líneas sólidas: geopotencial [m]; líneas discontinuas: isotermas [K]; vectores: vientos a 500 hPa).....	6-37
Figura 6.14 Análisis en superficie para el 29 de mayo de 2000 a les 00 UTC (Líneas sólidas: isóbaras [hPa]; vectores: campo de vientos en superficie).....	6-37
Figura 6.15 Análisis a 500 hPa para el 14 de agosto de 2000 a les 00 UTC (Líneas sólidas: geopotencial [m]; líneas discontinuas: isotermas [K]; vectores: vientos a 500 hPa).....	6-38
Figura 6.16 Análisis en superficie para el 29 de mayo de 2000 a les 00 UTC (Líneas sólidas: isóbaras [hPa]; vectores: campo de vientos en superficie).....	6-38
Figura 6.17 Campo de líneas de corriente superficial a las 12 UTC para el 29 de mayo de 2000, para los dominios D3 one-way (arriba a la izquierda con D4 indicado con un recuadro), D3 two-way (arriba a la derecha), D4 one-way (abajo a la izquierda) y D4 two-way (abajo a la derecha) con la parametrización ETA.....	6-39
Figura 6.18 Localización de los cortes verticales realizados en el dominio D3.....	6-40
Figura 6.19 Cortes verticales en D3 a $x = 8$ y $x = 36$ para el 29 de mayo de 2000 a las 12 UTC de las simulaciones ETA [(arriba a la izquierda: sección $x = 8$ de D3 one-way; arriba a la derecha: sección a $x = 8$ de D3 two-way; abajo a la izquierda: sección a $x = 36$ de D3 one-way; abajo a la derecha: sección a $x = 36$ de D3 two-way con los límites laterales de D4 marcados con línea discontinua); la componente vertical del viento se ha multiplicado por un factor 10].....	6-41
Figura 6.20 Energía cinética turbulenta (TKE) (J/kg) del dominio D3 a les 2, 9, 14 y 24 UTC para las simulaciones ETA (Izquierda: one-way; Derecha: two-way). Las figuras representen una visión en planta de los valores de TKE	

	3D, y se ha aplicado una curva de transparencia que no muestra los valores más bajos de TKE (azul marino).....	6-42
Figura 6.21	Evolución del RMSVE para D3 (izquierda) y D4 (derecha) con la configuración ETA utilizando one-way (línea azul) y two-way (línea rosa) para el 29 de mayo de 2000.....	6-42
Figura 6.22	Perfil vertical de las componentes del viento horizontales U (izquierda) y V (derecha) a las 12 UTC (arriba) y 24 UTC (abajo) del día 29 de mayo de 2000 (Línea azul: radiosondeo; línea rosa: simulación one-way; línea amarilla: simulación two-way).....	6-43
Figura 6.23	Campo de líneas de corriente superficial a las 12 UTC para el 14 de agosto de 2000, para los dominios D3 one-way (arriba a la izquierda con D4 indicado con un recuadro), D3 two-way (arriba a la derecha), D4 one-way (abajo a la izquierda) y D4 two-way (abajo a la derecha) con la parametrización ETA.....	6-44
Figura 6.24	Cortes verticales en D3 a $x = 36$ y $y = 43$ para el 14 de agosto de 2000 a las 12 UTC de las simulaciones ETA [(arriba a la izquierda: sección $x = 36$ de D3 one-way; arriba a la derecha: sección a $x = 36$ de D3 two-way; abajo a la izquierda: sección a $y = 43$ de D3 one-way; abajo a la derecha: sección a $y = 43$ de D3 two-way con los límites laterales de D4 marcados con línea discontinua); la componente vertical del viento se ha multiplicado por un factor 10].....	6-45
Figura 6.25	Evolución del RMSVE para D3 (izquierda) y D4 (derecha) con la configuración ETA utilizando one-way (línea azul) y two-way (línea rosa) para el 14 de agosto de 2000.....	6-46
Figura 6.26	Mapa global de usos del suelo USGS de 30'' de resolución (USGS, 2002).....	6-49
Figura 6.27	Albedo (%), emisividad e inercia térmica ($\text{cal/cm K s}^{1/2}$) para el mes de junio de 2000 (Pineda y Jorge, 2002).....	6-51
Figura 6.28	NATure/LANd Cover Map CORINE (EEA, 2000).....	6-52
Figura 6.29	Mapa de usos del suelo USGS (arriba) y CORINE (abajo) con una resolución de 30''.....	6-53
Figura 6.30	Diferencias entre CORINE+AVHRR y USGS-Original de los parámetros físicos del suelo (a) albedo (%), (b) disponibilidad de humedad (tanto por uno), (c) emisividad (% a 9 mm), (d) longitud de rugosidad (cm), (e) inercia térmica ($\text{cal cm}^{-2} \text{K}^{-1} \text{s}^{-1/2}$) para el dominio D4.....	6-56
Figura 6.31	Diferencia porcentual de la temperatura del suelo (CORINE-USGS) para el dominio D4 a las 15 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	6-57

Figura 6.32	Diferencias porcentuales de la temperatura del suelo (color) a las 14 UTC para el subdominio de Barcelona (Líneas de contorno: orografía).....	6-58
Figura 6.33	Diferencias en el campo de vientos superficial para el subdominio de Barcelona a las 14 UTC (Izquierda: campo de vientos superficial de la simulación USGS, derecha: campo de vientos diferencia CORINE-USGS y diferencia en la magnitud del viento en color; Líneas de contorno: orografía).....	6-58
Figura 6.34	Diferencias porcentuales de la temperatura del suelo (color) a las 14 UTC para el subdominio de Catalunya central (Líneas de contorno: orografía).....	6-59
Figura 6.35	Diferencias en el campo de vientos superficial para el subdominio de la Catalunya central a las 14 UTC (Izquierda: campo de vientos superficial de la simulación USGS, derecha: campo de vientos diferencia CORINE-USGS y diferencia en la magnitud del viento en color; Líneas de contorno: orografía).....	6-59
Figura 6.36	Corte vertical N-S del campo de vientos a las 15 UTC a lo largo de la longitud 1.55 E (Arriba: simulación CORINE, abajo: simulación USGS).....	6-60
Figura 6.37	Diferencias porcentuales de la temperatura del suelo (color) a las 14 UTC para el subdominio de Osona (Líneas de contorno: orografía).....	6-60
Figura 6.38	Diferencias en la radiación solar incidente de onda corta en superficie (color) entre la simulación CORINE y USGS para el subdominio de Osona (Líneas de contorno: orografía).....	6-61
Figura 6.39	Evolución de la temperatura del suelo y de la irradiancia incidente a 42 N 2.25E (Línea roja: irradiancia incidente para la simulación CORINE; línea amarilla: irradiancia incidente para la simulación USGS; línea verde: temperatura del suelo CORINE; línea negra: temperatura del suelo USGS).....	6-62
Figura 6.40	Diferencias en el campo de vientos superficial para el subdominio de Osona a las 14 UTC (Izquierda: campo de vientos superficial de la simulación USGS, derecha: campo de vientos diferencia CORINE-USGS y diferencia en la magnitud del viento en color; Líneas de contorno: orografía).....	6-62
Figura 6.41	Evolución del RMSE (curvas superiores) y el BIAS (curvas inferiores) para la temperatura (°C) a 2 m (Línea discontinua: CORINE, línea continua: USGS)...	6-63
Figura 6.42	Evolución del RMSVE del viento (ms-1) a 10 m (Línea discontinua: CORINE, línea continua: USGS).....	6-63
Figura 6.43	Diferencias de (a) albedo, (b) emisividad y (c) inercia térmica introducidas en MM5 para el AGC.....	6-65
Figura 6.44	Dominio de estudio.....	6-65

Figura 6.45	Dominios para preparar los datos de inicialización y condiciones de contorno del dominio de estudio.....	6-66
Figura 6.46	(a) BIAS de la temperatura del aire a 2 m, (b) RMSE de la temperatura del aire a 2 m, (c) BIAS de la velocidad del viento a 10 m, y (d) RMSE de la velocidad del viento a 10 m para cada simulación respecto de la simulación Def.....	6-69
Figura 6.47	TKE (J/kg) a las 13 UTC para las simulaciones (a) Def, (b) ALL, (c) Alb, (d) Emi, y (e) IT.....	6-70
Figura 6.48	BIAS y RMSE de la temperatura del aire a 2 m de las cinco simulaciones Def, Alb, Emis, IT y ALL (Modelo menos observaciones).....	6-72
Figura 6.49	Evolución del BIAS y RMSE de la velocidad del viento a 10 m y RMSVE del viento a 10 m de las cinco simulaciones Def, Alb, Emis, IT y ALL (Modelo menos observaciones).....	6-73
Figura 6.50	Evolución del (a) RMSE de la temperatura del aire a 2 m, (b) RMSE de la velocidad del viento a 10 m y (c) RMSVE del viento a 10 m (Línea azul: Default-USGS, línea rosa: ALL-USGS, línea amarilla: CORINE).....	6-75
Figura 6.51	Evolución del RMSE y el BIAS de la temperatura del aire en el primer nivel del modelo para el período del 13 al 16 de agosto de 2000.....	6-81
Figura 6.52	Evolución del RMSE de la velocidad del viento en el primer nivel del modelo para el período del 13 al 16 de agosto de 2000.....	6-82
Figura 6.53	Evolución del BIAS de la velocidad del viento en el primer nivel del modelo para el período del 13 al 16 de agosto de 2000.....	6-83
Figura 6.54	Evolución del RMSE de la dirección del viento en el primer nivel del modelo para el período del 13 al 16 de agosto de 2000.....	6-84
Figura 6.55	Perfil de la temperatura potencial a las 12 UTC del día 14 de agosto de 2000 obtenido a partir del radiosondeo de Barcelona y las simulaciones con las distintas parametrizaciones de la capa fronteriza...	6-85
Figura 7.1	Dominio de (a) la Península Ibérica con los cortes verticales realizados para las descripciones en rojo y negro y (b) el AGC con las cuatro regiones de estudio indicadas en colores y el corte vertical realizado en negro.....	7-2
Figura 7.1.1	Análisis a 500, 850 hPa y superficie a las 12UTC del día 25 de diciembre de 2002 (arriba) y resultados correspondientes para el dominio D1 (abajo).....	7-4
Figura 7.1.2	Topografía de (a) 850, (b) 500 y (c) 300 hPa a las 12 UTC del día 25 de diciembre de 2002 [Resultados del dominio D2].....	7-5
Figura 7.1.3	Evolución del campo de presiones en superficie reducida a nivel del mar, campo de vientos y temperatura	

	en superficie cada cuatro horas para el día 25 de diciembre de 2002 [Resultados del dominio D2; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1].....	7-6
Figura 7.1.4	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y la energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 6, 12, 18 y 24 UTC del 25 de diciembre de 2002 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color negro).....	7-9
Figura 7.1.5	Líneas de corriente y velocidad de los flujos a 36 m s.n.t. (izquierda) y 220 m s.n.t. (derecha) a las 12 UTC del día 25 de diciembre de 2002 (Contornos de colores: velocidad horizontal del viento; líneas de corriente en negro; líneas de contorno negras: orografía; Resultados del dominio D3).....	7-11
Figura 7.1.6	Evolución cada cuatro horas del campo de vientos superficial y la temperatura del aire en el primer nivel del modelo para el día 25 de diciembre de 2002 [Resultados del dominio D4; los vectores se han representado cada tres celdas; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1; Las líneas de colores del panel superior localizan los cortes verticales realizados].....	7-13
Figura 7.1.7	Campo de vientos superficial a las 3 y 12 UTC para la región Terres de l'Ebre para el día 25 de diciembre de 2002 (Resultados dominio D4; contorno color: orografía).....	7-16
Figura 7.1.8	(a) Campo de vientos en superficie a las 4 UTC, y (b) corte vertical a las 8 UTC de la región central del dominio D4 para el día 25 de diciembre de 2002 [(a) líneas de contorno de colores: orografía; (b) la localización del corte se detalla en la Figura 7.1.6 con una línea negra].....	7-17
Figura 7.1.9	(a) Campo de vientos en superficie y drenajes nocturnos desde (b) Pla de Bages, y (c) Plana de Vic a las 0 UTC del día 25 de diciembre de 2002 [(b) localización del corte indicada en la Figura 7.1.6 en color rojo; (c) localización del corte indicada en la Figura 7.1.6 en color azul].....	7-19
Figura 7.1.10	Flujos en superficie a las 5 y 12 UTC de la región nordeste del dominio D4 para el día 25 de diciembre de 2002 [contornos de colores: orografía; flecha discontinua: canalización].....	7-20
Figura 7.1.11	Flujos en superficie a las 5 UTC de los Pirineos en el dominio D4 para el día 25 de diciembre de 2002 [contornos de colores: velocidad del viento en m/s; línea negra: líneas de corriente; línea blanca: orografía].....	7-21
Figura 7.1.12	Energía cinética turbulenta y líneas de corriente en el tercer nivel del modelo a las 6, 12, 18 y 24 UTC	

	del día 25 de diciembre de 2002 (Resultados del dominio D2).....	7-22
Figura 7.1.13	Energía cinética turbulenta en la tercera capa del dominio D4 a las 0, 6, 12 y 18 UTC para el día 25 de diciembre de 2002.....	7-24
Figura 7.1.14	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-W. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 00 UTC del 25 de diciembre de 2002 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; línea blanca: circulación a 500 hPa; línea negra: circulación en superficie].....	7-25
Figura 7.1.15	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en el área geográfica de Catalunya durante una situación de W-W. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 00 UTC del 25 de diciembre de 2002 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad internas; línea roja discontinua: zona con circulaciones locales débiles; línea blanca: circulación a 500 hPa; línea negra: circulación en superficie].....	7-26
Figura 7.1.16	Evolución temporal del RMSE y BIAS de la temperatura a 2 m del día 25 de diciembre de 2002 para los resultados del dominio D2.....	7-28
Figura 7.1.17	BIAS de la temperatura a 2 m interpolado entre estaciones para el dominio D2 de la Península Ibérica a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC, y el valor medio para toda la simulación del día 25 de diciembre de 2002 (Las estaciones utilizadas se muestran en el panel de abajo a la derecha en rojo).....	7-29
Figura 7.1.18	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 25 de diciembre de 2002.....	7-31
Figura 7.1.19	(a) BIAS de la velocidad y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC del día 25 de diciembre de 2002 (Las estaciones utilizadas se marcan con un punto verde para la velocidad y en rojo para la dirección).....	7-32
Figura 7.1.20	Perfil de velocidad (izquierda) y dirección (derecha) del viento a las 12 UTC del día 25 de diciembre de 2002 (Verde: radiosondeo de Barcelona; Azul: resultados del modelo).....	7-33
Figura 7.1.21	Evolución del BIAS y RMSE para la (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 25 de diciembre de 2002.....	7-34
Figura 7.2.1	(a) Análisis a 500 hPa (color) y presión en superficie (líneas de contorno negras), (b) temperatura	

	y viento a 850 hPa, (c) resultados del modelo a 500 hPa y superficie, (d) resultados del modelo a 850 hPa a las 12 UTC del día 10 de octubre de 2000.....	7-36
Figura 7.2.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y campo de vientos en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 10 de octubre de 2000 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-38
Figura 7.2.3	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 00, 6, 12 y 18 UTC del 10 de octubre de 2000 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color rojo)....	7-41
Figura 7.2.4	Líneas de corriente y velocidad de los flujos a 36 m s.n.t. (izquierda) y 675 m s.n.t. (derecha) a las 10 UTC del día 10 de octubre de 2000 (Contornos de colores: velocidad horizontal del viento; líneas de corriente en negro; líneas de contorno negras: topografía; Resultados del dominio D3).....	7-43
Figura 7.2.5	Evolución cada cuatro horas del campo de vientos superficial y la temperatura del aire en el primer nivel del modelo con elevada resolución espacial (2 km) para el día 10 de octubre de 2000 (Resultados dominio D4; los vectores se han representado cada tres celdas; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1).....	7-44
Figura 7.2.6	Campo de vientos superficial a las 00 y 23 UTC para el dominio de Terres de l'Ebre del día 10 de octubre de 2000.....	7-48
Figura 7.2.7	Campo de vientos superficial a las (a) 2 y (b) 22 UTC para el dominio de Pla de Bages y Plana de Vic del día 10 de octubre de 2000, y corte vertical de la velocidad del viento horizontal y del campo de vientos a las (c) 2 y (d) 22 UTC [Localización del corte indicada en la Figura 7.2.5 con una línea negra].....	7-49
Figura 7.2.8	Campo de vientos superficial a las 3 y 23 UTC para el dominio del litoral sur del día 10 de octubre de 2000.....	7-50
Figura 7.2.9	Campo de vientos superficial a las 3 y 12 UTC para el dominio del litoral central del día 10 de octubre de 2000.....	7-51
Figura 7.2.10	Campo de vientos superficial a las 13 y 24 UTC para una región central de los Pirineos el día 10 de octubre de 2000.....	7-52
Figura 7.2.11	Energía cinética turbulenta y líneas de corriente en el tercer nivel del modelo a las 6, 12, 18 y 24 UTC del día 10 de octubre de 2000 (Resultados del dominio D2).....	7-54
Figura 7.2.12	Corte vertical de la energía cinética turbulenta a las 0, 7, 12 y 24 UTC para el día 10 de octubre de 2000	

	(Resultados del dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....	7-55
Figura 7.2.13	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-NW. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 00 UTC del 10 de octubre de 2000 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie].....	7-56
Figura 7.2.14	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en el área geográfica de Catalunya durante una situación de W-NW. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 06 UTC del 10 de octubre de 2000 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; línea roja discontinua: zona con circulaciones locales débiles; línea blanca: circulación a 500 hPa; línea negra: circulación en superficie; Línea amarilla: zona con vientos débiles en superficie y altitud].....	7-57
Figura 7.2.15	Evolución temporal del RMSE y BIAS de la temperatura a 2 m del día 10 de octubre 2000 para los resultados del dominio D2.....	7-58
Figura 7.2.16	BIAS de la temperatura a 2 m interpolado entre estaciones para el dominio de la Península Ibérica a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC, y el valor medio para toda la simulación del día 10 de octubre de 2000 (Las estaciones utilizadas se presentan en el último panel en rojo).7-59	
Figura 7.2.17	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 10 de octubre de 2000.....	7-61
Figura 7.2.18	(a) BIAS de la velocidad y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC del 10 de octubre de 2000 (Las estaciones utilizadas se marcan con un punto verde para la velocidad y en rojo para la dirección).....	7-62
Figura 7.2.19	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (d) dirección horizontal del viento a 10 m para el 10 de octubre de 2000.....	7-64
Figura 7.3.1	Análisis a 500, 850 y superficie a las 12 UTC del día 14 de agosto de 2000 (arriba) y resultados correspondientes del dominio D1 (abajo).....	7-65
Figura 7.3.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y velocidad del viento en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 14 de agosto de 2000 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-67

Figura 7.3.3	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y la energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 00, 06, 12 y 18 UTC del 14 de agosto de 2000 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color negro)...	7-71
Figura 7.3.4	Flujos a 182 m s.n.t. a las 3 y 14 UTC para el día 14 de agosto de 2000 (Resultados del dominio D3).....	7-74
Figura 7.3.5	Campo de vientos superficial y temperatura del aire en el primer nivel del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC para el día 14 de agosto de 2000 [Evolución horaria en el Anexo 1; en línea negra localización de los corte verticales a y b de la Figura 7.3.14].....	7-75
Figura 7.3.6	Campo de vientos superficial para el subdominio de las Terres de l'Ebre a las 2 y 12 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	7-78
Figura 7.3.7	Campo de vientos superficial para el subdominio de las Terres de l'Ebre a las 2 y 12 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	7-79
Figura 7.3.8	Campo de vientos superficial para el subdominio de Pla de Bages y Plana de Vic a las 3 y 14 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	7-80
Figura 7.3.9	Perfil de la velocidad (izquierda) y dirección (derecha) del viento para un punto localizado en el Pla de Bages a 41.95°N 2.25°E a las 2 UTC (línea negra) y 12 UTC (línea verde) del día 14 de agosto de 2000 [Escala vertical en presión (hPa)].....	7-81
Figura 7.3.10	Campo de vientos superficial para el subdominio del litoral sur y central a las 8 y 12 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	7-82
Figura 7.3.11	Campo de vientos superficial para el subdominio del litoral sur y central a las 8 y 12 UTC del día 14 de agosto de 2000.....	7-83
Figura 7.3.12	Campo de vientos superficial a las 3 y 14 UTC del día 14 de agosto de 2000 de los Pirineos orientales (Localización de los cortes de la Figura 7.3.13 en el panel inferior).....	7-84
Figura 7.3.13	Corte vertical de los vientos y la temperatura potencial a las 3 UTC (a, b) y 14 UTC (c, d) [La localización de los cortes se indica en la Figura 7.3.12 en color rojo para (a, c) y en color negro para (b, d)].....	7-85
Figura 7.3.14	Corte vertical del campo de vientos, temperatura potencial y relación de mezcla para el día 14 de agosto de 2000 (a) a las 11 UTC (corte litoral sur-Pirineos) y (b) 16 UTC (corte litoral central-Pirineos) [La localización de los cortes se indican en la Figura 7.3.5].....	7-87

Figura	7.3.15	Retro-trayectorias con destino en Barcelona calculadas a partir de los resultados del dominio D4 para el día 14 de agosto de 2000 (Pérez et al. 2004).....	7-88
Figura	7.3.16	Energía cinética turbulenta y líneas de corriente a las 8, 12, 16 y 24UTC del día 14 de agosto de 2000 en el quinto nivel del dominio D2 (aproximadamente 200 m)	7-89
Figura	7.3.17	Corte vertical de la energía cinética turbulenta a las 8, 12, 16 y 17 UTC para el día 14 de agosto de 2000 (Resultados del dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....	7-91
Figura	7.3.18	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-wR en régimen diurno. Líneas de corriente y temperatura en superficie a las 12 UTC del 14 de agosto de 2000 [Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie; Línea roja: zona con desarrollo de vientos de montaña; Línea azul: zona con forzamientos orográficos induciendo recirculaciones de masas de aire].....	7-92
Figura	7.3.19	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-wR en régimen diurno. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 14 de agosto de 2000 [Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie; Línea roja: zona con desarrollo de vientos de montaña; Línea azul: zona con forzamientos orográficos induciendo recirculaciones de masas de aire].....	7-93
Figura	7.3.20	Evolución temporal del RMSE y BIAS de la temperatura a 2 m del día 14 de agosto de 2000	7-94
Figura	7.3.21	BIAS de la temperatura a 2 m interpolado entre estaciones para el dominio de la Península Ibérica a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC, y el valor medio para toda la simulación (Las estaciones utilizadas se presentan con puntos rojos).....	7-95
Figura	7.3.22	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 14 de agosto de 2000.....	7-97
Figura	7.3.23	(a) BIAS de la velocidad y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC del día 25 de diciembre de 2002 (Las estaciones utilizadas se marcan con un punto verde para la velocidad y en rojo para la dirección).....	7-98
Figura	7.3.24	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (d)	

	dirección horizontal del viento a 10 m para el 14 de agosto de 2000.....	7-100
Figura 7.4.1	Análisis a 500, 850 y superficie a las 12 UTC del día 28 de abril de 2003 (arriba) y resultados correspondientes del dominio D1 (abajo).....	7-102
Figura 7.4.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y campo de vientos en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 28 d'abril de 2003 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-104
Figura 7.4.3	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 00, 6, 12 y 18 UTC del 28 de abril de 2003 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color rojo)	7-107
Figura 7.4.4	Flujos a 220 m s.n.t. a las 2 y 12 UTC para el día 28 de abril de 2003 (Resultados dominio D3).....	7-110
Figura 7.4.5	Evolución cada cuatro horas del campo de vientos superficial y la temperatura del aire en el primer nivel del modelo con elevada resolución espacial (2 km) para el día 28 d'abril de 2003 (Resultados dominio D4; los vectores se han representado cada tres celdas; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1).....	7-112
Figura 7.4.6	Campo de vientos superficial para el subdominio de las Terres de l'Ebre a las 5 y 14 UTC del día 28 de abril de 2003.....	7-115
Figura 7.4.7	Campo de vientos del subdominio de Pla de Lleida (a) a las 10 UTC y (b) 16 UTC; (c) perfil vertical del viento, temperatura potencial y TKE a las 12 UTC del día 28 de abril de 2003 [Localización del corte indicada en (a) con una línea negra].....	7-117
Figura 7.4.8	Campo de vientos del subdominio del Pla de Bages y Plana de Vic a las 5 UTC (izquierda) y 14 UTC (derecha) del 28 de abril de 2003.....	7-118
Figura 7.4.9	Campo de vientos del subdomino de los Pirineos occidentales a las 2 UTC (izquierda) y 15 UTC (derecha) del 28 de abril de 2003.....	7-122
Figura 7.4.10	Campo de vientos del subdomino de los Pirineos orientales a las 12 UTC (izquierda) y 22 UTC (derecha) del 28 de abril de 2003.....	7-123
Figura 7.4.11	Trayectorias de masas de aire con origen en Tarragona (azul) y Barcelona (rojo) a 72 m s.n.m. para el período 11 a 24 UTC (Cada flecha en la trayectoria indica un paso de tiempo de una hora; la altitud se indica con el tamaño de la flecha; la leyenda de la altitud de la trayectoria se adjunta en coordenadas sigma en la parte inferior derecha en rojo).....	7-124

Figura 7.4.12	Energía cinética turbulenta y líneas de corriente a las 4, 12, 16 y 24 UTC del día 28 de agosto de 2003 (Resultados dominio D2).....	7-126
Figura 7.4.13	Corte vertical de la energía cinética turbulenta a las 8, 12, 16 y 24 UTC para el día 28 de abril de 2003 (Resultados del dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....	7-127
Figura 7.4.14	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-wR. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 28 de abril de 2003 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie].....	7-128
Figura 7.4.15	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de SW-wR. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 28 de abril de 2003 [Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie; Línea roja: zona con circulaciones locales débiles; Línea naranja: zona con desarrollo de ondas de gravedad].....	7-129
Figura 7.4.16	Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (d) dirección horizontal del viento a 10 m para el 28 de abril de 2003.....	7-132
Figura 7.4.17	(a) BIAS de la dirección del viento a 10 m y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC (Las estaciones utilizadas se han marcado con un punto verde para la velocidad y rojo para la dirección).....	7-133
Figura 7.4.18	Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 28 de abril de 2000.....	7-135
Figura 7.5.1	Análisis a 500, 850 y superficies a las 12 UTC del día 12 de agosto de 2003 (arriba) y resultados correspondientes del dominio D1 (abajo).....	7-137
Figura 7.5.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y campo de vientos en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 12 de agosto de 2003 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-139
Figura 7.5.3	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y la energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 06, 12, 18 y 24 UTC del día 12 de agosto de 2003 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color negro).....	7-142

- Figura 7.5.4 Evolución cada cuatro horas del campo de vientos superficial y la temperatura del aire en el primer nivel del modelo con elevada resolución espacial (2 km) para el día 12 de agosto de 2003 (Resultados dominio D4; los vectores se han representado cada tres celdas; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1).....7-147
- Figura 7.5.5 (a) Campo de vientos superficial del subdominio de Terres de l'Ebre a las 4 UTC, (b) perfil vertical del campo de vientos y la energía cinética turbulenta a las 12 UTC para el día 12 de agosto de 2003 [Corte indicado en (a) con una línea negra].....7-150
- Figura 7.5.6 Campo de vientos superficial del subdominio de Pla de Lleida a las 2 UTC y 12 UTC para el día 12 de agosto de 2003.....7-151
- Figura 7.5.7 Campo de vientos superficial del subdominio del litoral sur y central a las 4 UTC y 14 UTC para el día 12 de agosto de 2003.....7-154
- Figura 7.5.8 Campo de vientos superficial del subdominio del litoral norte a las 3 UTC y 12 UTC para el día 12 de agosto de 2003.....7-156
- Figura 7.5.9 Trayectorias de masas de aire con origen en Tarragona (azul) y Barcelona (rojo) a 36 m s.n.m. para el período 11 a 24 UTC (Cada flecha en la trayectoria indica un paso de tiempo de una hora; la altitud se indica con el tamaño de la flecha; la leyenda de la altitud de la trayectoria se adjunta en coordenadas sigma en la parte inferior derecha en rojo).....7-158
- Figura 7.5.10 Energía cinética turbulenta y líneas de corriente superficial a las 8, 12, 16 y 24 UTC del día 12 de agosto de 2003 en el quinto nivel del dominio D27-159
- Figura 7.5.11 Corte vertical de la energía cinética turbulenta a las 9, 13, 15 y 17 UTC para el día 12 de agosto de 2003 (Resultados del dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....7-161
- Figura 7.5.12 Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-wR en régimen diurno. Líneas de corriente y temperatura en superficie a las 12 UTC del 14 de agosto de 2000 [Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie; Línea roja: zona con desarrollo de vientos de montaña; Línea azul: zona con forzamientos orográficos induciendo recirculaciones de masas de aire].....7-162
- Figura 7.5.13 Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de W-wR en régimen diurno. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 14 de agosto de 2000 [Línea blanca: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie; Línea roja: zona

	con desarrollo de vientos de montaña; Línea azul: zona con forzamientos orográficos induciendo recirculaciones de masas de aire].....	7-163
Figura 7.5.14	Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) RMSE de la dirección horizontal del viento a 10 m para el 12 de agosto de 2003.....	7-166
Figura 7.5.15	(a) BIAS de la dirección del viento a 10 m y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC (Las estaciones utilizadas se han marcado con un punto verde para la velocidad y rojo para la dirección).....	7-167
Figura 7.5.16	Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 12 de agosto de 2003.....	7-169
Figura 7.6.1	Análisis a 500, 850 y superficie a las 12 UTC del día 20 de diciembre de 2002 (arriba) y resultados correspondientes del dominio D1 (abajo).....	7-171
Figura 7.6.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y velocidad del viento en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 20 de diciembre de 2002 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-173
Figura 7.6.3	Corte vertical del campo de vientos (vectores), la temperatura potencial (líneas de contorno) y energía cinética turbulenta (escala de grises) a las 00, 6, 12 y 22 UTC del 20 de diciembre de 2002 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color rojo).....	7-176
Figura 7.6.4	Flujos a 72 (izquierda) y 750 m s.n.t.(derecha) a las 12 UTC para el día 20 de diciembre de 2002 (Resultados dominio D3).....	7-179
Figura 7.6.5	Campo de vientos superficial y temperatura del aire en el primer nivel del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC para el día 20 de diciembre de 2002 (Evolución horaria en el Anexo 1).....	7-180
Figura 7.6.6	Campo de vientos a las 2 UTC (izquierda) y 15 UTC (derecha) para el subdominio de Terres de l'Ebre del día 20 de diciembre de 2002.....	7-183
Figura 7.6.7	Perfil de la velocidad (izquierda) y dirección (derecha) del viento a las 2 UTC (línea verde) y 14 UTC (línea negra) para el día 20 de diciembre de 2002 en el punto 41.5N 0.5E [Coordenada vertical sigma].....	7-184
Figura 7.6.8	Campo de vientos a las 2 UTC (izquierda) y 22 UTC (derecha) para el subdominio de los Pirineos del día 20 de diciembre de 2002.....	7-186
Figura 7.6.9	Columna de trayectorias de masas de aire que pasan a las 00 UTC por 41.781°N 1.727°E para el día 20 de	

	diciembre	de
	2000.....	7-186
Figura	7.6.10 Energía cinética turbulenta y líneas de corriente a las 4, 12, 16 y 24 UTC del día 20 de diciembre de 2002 en la tercera capa del modelo (Resultados dominio D2).....	7-187
Figura	7.6.11 Corte vertical de la energía cinética turbulenta a las 00 y 12 UTC para el día 20 de diciembre de 2002 (Resultados dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....	7-188
Figura	7.6.12 Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de SW-eR. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 20 de diciembre de 2002 [Línea roja discontinua: zonas con circulaciones en superficie débiles; Línea azul claro: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie]...	7-189
Figura	7.6.13 Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en el área geográfica de Catalunya durante una situación de SW-eR. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 20 de diciembre de 2002 [Línea roja discontinua: zona con circulaciones locales débiles; línea azul claro: circulación a 500 hPa; línea negra: circulación en superficie].....	7-190
Figura	7.6.14 Evolución temporal del RMSE y BIAS de la temperatura a 2 m de los resultados del dominio D2 para el día 20 de diciembre de 2002 calculados a partir de las estaciones INM.....	7-191
Figura	7.6.15 BIAS de la temperatura a 2 m interpolado entre estaciones para el dominio de la Península Ibérica a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC, y el valor medio para toda la simulación (Las estaciones utilizadas se indican marcan en color rojo en el panel inferior derecho).....	7-192
Figura	7.6.16 Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m y (c) RMSE de la dirección horizontal del viento a 10 m para el 20 de diciembre de 2002 calculado a partir de las estaciones XMET.....	7-194
Figura	7.6.17 (a) BIAS de la dirección del viento a 10 m y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC (Las estaciones utilizadas se marcan con un punto verde para la velocidad y rojo para la dirección)	7-195
Figura	7.6.18 Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 20 de diciembre de 2003 calculado a partir de las estaciones XMET.....	7-197

Figura 7.7.1	Análisis a 500, 850 y superficie a las 12 UTC del día 31 de enero de 2003 (arriba) y resultados correspondientes del dominio D1 (abajo).....	7-200
Figura 7.7.2	Evolución del campo de presión reducida a nivel del mar, temperatura y campo de vientos en la primera capa del modelo a las 4, 8, 12, 16, 20 y 24 UTC del día 31 de enero 2003 (Resultados del dominio D2; evolución horaria en el Anexo 1).....	7-201
Figura 7.7.3	Corte vertical en la Península Ibérica de la temperatura potencial, la energía cinética turbulenta (TKE), y campo de vientos a las 0, 6, 12 y 24 UTC para el día 31 de enero de 2003 (La localización del corte se indica en la Figura 7.1a en color rojo).....	7-205
Figura 7.7.4	Evolución cada cuatro horas del campo de vientos superficial y la temperatura del aire en el primer nivel del modelo con elevada resolución espacial (2 km) para el día 12 de agosto de 2003 (Resultados dominio D4; los vectores se han representado cada tres celdas; la evolución horaria se adjunta en el Anexo 1).....	7-208
Figura 7.7.5	Campo de vientos superficial del subdominio de la tierras del Ebro a las 12 y 24 UTC del 31 de enero de 2003 (En blanco líneas de corriente de los vectores del viento y en escala de colores la velocidad horizontal del viento en m/s).....	7-211
Figura 7.7.6	Campo de vientos superficial del subdominio de Pla de Lleida y Pana d'Urgell a las 10 y 24 UTC del 31 de enero de 2003 (Color de los vectores: velocidad del viento m/s).....	7-212
Figura 7.7.7	Campo de vientos superficial del subdominio del Pla de Lleida a las 4 y 24 UTC del 31 de enero de 2003 (Color de los vectores: velocidad del viento m/s)..	7-213
Figura 7.7.8	Campo de vientos superficial del subdominio del Litoral central a las 5 y 12 UTC del 31 de enero de 2003 (Color de los vectores: velocidad del viento m/s)	7-214
Figura 7.7.9	Campo de vientos superficial del subdominio del Pirineo occidental a las 4 y 14 UTC del 31 de enero de 2003 (Color de los vectores: velocidad del viento m/s)	7-215
Figura 7.7.10	(a) Campo de vientos superficial del subdominio del Pirineo oriental a las 7 UTC del 31 de enero de 2003, y (b) corte vertical por el valle de la Cerdanya (Color de los vectores: velocidad del viento m/s; la localización del corte se indica en (a) en color negro).....	7-216
Figura 7.7.11	Corte vertical de la temperatura potencial, energía cinética turbulenta (TKE) y vientos a las 4 y 15 UTC del día 31 de enero de 2003 para los resultados del dominio D4 (La localización del corte se indica en el panel de la izquierda).....	7-217

Figura 7.7.12	Energía cinética turbulenta y líneas de corriente en el tercer nivel del modelo a las 6, 12, 18 y 24 UTC del día 31 de enero de 2003 (Resultados del dominio D2).....	7-219
Figura 7.7.13	Energía cinética turbulenta en (a) la tercera capa del dominio D4 (b) en un corte vertical a las 12 y 24 UTC para el día 31 de enero de 2003 (Resultados del dominio D4; corte vertical indicado en color negro en la Figura 7.1b).....	7-221
Figura 7.7.14	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en la Península Ibérica durante una situación de NW-N. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 31 de enero de 2003 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; Línea gris: circulación a 500 hPa; Línea negra: circulación en superficie].....	7-222
Figura 7.7.15	Modelo conceptual de las circulaciones que se desarrollan en el área geográfica de Catalunya durante una situación de NW-N. Líneas de corriente y temperatura del aire en superficie a las 12 UTC del 31 de enero de 2003 [Línea naranja discontinua: zonas con desarrollo de ondas de gravedad; línea azul claro: circulación a 500 hPa; línea negra: circulación en superficie].....	7-224
Figura 7.7.16	Evolución del BIAS y RMSE para (a) la temperatura a 2 m, (b) la velocidad horizontal del viento a 10 m, y (c) dirección horizontal del viento a 10 m para el 31 de enero de 2003 calculados a partir de las estaciones XMET.....	7-227
Figura 7.7.17	(a) BIAS de la dirección del viento a 10 m y (b) RMSE de la dirección del viento a 10 m interpolado entre estaciones para el dominio de Catalunya a las 0, 6, 12, 18 y 23 UTC (Las estaciones utilizadas se marcan con un punto verde para la velocidad y rojo para la dirección).....	7-228
Figura 7.7.18	Evolución del BIAS y RMSE para (a) temperatura a 2 m, (b) velocidad horizontal del viento a 10 m, y (d) dirección horizontal del viento a 10 m para el 31 de enero de 2003 calculados a partir de las estaciones XMET.....	7-230
Figura 7.8.1	RMSE de la temperatura, velocidad y dirección del viento en superficie del dominio D4 para las siete situaciones meteorológicas simuladas con el modelo mesoscalar MM5.....	7-231
Figura 7.8.2	BIAS de la velocidad del viento a 10 m del dominio D4 para las distintas situaciones meteorológicas simuladas.....	7-233
Figura 7.8.3	RMSE de (a) la temperatura, (b) velocidad y (c) dirección del viento en superficie del dominio D3 para las siete situaciones meteorológicas simuladas con el	

modelo mesoscalar MM5 configurado con la parametrización de la capa fronteriza MRF.....7-237

Figura A2.1 Localización de las estaciones meteorológicas de la Península Ibérica.....A-1

Figura A2.2 Estaciones de la XMET utilizadas para la validación del dominio D4 del área geográfica de Catalunya en el año 2003.....A-5

Figura A2.3 Localización de los radiosondeos utilizados para la validación de los resultados del dominio D2 de la Península Ibérica.....A-5

Lista Tablas

Tabla 2.1 Climas regionales más significativos de la Península Ibérica (Fuente: Capel-Molina, 2000).....2-7

Tabla 2.2 Denominaciones típicas que reciben algunos vientos en la península Ibérica (Fuente: Capel-Molina, 2000)...2-12

Tabla 4.1 Masas de aire que afectan a la Península Ibérica según Sánchez (1993).....4-10

Tabla 4.2 Frecuencias absolutas y relativas de los tipos sinópticos existentes en las fechas con precipitación igual o superior a 200 mm en algún observatorio de la Comunidad Valenciana para el período 1975-1990 (Martín-Vide, 2002).....4-17

Tabla 4.3 Resumen de las clasificaciones sinópticas revisadas4-18

Tabla 5.1 Número de retrotrayectorias utilizadas y porcentaje disponible por periodo.....5-5

Tabla 5.2 Desviación relativa del transporte horizontal (RHTD) respecto al patrón medio a 1, 2, 3, y 4 días antes de la llegada de la retro-trayectoria, en porcentaje, para los resultados de los 5 años de trayectorias.....5-10

Tabla 5.3 Resumen de los resultados del análisis de cúmulos aplicado a los cinco años de retro-trayectorias con destino en Barcelona y llegadas a 5500, 3000, y 1500 m (Verano: Abril a Septiembre; Invierno: Octubre a Marzo. Los porcentajes se han calculado en base a las 3565 retro-trayectorias de los cinco años utilizadas en el análisis).....5-11

Tabla 5.4 Frecuencias de las situaciones combinando los resultados del análisis de cúmulos de 5500 m y 1500 m para los cinco años de trayectorias (Las frecuencias están calculadas en base a las 3565 retro-trayectorias utilizadas en el análisis de cúmulos; la nomenclatura de las situaciones se detalla en la Tabla 5.3: p.e., NW: flujos del noroeste).....5-15

Tabla 5.5 Días seleccionados para simular con el modelo mesoscalar.....	5-21
Tabla 6.1 Escalas atmosféricas y fenómenos asociados (Thunis y Bornstein, 1996).....	6-4
Tabla 6.2 Características principales de los NWP revisados	6-19
Tabla 6.3 Resumen de la revisión bibliográfica de las distintas configuraciones de NWP utilizada en trabajos científicos	6-20
Tabla 6.4 Resumen de la revisión bibliográfica de las distintas configuraciones de MM5 utilizada en trabajos científicos	6-26
Tabla 6.5 Parámetros de definición de los dominios de trabajo	6-29
Tabla 6.6 Altura de las capas verticales con la configuración de 23 niveles sigma.....	6-30
Tabla 6.7 Altura de las capas verticales con la configuración de 29 niveles sigma.....	6-30
Tabla 6.8 Resumen de la configuración del modelo MM5 utilizada para las simulaciones de las situaciones atmosféricas	6-33
Tabla 6.9 Simulaciones realizadas.....	6-39
Tabla 6.10 Descripción de las 24 categorías de usos de suelo y parámetros geofísicos para verano (15 Abril - 15 Octubre) y para invierno (15 Octubre - 15 Abril) (MMMD/NCAR, 2001)	6-50
Tabla 6.11 Parámetros geofísicos del suelo para las categorías CORINE en invierno (W) y verano (S), y equivalencias con el mapa USGS de usos del suelo. La Tercera columna se refiere al porcentaje de presencia de una categoría en D3.....	6-55
Tabla 6.12 Parámetros geofísicos del suelo estimados a partir de las imágenes NOAA-AVHRR del año 2000 para el mapa de usos del suelo USGS.....	6-64
Tabla 6.13 Diferencias en la temperatura del suelo (°C) y en la nubosidad (mm*1000).....	6-68
Tabla 6.14 Estaciones XMET utilizadas para evaluar las simulaciones.....	6-71
Tabla 6.15 Configuración de las distintas simulaciones realizadas.....	6-80
Tabla 7.1.1 Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la validación de los resultados del dominio D2 a partir de los radiosondeos europeos para el día 25 de diciembre de 2002.....	7-30

Tabla 7.1.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la validación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 25 de diciembre de 2002.....	7-33
Tabla 7.2.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la validación de los resultados del dominio D2 a partir de los radiosondeos europeos para el día 10 de octubre de 2000.....	7-60
Tabla 7.2.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 10 de octubre de 2000.....	7-63
Tabla 7.3.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la validación de los resultados del dominio D2 a partir de radiosondeos para el día 14 de agosto de 2000.....	7-96
Tabla 7.3.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 14 de agosto de 2000.....	7-99
Tabla 7.4.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D2 a partir de radiosondeos para el día 28 de abril de 2003.....	7-131
Tabla 7.4.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 28 de abril de 2003.....	7-134
Tabla 7.5.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D2 a partir de radiosondeos para el día 12 de agosto de 2003.....	7-165
Tabla 7.5.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 12 de agosto de 2003.....	7-168
Tabla 7.6.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D2 a partir de radiosondeos para el día 20 de diciembre de 2002.....	7-193
Tabla 7.6.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 20 de diciembre de 2002.....	7-196
Tabla 7.7.1	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del dominio D2 a partir de radiosondeos para el día 31 de enero de 2003.....	7-225
Tabla 7.7.2	Resumen estadístico del comportamiento del modelo mesoscalar en la verificación de los resultados del	

dominio D4 a partir del radiosondeo de Barcelona para el día 31 de enero de 2003.....	7-229
Tabla 7.8.1 Revisión bibliográfica de estadísticos de la velocidad del viento con simulaciones MM5.....	7-234
Tabla 7.8.2 Resumen de los estadísticos de la dirección y velocidad del viento en superficie del dominio D4 para las simulaciones realizadas.....	7-234
Tabla A2.1 Estaciones meteorológicas de la Península Ibérica	A-2
Tabla A2.2 Estaciones meteorológicas de la XMET.....	A-3
Tabla A2.3 Radiosondeos de la Península Ibérica utilizados para la validación del dominio D2.....	A-6