

SIMULACIÓN NUMÉRICA DEL CAMPO DE VIENTOS EN CATALUÑA

SALVADOR R¹., C. SORIANO², J.M. BALDASANO² y M. MILLÁN¹

¹ CEAM. Parque Tecnológico. Charles Darwin, 14. 46980 Paterna, Valencia-SPAIN.

² Laboratorio de Modelización Ambiental. ETSEIB. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
Avd. Diagonal 647, planta 10, 08028 Barcelona-SPAIN

RESUMEN-PALABRAS CLAVE

En esta contribución se presentan los resultados preliminares de las simulaciones numéricas del campo de vientos en una región, centrada en Cataluña, que incluye parte del NE de la península Ibérica. El modelo numérico de mesoescala que se ha utilizado para realizar estas simulaciones es RAMS (*Regional Atmospheric Meteorological System*). La situación meteorológica reproducida es la correspondiente al 25 de Julio de 1989; se seleccionó este día por que existe una buena cobertura de datos, tanto meteorológicos como de calidad del aire, que servirán para validar el modelo meteorológico y el modelo fotoquímico que pudiera ser aplicado a esta región. Las condiciones sinópticas predominantes ese día muestran un gradiente débil de presión con vientos del NW. Estas condiciones favorecieron el desarrollo de circulaciones mesoescalares, tales como brisas de mar y vientos de valle y ladera. En este trabajo se muestra que el modelo ha sido capaz de reproducir el modelo conceptual de campo de vientos para esta zona, y a puesto de manifiesto la influencia decisiva de la topografía en el establecimiento de los flujos locales/regionales.

Palabras clave: Modelos meteorológicos de mesoescala, dipolo orográfico, topografía compleja, vientos de influencia topográfica, advección del NW.

1. Introducción.

La región seleccionada para este estudio cubre una área del NE de la península, e incluye características orográficas muy significativas tales como los Pirineos y el valle del Ebro. Ambas imponen fuertes condicionantes al flujo atmosférico que se desarrolla dentro de la zona modelizada y en general sobre la península Ibérica.

Los Pirineos representan un obstáculo para la penetración del flujo al NE de la Península y desempeñan un papel de dipolo orográfico, acelerando los vientos hacia el mar Mediterráneo en la ladera oriental y creando una zona de bajas presiones en la ladera sur del sistema montañoso, lo que contribuye a potenciar los vientos ascendentes de ladera. Campañas experimentales llevadas a cabo a ambos lados de los Pirineos así lo han puesto de manifiesto (1, 2). Por otro lado, el valle del Ebro provoca una canalización del flujo sinóptico que penetra desde el Cantábrico (en la ladera occidental de los Pirineos) originando un fuerte viento, conocido localmente como *cierzo*.

Los fenómenos descritos en el párrafo anterior influyen de una manera notoria en el desarrollo de circulaciones mesoescalares de la región modelizada (3). Como consecuencia de la fuerte aceleración del viento en la ladera oriental de los Pirineos, no sopla la brisa de mar en la costa norte de Cataluña, formándose una zona de convergencia cuando el flujo penetra sobre el mar, produciendo una desaceleración del mismo (en las imágenes de Meteosat, cuando los vientos predominantes son del NNW, se suele observar una banda de nubes en esta región de la costa, coincidiendo con esta zona de convergencia). El valle del Ebro y la canalización de los vientos también dificultan la penetración de la brisa en la costa sur de Cataluña.

Esta contribución presenta los campos meteorológicos simulados con el modelo de mesoescala RAMS en la zona del Nordeste peninsular y centrado en la zona de Cataluña, analizándose los principales patrones circulatorios en la zona a lo largo del día seleccionado. Este estudio también ha puesto de manifiesto que debe investigarse más detalladamente la interacción entre los flujos inducidos mecánicamente por escalas mayores con los inducidos térmicamente por escalas menores a lo largo de ciclo diurno en esta región, donde la influencia orográfica es tan relevante. Estudios previos realizados con RAMS han demostrado que el modelo es capaz de dar una correcta simulación del campo de vientos al nivel de la península Ibérica (4,5,6).

2. Características de la zona de simulación.

La topografía de Cataluña es muy accidentada y esta muy condicionada por la presencia de los Pirineos (Figura 1a y 1b). La cadena montañosa se extiende unos 400 km a lo largo de la frontera que separa España y Francia desde el Océano Atlántico hasta el mar Mediterráneo, y su anchura varía desde 40 a 80 km. La máxima altitud es de 3404 m (Pico Aneto).

Los Pirineos representan un obstáculo a la penetración del flujo de aire (vientos) procedente de del NW hacia la zona del NE de la península, y desempeña la función de dipolo orográfico, acelerando los vientos en la vertiente oriental de los Pirineos hacia el mar Mediterráneo (este viento se conoce como viento del *tramuntana*). Estos procesos crean una zona de baja presiones en la vertiente septentrional de la cadena montañosa que potencia los vientos ascendentes de ladera. Cuando el flujo penetra hacia el mar y encuentra la brisa de mar se crea una zona de convergencia, que en ocasiones produce un banco de nubes. El esquema del modelo conceptual para esta situación sinóptica, desarrollado por Vilaclara (3), es presentado en la Figura 1c.

Otra característica orográfica a tener en cuenta en la zona es el valle del Ebro. Bajo ciertas condiciones este valle canaliza los vientos sinópticos del NW procedentes del Cantábrico hacia el Mediterráneo, generando un fuerte viento que se conoce localmente como cierzo. El venteo del valle del Ebro también se opone a la penetración de la brisa en la costa sur de Cataluña.

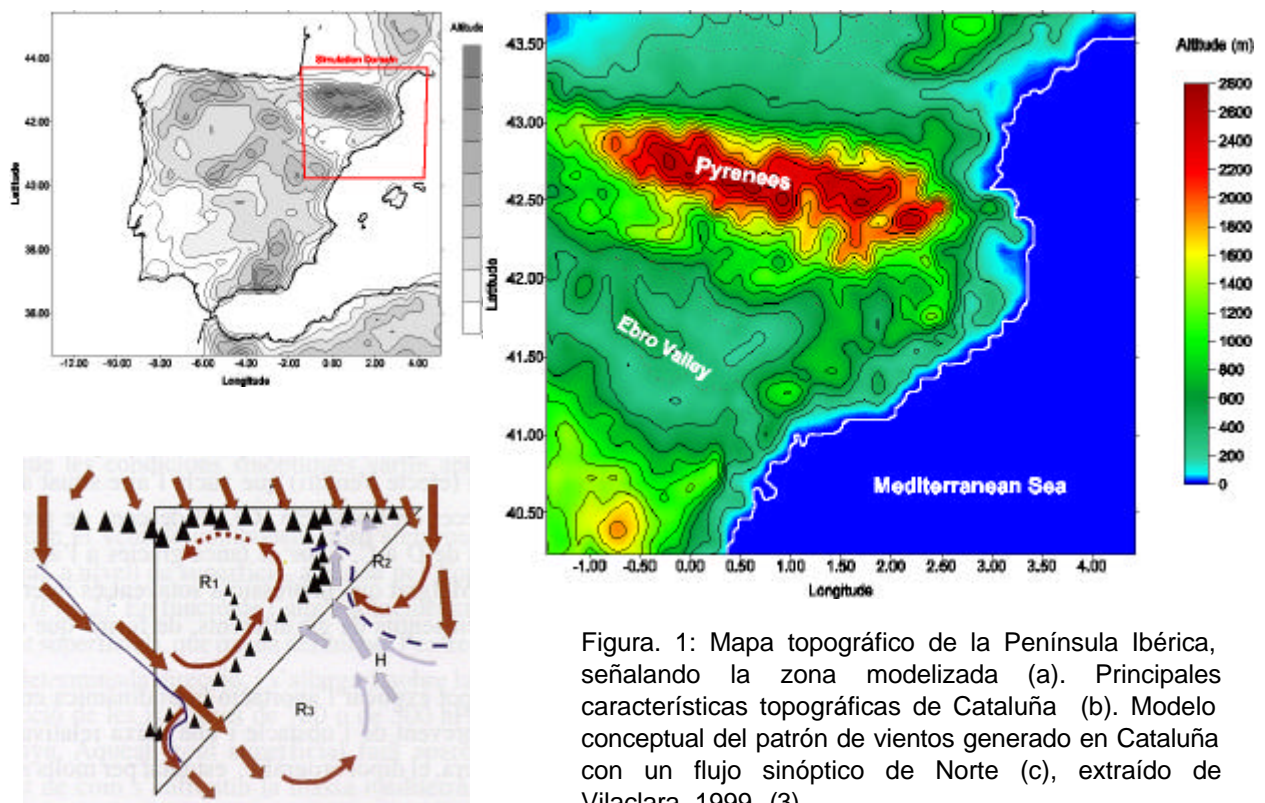


Figura. 1: Mapa topográfico de la Península Ibérica, señalando la zona modelizada (a). Principales características topográficas de Cataluña (b). Modelo conceptual del patrón de vientos generado en Cataluña con un flujo sinóptico de Norte (c), extraído de Vilaclara, 1999, (3).

3. Caso Estudio y Aplicación del Modelo Numérico.

Las condiciones sinópticas del día simulado, 25 de julio de 1989, muestra que el anticiclón de las Azores está centrado sobre el oeste de la península, asociado a un frente frío y a una dorsal de alta presiones sobre el golfo de Vizcaya. Se ha observado que esta configuración sinóptica favorece la formación de vientos locales durante la noche y a primeras horas de la mañana. Este flujo, cuando llega al Mediterráneo, enfría las aguas del golfo de León, reforzando de esta manera la subsidencia sobre esta zona (ver mapa de las 12:00) (4). En el mapa meteorológico, también se observa la formación tardía de la baja térmica ibérica en el sur de la península alrededor de las 18:00 UTC. La situación sinóptica de este día se puede describir como la de un típico día estival, con gradiente débil de presión, lo que a su vez favorece el desarrollo de circulaciones atmosférica mesoescalares, tales como brisas de mar y tierra y vientos de valle y de ladera.

El modelo de mesoescala utilizado para realizar estas simulaciones es el *Regional Atmospheric Mesoscale System* (RAMS). Con este propósito se ha definido una malla centrada en Cataluña que cubre 475x390 km² (norte-sur y este-oeste respectivamente) y con una resolución horizontal de celda de 5x5 km². La malla se extiende hasta una altura vertical de 15 km, con 24 niveles que se incrementan geoméricamente con la altura.

Se ha hecho una inicialización no homogénea con condiciones de contorno no estacionarias utilizando los datos del centro Europeo de Predicción a Medio Alcance (ECMWF). Los datos del Centro Europeo muestran un ligero forzamiento sinóptico del NW, especialmente durante la tarde. En estudios anteriores, se analizó el campo de viento simulado con modelos de mesoescala de la zona de Cataluña pero en un dominio mas reducido centrado en Barcelona (7). En estas simulaciones, sin embargo, la intención ha sido, por un lado, abarcar una zona más amplia de Cataluña, y por otra, estudiar la interacción de los flujo sinópticos con los flujos de mesoescala.

3.1 Campos Simulados de las 10 UTC.

Los resultados de los campos simulados a las 10 UTC por el modelo muestran cómo los vientos sinópticos del NW son bloqueados por el obstáculo que representa la formación orográfica de la cordillera de los Pirineos. Esto hace que se induzca una zona de alta presiones en la ladera Norte de la estructura montañosa, resultando en una aceleración del flujo hacia el Mediterráneo en el limite Este de la misma (Figura 2a). Cuando este flujo llega al mar, encuentra menos fricción, y se acelera generando un vórtice anticiclónico que causa una convergencia del flujo en la costa norte de Cataluña, tal y como se puede observar en la presentación de las líneas de corriente en la proximidad del Empordà (Figura 2b).

A esta hora el calentamiento de la vertiente Sur de los Pirineos origina vientos ascendentes de ladera, especialmente en la región más oriental, donde la influencia del flujo sinóptico de NW es menor. La representación de las líneas de corriente correspondientes muestra otra zona de convergencia a lo largo de la cordillera.

La brisa de mar aparece representada por el modelo a lo largo de la costa central de Cataluña aunque su alcance se produce sólo en los primeros kilómetros de la línea costera y, en general, las intensidades son todavía débiles (Figura 2c).

El viento sinóptico del noroeste en la frontera Oeste de los Pirineos se canaliza a lo largo del valle de Ebro e inhibe los vientos todavía débiles de la brisa de mar en al costa sur. El corte transversal de la temperatura potencial muestra una capa limite convectiva que está más desarrollada sobre las laderas orientadas al sur debido al mayor calentamiento solar (Figura 2d). El corte transversal de la componente vertical del viento muestra el avance del frente de brisa, todavía a pocos kilómetros de la costa, así como la zona de inyecciones topográficas (Figura 2e).

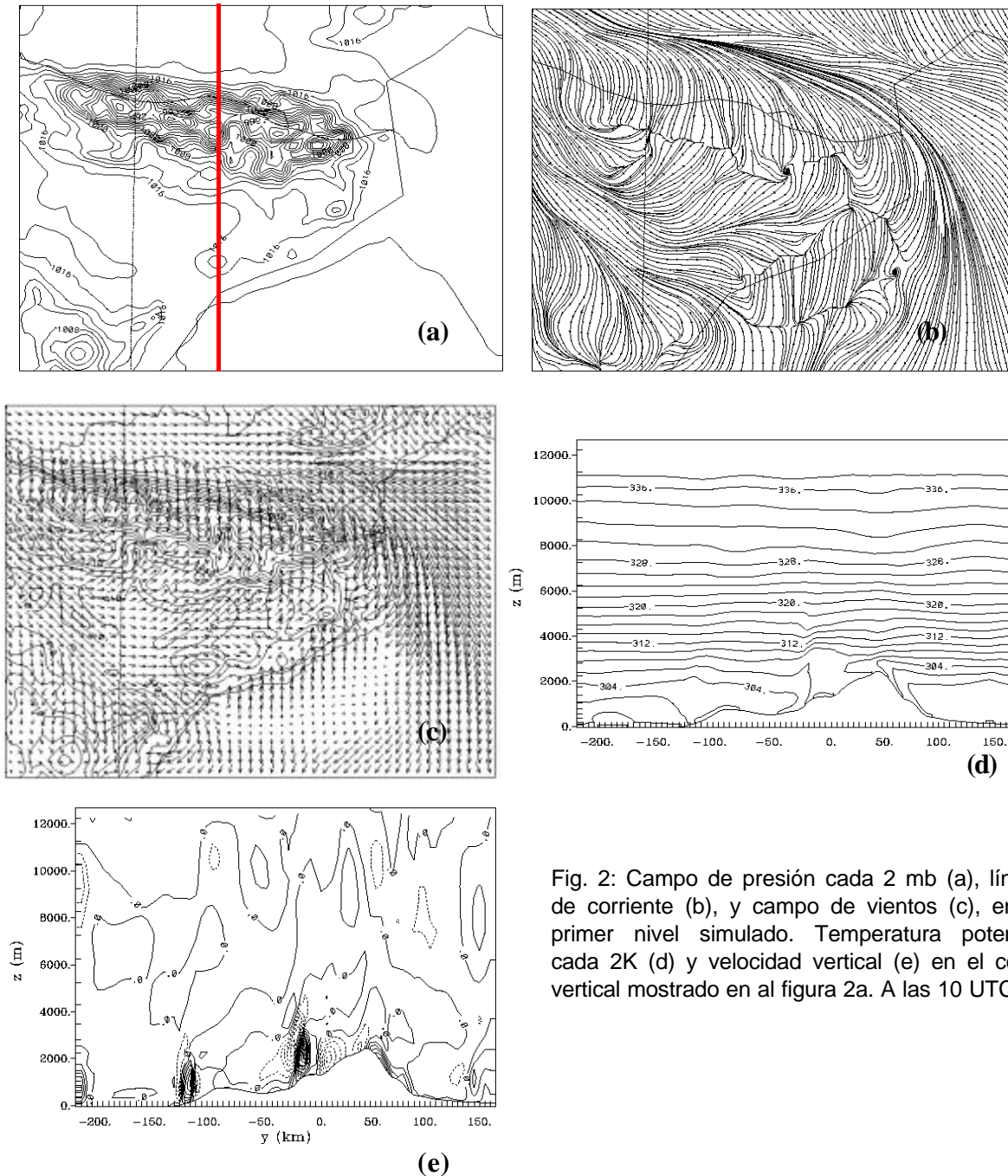


Fig. 2: Campo de presión cada 2 mb (a), líneas de corriente (b), y campo de vientos (c), en el primer nivel simulado. Temperatura potencial cada 2K (d) y velocidad vertical (e) en el corte vertical mostrado en la figura 2a. A las 10 UTC.

3.2. Campos Simulados de las 14 UTC.

Los campos modelizados a las 14 UTC (Figura 3) muestran un zona extensa de bajas presiones sobre la vertiente septentrional de los Pirineos y un gradiente más importante (Figura 3a). Su efecto se superpone al de los vientos ascendentes de ladera en esa vertiente. Los vientos de *tramuntana* en el límite Este de la cadena montañosa intensifica la convergencia sobre el mar, haciéndola más evidente y extendiéndose hacia al Sur (Figura 3b). Este vórtice se forma por el efecto que ejerce la fuerza de Coriolis sobre el flujo en la corriente de *tramuntana* y por la disminución del gradiente de presión sobre el mar (3).

A esta hora la brisa marina está en su estadio de máxima intensidad, soplando a lo largo de todo el litoral, penetrando tierra adentro y superando la cordillera del litoral (Figura 3c). El frente de brisa está bien definido por las líneas de corriente, y siendo evidente en la zona de convergencia de vientos. Debe

destacarse que la brisa es suficiente para superar las fuertes canalizaciones que se simulan en la zona del valle del Ebro. Los vientos modelizados reproducen con bastante exactitud el modelo conceptual descrito anteriormente en la figura 1c.

La capa límite convectiva se extiende hasta cotas superiores, con un espesor de más de 2 km en el interior o incluso superior en las zonas montañosas (Figura 3d). El frente de brisa de mar ha avanzado unos 50 km tierra adentro en la zona del corte transversal, penetrando más interior en la costa Norte, donde se ha acoplado con los vientos de ladera. Por último destacar las importantes inyecciones topográficas en la vertiente Sur de los Pirineos, con mayor insolación, y su ausencia en la Norte (Figura 3e)

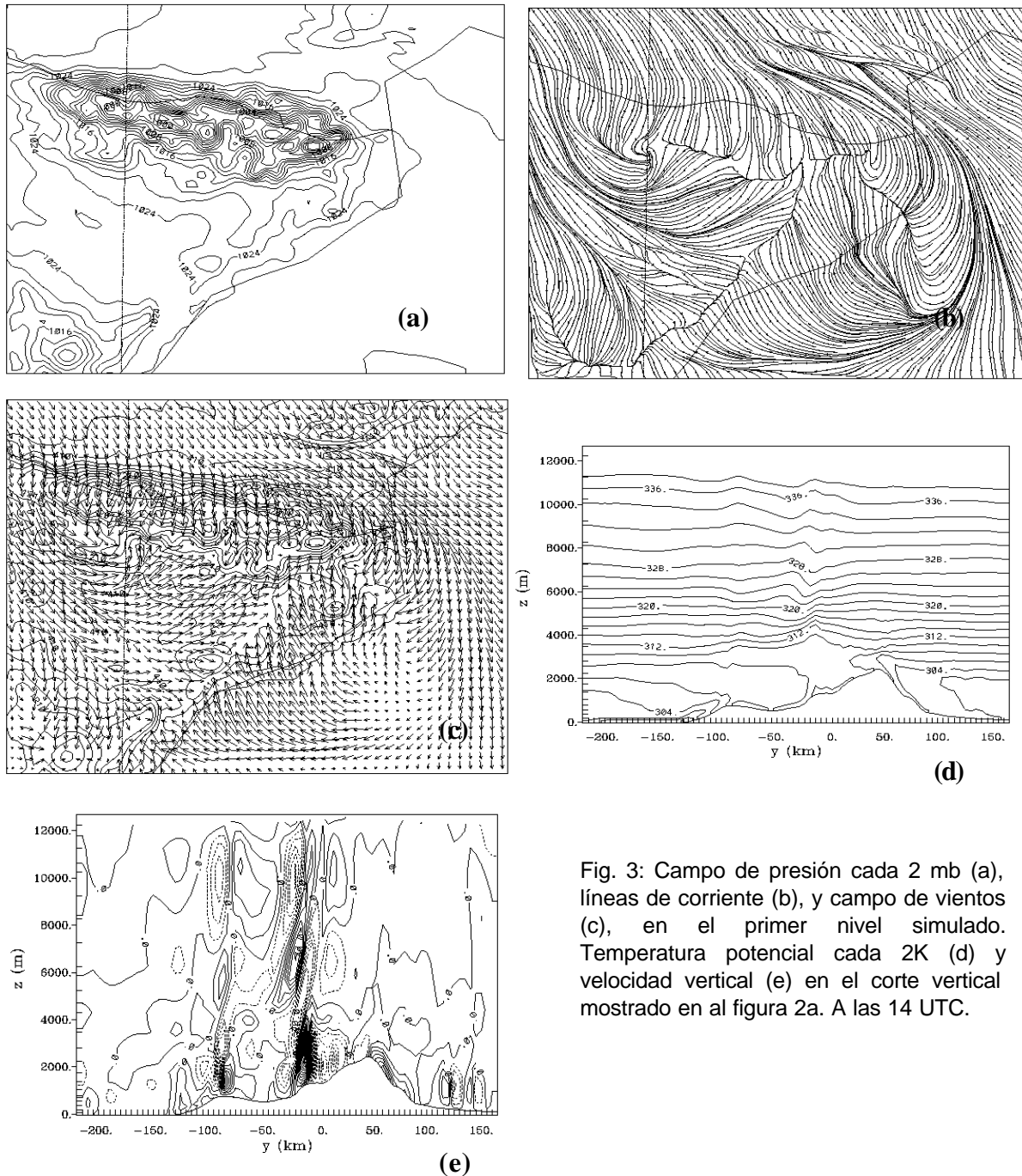


Fig. 3: Campo de presión cada 2 mb (a), líneas de corriente (b), y campo de vientos (c), en el primer nivel simulado. Temperatura potencial cada 2K (d) y velocidad vertical (e) en el corte vertical mostrado en al figura 2a. A las 14 UTC.

3.3 Campos Simulados de las 18 UTC.

El campo de presión simulado por el modelo a las 18 UTC (Figura 4a) muestra un débil gradiente sobre la depresión central catalana y una zona de alta presiones relativas sobre el mar, en la frontera Este de los Pirineos. El frente de brisa en la zona Norte se ha unido con la zona de convergencia que se observaba al E de los Pirineos (Figura 4b) y se aprecia un giro hacia componentes SW de la misma. En la costa Sur, y probablemente a los efectos de la montañas de la zona de Tarragona, la distorsión del flujo es hacia el NE (Figura 4c).

En los cortes transversales de la velocidad vertical se pueden distinguir las fuertes corrientes ascendentes que se desarrollan en la zona a unos 130 km de la costa, que a esta hora de día son suma de las generadas propiamente por la célula de la brisa de mar, y las debidas a los vientos ascendentes de ladera (Figura 4e). La masa de aire calentada produce inyecciones topográficas, lo que provoca una distorsión de las superficies isentrópicas por encima de la cadena montañosa (figura 4d)

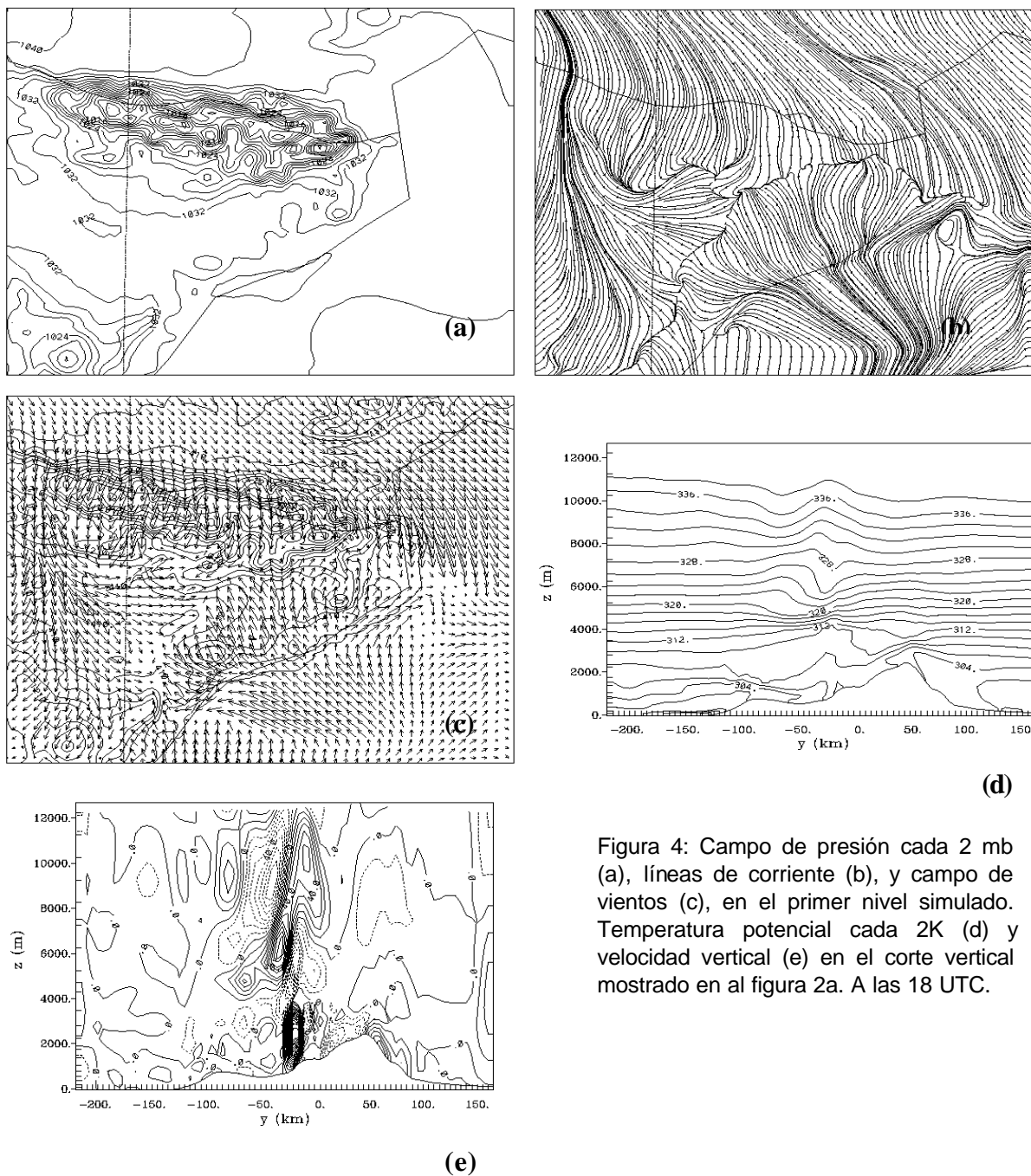


Figura 4: Campo de presión cada 2 mb (a), líneas de corriente (b), y campo de vientos (c), en el primer nivel simulado. Temperatura potencial cada 2K (d) y velocidad vertical (e) en el corte vertical mostrado en el figura 2a. A las 18 UTC.

3.4 Campos Simulados de las 24 UTC.

El régimen nocturno simulado por el modelo se muestra en la Figura 5. El terral (brisa nocturna) ha sido reproducido como un viento más débil que la brisa diurna, como era de esperar (Figura 5c). En las cadenas montañosas el terral se suma a los vientos descendentes de ladera y a los vientos catabáticos. El flujo sobre la depresión central se ha invertido debido al drenaje nocturno en los Pirineos.

En el corte transversal se muestra la estabilización de la atmósfera mediante la representación de la temperatura potencial (Figura 5d), así como la subsidencia del aire en la vertiente S reflejado en la representación de la velocidad vertical del viento (Figura 5e).

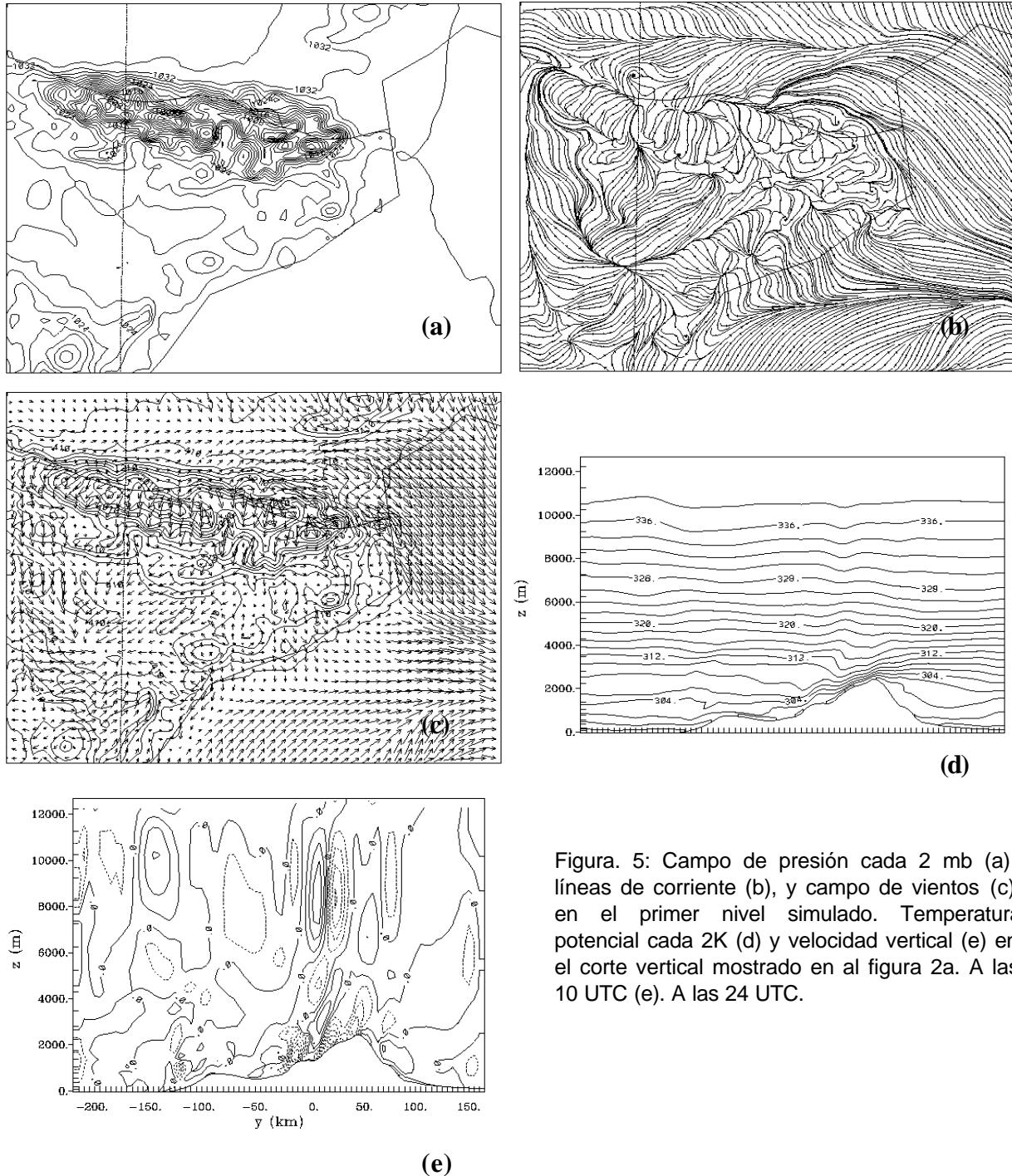


Figura. 5: Campo de presión cada 2 mb (a), líneas de corriente (b), y campo de vientos (c), en el primer nivel simulado. Temperatura potencial cada 2K (d) y velocidad vertical (e) en el corte vertical mostrado en al figura 2a. A las 10 UTC (e). A las 24 UTC.

4. Conclusiones.

El modelo ha sido capaz de reproducir las características circulatorias más relevantes que se esperaban en la zona, dando una representación acertada del campo de viento descritos por el modelo conceptual para una situación sinóptica caracterizada por un forzamiento del NW. En una situación sinóptica con estas características, la orografía influye fundamentalmente a través de dos procesos: por un lado, el efecto de dipolo orográfico de los Pirineos; y por otros, la canalización de los vientos a lo largo del valle del Ebro. Estos dos mecanismos influyen notablemente en los fenómenos mesoescalares típicos de la región estudiada en época estival, que nos son otros que los vientos de ladera, valle y las brisas, inducidos por la topografía compleja y la situación costera de la zona.

Un análisis más profundo de los resultados obtenidos debe ayudarnos a investigar más a fondo la interacción de los flujos inducidos localmente, tanto de origen mecánico como los inducidos térmicamente, con los fuertes vientos de origen topográfico a lo largo del ciclo diurno en esta región. Por otro lado, el análisis detallado del flujo que se da en la zona, junto con las características dispersivas, ayudaría a profundizar en el conocimiento de los patrones de dispersión y transporte de los contaminantes en la zona, especialmente si se tiene en cuenta que una gran parte de las emisiones antropogénicas tienen lugar en el litoral peninsular (8,9).

Por último, mencionar que en este estudio preliminar no se ha llevado a cabo el análisis espectral propuesto en (10) que serviría para determinar el tamaño de celda óptimo para reproducir las características del flujo en la zona. Sin embargo, el tamaño de celda utilizado en estas simulaciones (5 km) es bastante aceptable para obtener una primera caracterización cualitativamente del flujo en la zona.

Agradecimientos:

Parte de este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación CICYT-REN2000-1020-C02-02/CLI (*Caracterización De La Dinámica De Contaminantes Atmosféricos En El Área Del Mediterraneo Occidental*), y CIRIT-Dpt. de Medi Ambient, (IMMPACTE). La fundación CEAM es financiada por la Generalitat Valenciana y BANCAIXA

5. Referencias

- (1) Bénech, B., E. Koffi, A. Druilehet, P. Durand, P. Bessemoulin, J. Campins, A. Jansá, and B. Terliuc, 1998: "Dynamic Characteristics of Regional Flows around the Pyrénées in View of the PYREX Experiment. Part I: Analysis of the Pressure and Wind Fields and Experimental Assessment of the Applicability of the Linear Theory". *J. Appl. Meteorol.*, **37**, 32-52.
- (2) Bougeault, P., Jansá Clar, A., Bénech, B., Carissimo, B., Pelon, J. and Richard, E. (1990). "Momentum Budget over de Pyrénées: the PYREX Experiment" . *Bull. Am. Meteorol. Society*, **71**, 6, 806-818.
- (3) Vilaclara, (1999). V Jornades de Meteorología Eduard Fontseré. Barcelona, Spain, 26-28 Novembre.
- (4) Millán, M. M., R. Salvador, E. Mantilla, and G. Kallos (1997) "Photo-oxidant Dynamics in the Mediterranean Basin in Summer: A Review of Results from European Research Projects". *J. Geophys. Res.*, **102**, D7, 8811-8823.
- (5) Salvador, R., E. Mantilla, M. J. Salazar, and M. M. Millán, 1995: "Numerical Simulation of the Mesometeorological Circulations in the Iberian Peninsula". *21st ITM on Air Pollution Modelling and Its Appl.* 6-10 Noviembre, Baltimore, MD, 671-675.
- (6) Salvador, R., M. M. Millán, E. Mantilla, and J. M. Baldasano, 1997: "Mesoscale Modelling of Atmospheric Processes over the Western Mediterranean Area during Summer". *Int. J. Environ. Poll.*, **8** (3-6), 513-529.
- (7) Soriano, C., Baldasano, J.M., Buttler, W.T. and Moore, K. (2001). "Circulatory patterns of air pollutants within Barcelona Air Basin in a summertime situation: lidar and numerical approaches". *Boundary-Layer Meteorology*, **98** (1), 33-55.
- (8) Soriano C., J.M. Baldasano and M. Couthino (1998) Seasonal Variation of the Atmospheric Circulatory Patterns in the Barcelona Area: Numerical Simulation of Typical Wintertime and

Summertime Situations. Proceeding of the 2nd Urban Environment Symposium. American Meteorological Society: 55-58.

- (9) Toll I. and J.M. Baldasano (2000) Photochemical Modeling of the Barcelona Area with Highly Disaggregated Anthropogenic and Biogenic Emissions. Atmospheric Environment, 34, 19: 3069-3084.
- (10) Salvador, R., J. Calbó, M. M. Millán, (1999), "A Horizontal Grid Selection and Its Influence on Mesoscale Model Simulation". Journal Appl. Meteor, 38 1311-1329