Estudio numérico de las lluvias torrenciales de Octubre del 2000 sobre el levante peninsular: Causas y efectos de la persistencia sinóptica
Numerical study of the October 2000 torrential precipitation event over eastern Spain: Causes and effects of the synoptic-scale stationarity

V. Homar, R. Romero, C. Ramis, S. Alonso
Dep. de Física, Universitat de les Illes Balears, Ctra. Valldemossa, km 7.5 Palma de Mallorca, victor.homar@uib.es

SUMMARY
A torrential precipitation event affected eastern Spain during 21 to 24 October 2000. Total accumulated rainfall higher than 500 mm was registered at some locations, with values up to 300 mm in a 24 h period. The synoptic-scale charts for these days show the presence of a cold cutoff low aloft, south of the Iberian peninsula, as a part of an Ω-blocking structure over Europe. At low levels, persistent easterly winds established between a dominant anticyclone over eastern Europe and a cyclone over Morocco are found over the Western Mediterranean throughout the entire period. Satellite images show the advance and breaking away of a trough, with an associated cold front, over Iberian peninsula, which resulted in the cutoff low formation. Later, scattered convective cells are detected along the eastern Spanish coast during more than 3 days. Romero et at. (2000) study the meteorological aspects of two highly stationary and efficient convective systems also responsible for catastrophic heavy rainfall events in esatern Spain. Numerical simulations reveal that the convective environment was developed by the low-level advection of warm and moist air from central Mediterranean, being charged of moisture by evaporation from the sea. Sensitivity runs confirm that the synoptic-scale persistent low-level easterly flow, and specifically the presence of a low level jet, was crucial for the subsynoptic processes leading to the long lasting torrential rainfall over the exposed terrains of eastern Spain. The stagnancy of the low-level flow is attributed to the quasi-stationary characteristics of the upper level cutoff low located south of the Iberian peninsula. Similar, tough from orographic origin, sea level pressure modification, promoting the easterly low levels flow was detected and described by Homar et al. (1999). Experiments with modified upper-level potential vorticity distributions reveal that slight deviations from the observed configuration result in enhanced mobility of the low-level flow pattern, and thereby a reduction of the precipitation persistence. This suggests the major importance of a correct representation in the model initial conditions of the intensity and location of the upper level features in order to obtain valuable numerical forecasts of these heavy rainfall events.

1. INTRODUCCIÓN

El episodio presentado en este estudio ocurrió los días 21-24 de octubre de 2000 sobre el levante peninsular. Se registraron precipitaciones mayores que 500 mm en áreas de Valencia y Cataluña y las inundaciones derivadas de esas lluvias produjeron 8 muertos y unas pérdidas económicas de más de 100 M€.

La situación sinóptica durante el evento se caracterizó por la presencia de una Depresión Aislada de Niveles Altos (DANA) al sur de la península; y vientos del este sobre las costas levantinas a niveles bajos. La situación sinóptica fue muy estacionaria (4 a 5 días), produciendo un aporte continuo de humedad y generación de inestabilidad convectiva en la zona.

El objetivo principal de este trabajo es la identificación de los factores de gran escala que produjeron la gran estacionalidad del episodio, y el análisis de las consecuencias de tal situación sobre la costa Mediterránea española. Los aspectos sinópticos y mesoescalares del evento son analizados a partir de simulaciones numéricas. Además se estudia el efecto de los sistemas orográficos y de la evaporación desde el mar. Finalmente, se analiza la sensibilidad de la situación estacionaria a pequeñas modificaciones en las condiciones iniciales para determinar la estabilidad de la previsión numérica bajo pequeñas perturbaciones en las condiciones iniciales.

2. OBSERVACIONES

Los análisis del NCEP para el 23 de Octubre de 2000, durante el periodo de precipitaciones intensas, muestran la presencia de una DANA fría al sur de la península ibérica, que se ha desprendido de la circulación general del oeste (Fig 1a). En niveles bajos la situación está dominada por dos intensos anticiclones sobre el Atlántico y Europa (Fig. 1b). Se observa la presencia de una baja en el norte de

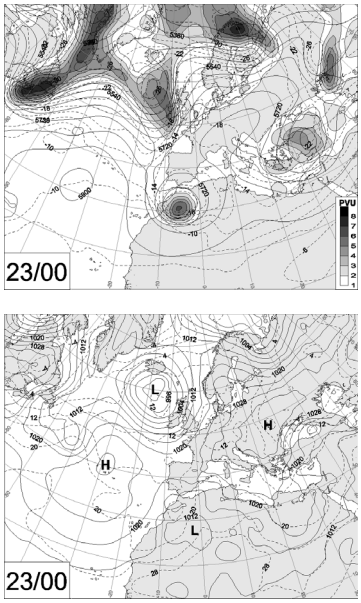
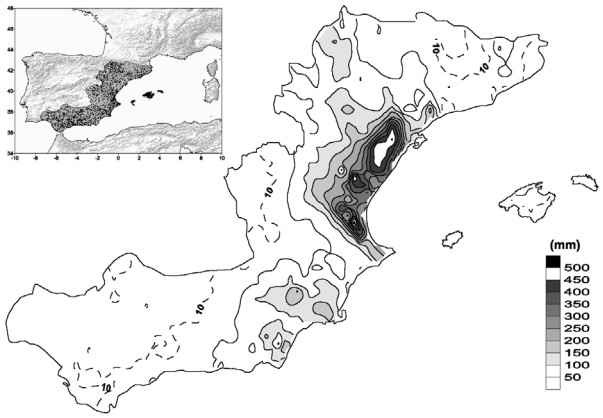


Figura 1– **Situación sinóptica para el 23 Octubre 2000 a las 0000 UTC. a) Vorticidad potencial (PVU, contornos sombreados) a 300 hPa; altura geopotencial (gpm, linea continua) y temperatura (ºC, linea discontinua) a 500 hPa . b) Temperatura a 925 hPa (ºC, linea discontinua) y presión al nivel del mar (linea continua)**.[Synoptic settinngs on 0000 UTC 23 October 2000. a) Potential vorticity (PVU, shaded) at 300 hPa; geopotential height (gpm, solid line) and temperature (ºC, dashed line) at 500 hPa. b) Temperature at 925 hPa (ºC, dashed line) and sea level pressure (solid line)]

África, asociada a la DANA, y un Low Level Jet (LLJ) del este-



l **e**
2000. El mapa superior izquierdo muestra las estaciones utilizadas para el análisis.*[Raingauge accumulated precipitation of 21-24 October 2000. The top left map shows the area and location of the 1967 stations used to perform the analysis]*

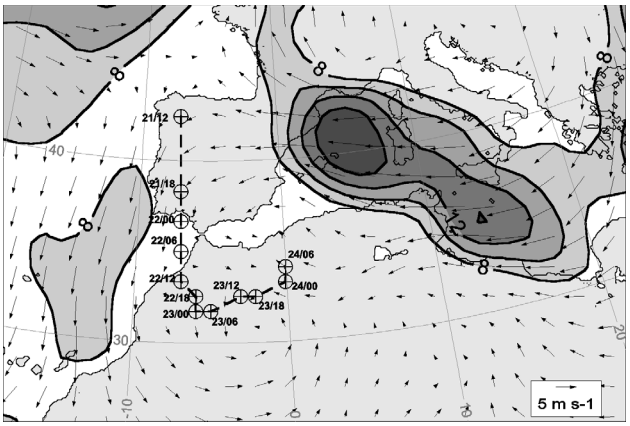
sureste sobre el Mediterráneo occidental que describe un largo camino (desde las costas de Libia hasta las costas Mediterráneas Españolas) por sobre el mar. Esta configuración se mantuvo casi estacionaria durante aproximadamente 90 horas, aportando de manera persistente aire cálido y húmedo hacia las costas del levante peninsular. Como consecuencia de esta situación, se registraron precipitaciones muy cuantiosas durante los días 22 y 23 (Fig. 2).

2. SIMULACIÓN DE CONTROL

Para realizar un estudio de sensibilidad y analizar el origen de la gran estacionalidad de la situación sinóptica y de las cuantiosas precipitaciones, se han realizado simulaciones utilizando el modelo MM5V3. Debido al gran espectro de escalas que se barajan en el estudio (estacionalidad sinóptica y formación de DANA junto a sus efectos en el campo de precipitación en el levante peninsular) se ha diseñado un experimento con 3 dominios anidados con resoluciones espaciales de 90, 30 y 10 km. El dominio mayor tiene un tamaño de 7200x9090 km^2 y recoge la formación de la DANA, así como los grandes rasgos del LLJ. El dominio menor (1080x1080) cubre el levante peninsular y las Islas Baleares, y ofrece detalles de los sistemas productores de precipitación. Respecto a la cobertura temporal de los dominios, el dominio mayor es iniciado pocas horas antes de la formación de la DANA (20 Oct 00 UTC) y se extiende hasta el 24 Oct 06 UTC. Los dos dominios menores se inician el 22 Oct 00 UTC, finalizando el mismo momento que el dominio mayor. Esta configuración nos permite modificar aspectos dinámicos previos a la formación de la DANA y evaluar los impactos en su evolución (dominio mayor) y en la precipitación del levante peninsular (dominio menor).

La Fig. 3 muestra una síntesis de los resultados obtenidos para la simulación de control. La trayectoria seguida por la DANA nos muestra su avance hacia el sur de la península Ibérica y su permanencia en esa zona durante los dias 22, 23 y 24, con un movimiento lento hacia el este. Los campos promediados de viento en superficie nos muestran cómo se estableció el LLJ persistente del este sobre el Mediterráneo occidental con máximos de viento arrancando desde las costas de Libia. La precipitación obtenida en el experimento de control reproduce con notable precisión la estructura de la precipitación observada sobre tierra (Fig.3b y Fig. 2), alcanzando máximos superiores a 350 mm al sur de Cataluña y norte de Valencia.

El agua precipitable (AP) es una medida de la cantidad de vapor presente en la columna de aire disponible para la condensación y posterior precipitación. Para el presente caso, el AP promediada sobre una región que abarca el canal Balear, Valencia y Cataluña nos muestra un fuerte ascenso durante el día 21 Oct., previo al inicio de la lluvias más fuertes (Fig. 4). Durante los días 22 y 23, el AP sobre la zona se mantiene alta, con valores cercanos a los 36 mm.



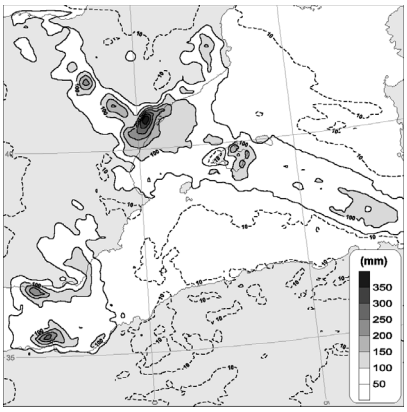


Figura 3. **Simulación de control. a) Trayectoria de la DANA a 300 hPa (circulos con cruz). El campo de vectores y los contornos sombreados muestran el viento y su velocidad (m s^{-1}) promediados durante 48h (22 Oct. 00UTC a 24 Oct. 00UTC). b) Precipitación simulada acumulada (mm) en el dominio menor para los dias 22 y 23 Octubre.***Control simulation. a) Trajectory of the cutoff at 300 hPa (crossed circles). Vector field and shaded contours show the 48 h averaged wind and wind speed (m s^{-1}, 22 Oct. 00 UTC to 24 Oct. 00UTC). b) Model simulated accumulated precipitation (mm) at the inner domain for 22 and 23 October.*

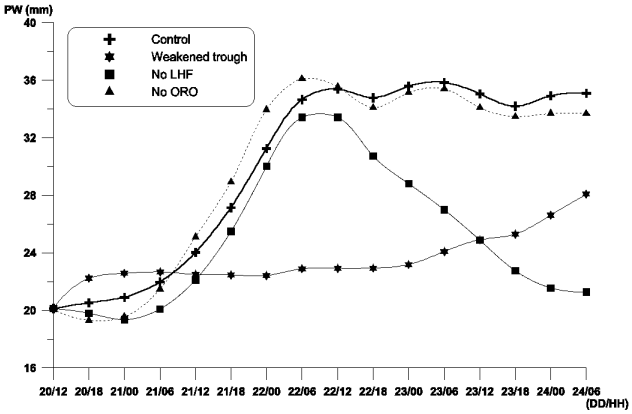


Figura 4. **Evolución del agua precipitable promediada sobre una región centrada sobre el canal Balear para la simulación de control, experimento con la DANA debilitada, sin flujo de calor latente y sin orografía.** *Evolution of the precipitable water (mm) averaged over a region centered over eastern Spain for the control run, weakened cutoff, no latent heat flux experiment and no orography run.*

3. SENSIBILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

Con el fin de determinar el papel desempeñado por la evaporación desde el mar en la humidificación de las capas bajas

troposféricas a lo largo del flujo del este identificado en la Fig. 3, diseñamos un experimento con idéntica configuración a la simulación de control aunque sin evaporación desde el mar. En este experimento obtenemos un flujo superficial muy similar a la simulación de control pero un campo de precipitación mucho más débil, con la mayor parte de ella ocurrida durante las últimas horas del día 21 de Oct. (no mostrado). La evolución del AP para este experimento (Fig. 4) presenta un aumento similar a la simulación de control durante el día 21 y un descenso notable durante los días 22 y 23. Esto indica que existió suficiente humedad en el ambiente al iniciar las simulaciones para producir el aumento en AP sobre la zona, causado por el transporte del este en niveles bajos, pero que la evaporación mantiene los altos valores de AP y permite la producción de lluvias cuantiosas persistentes durante un largo periodo, en la simulación de control.

Por otra parte, la Fig. 4 muestra también los resultados de una simulación sin orografía y revela el insignificante efecto de ésta en el aporte de humedad a la zona, al obtener una curva muy similar a la de control. Sin embargo, el efecto de la orografía es mucho mas importante en el campo de precipitación. Las estructuras de lluvia obtenidas para este experimento son mas débiles y presentan menos focalización, revelando el efecto de disparo de la convección realizado por la orografía en este evento (no mostrado).

4. SENSIBILIDAD DEL FLUJO SUPERFICIAL

Con el fin de evaluar el efecto de la DANA, identificada en la simulación de control, sobre la formación del flujo estacionario del

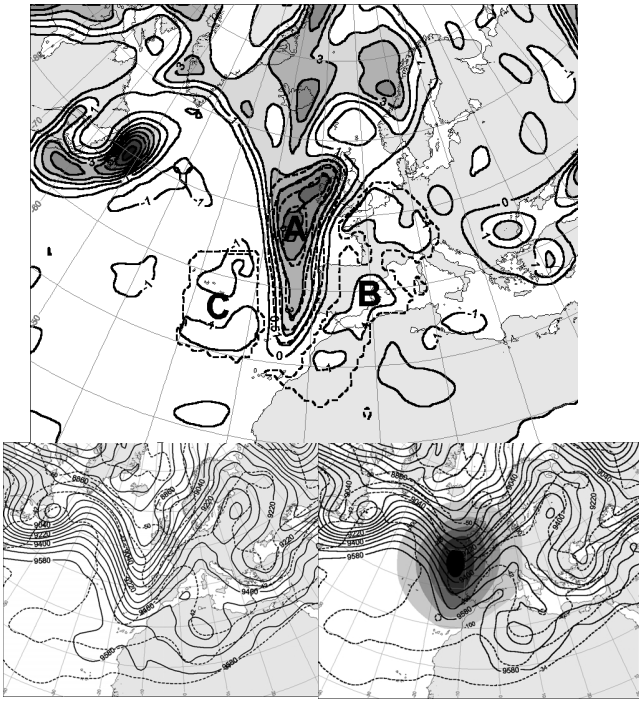


Figura 5. **a) Vorticidad potencial a 300 hP (PVU, contornos sombreados) restante al eliminar las perturbaciones A (positiva), B y C (negativas). Paneles inferiores: Altura Geopotencial (gpm, linea continua) y temperatura (ºC, linea discontinua) a 300 hPa el 20 Oct. a las 12UTC (condiciones iniciales del modelo). b) simulación de control, c) simulación sin la perturbación A del panel superior. En sombreado se destaca el campo de geopotencial correspondiente a la anomalia eliminada.** *a) Potential vorticity at 300 hPa (PVU, shaded contours) remaining after removing perturbations A (positive) , B and C (negative). Lower panels: Geopotential heigh (gpm, solid line) and temperature (ºC, dashed line) at 300 hPa on 20 Oct. at 12 UTC (model initial conditions). b) control simulation, c) simulation without A perturbation. Shaded fields show the geopotential height associated with anomaly A.*

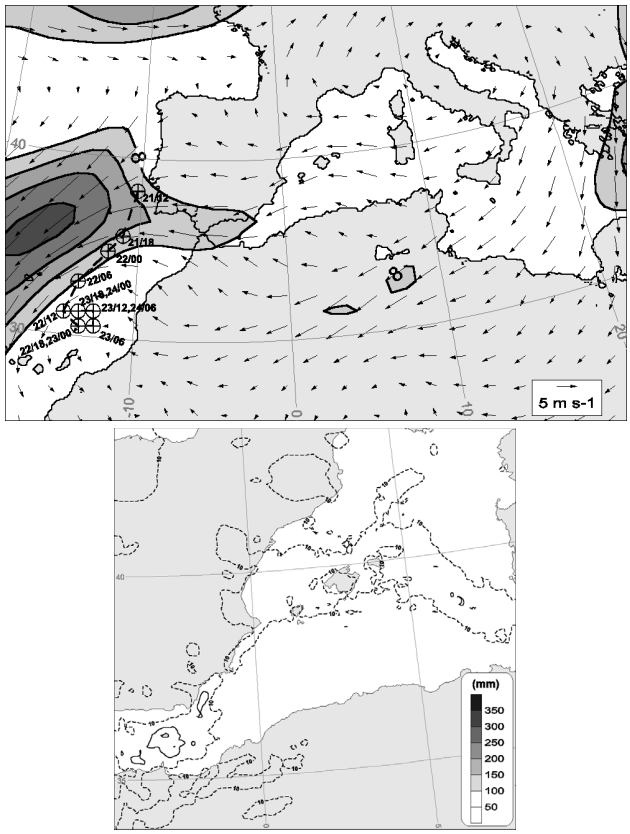


Figura 6. **Como en la figura 3 pero para el experimento sin la perturbación A.** *As in figure 3 but for the experiment with no A anomaly.*

este sobre el Mediterráneo occidental, se han realizado diferentes experimentos modificando elementos dinámicos de las condiciones iniciales y evaluando su efecto en las simulaciones. Para ello se ha utilizado la técnica de inversión de vorticidad potencial de Davis and Emanuel (1991). En esencia, la técnica consiste en obtener los campos de masa y viento compatibles con una distribución de vorticidad potencial (PV). Para este caso en particular (Fig. 5), realizamos una simulación en la que hemos debilitado la vaguada previa a la formación de la DANA, identificando su estructura en el campo de PV (indicada por *A*), modificándola y realizando la inversión. De esta manera se obtienen unos nuevos campos de condiciones iniciales para las simulaciones en los que se ha debilitado esa estructura dinámica. Entonces, el efecto de esa modificación a lo largo de la simulación puede ser estudiado.

El experimento realizado a partir de las condiciones iniciales obtenidas sin la influencia de la perturbación A (Fig. 5a), reproduce también la DANA, aunque se obtiene un cambio radical en el campo de precipitación respecto al experimento de control (Fig. 6). La DANA en esta simulación es más débil y se forma al oeste de la península. Esto resulta en un desplazamiento y debilitación del forzamiento negativo ejercido por la DANA sobre niveles bajos y, consecuentemente, el flujo persistente del este no se forma en esta simulación. La ausencia del LLJ cálido y húmedo repercute en el aporte de humedad en la región. Así en la Fig. 4 se observa como el AP no alcanza valores importantes en ningún momento de la simulación. Esto explica, pues el dramático cambio en el campo de precipitación obtenido para esta simulación y confirma el papel crucial que desempeña la DANA en la formación y estancamiento del flujo de niveles bajos, y en la consecuente precipitación intensa.

El papel de los núcleos negativos de PV situados al Este y Oeste de la perturbación principal A (Fig. 5) en el desarrollo y evolución de la DANA y de sus consecuencias sobre los niveles bajos, es también analizado a través de simulación numérica.

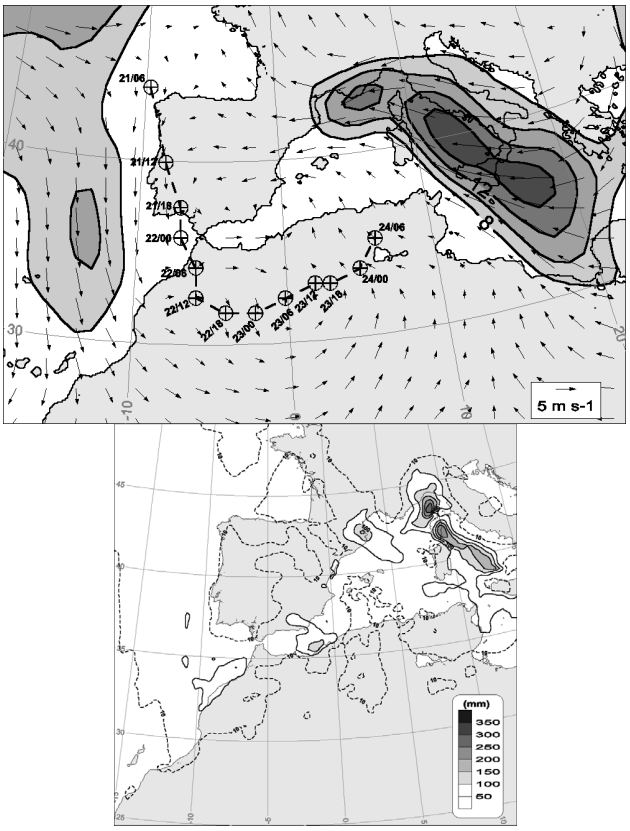


Figura 7. **Como en la figura 3 pero para el experimento sin la perturbación B.** *As in figure 3 but for the experiment with no B anomaly.*

El experimento sin la anomalía B desarrolla una DANA más intensa que progresa más rápido hacia el Este (Fig. 7a). Como consecuencia de ello, los máximos de viento del flujo del Este sobre el Mediterráneo occidental se desplazan también hacia el noreste y el aporte de humedad, y la consecuente precipitación, se produce sobre el noroeste de Italia, en la región hacia donde el LLJ apunta.

Por otra parte, en el experimento sin la anomalía C, la DANA simulada es también más intensa que en el experimento de control aunque su trayectoria se sitúa más al norte. Análogamente al caso anterior, la repercusión en niveles bajos es un corrimiento del flujo de niveles bajos y el consiguiente desplazamiento de los núcleos de precipitación intensa hacia el norte.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado un estudio numérico de sensibilidad de un caso de lluvias intensas ocurrido los días 21-24 Octubre de 2000 sobre el levante de la península Ibérica. Se han identificado algunos de los agentes causantes de precipitaciones cuantiosas, que en puntos aislados sobrepasaron los 500 mm. La situación sinóptica dominante se caracterizó por la presencia de una Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) y un persistente flujo cálido y húmedo del este en los niveles bajos, apuntando hacia la zona mediterránea española.

Los resultados de simulaciones numéricas revelan el papel fundamental desempeñado por el LLJ en el transporte hacia la región de humedad, tanto presente remotamente en el dominio de simulación, como evaporada durante el largo recorrido del aire por sobre el mar.

Por otra parte, utilizando la técnica de inversión de vorticidad potencial, se ha cuantificado el efecto de la DANA, así como de dos anomalías negativas en el campo de PV, presentes al este y oeste de la anomalía positiva asociada a la DANA. Los resultados de estas simulaciones evidencian el efecto determinante de la DANA sobre la dinámica de niveles bajos, y en particular, sobre la formación,

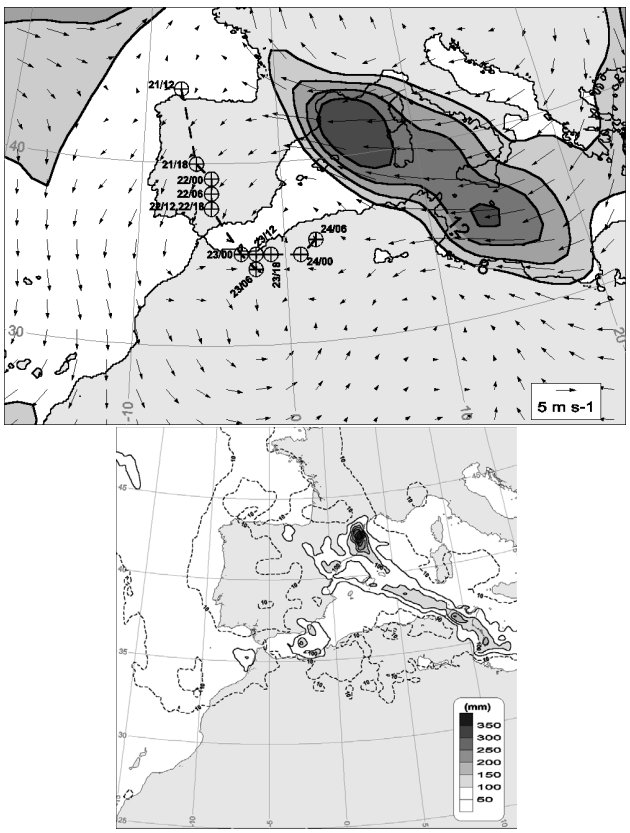


Figura 6. **Como en la figura 3 pero para el experimento sin la perturbación C.** *As in figure 3 but for the experiment with no C anomaly.*

intensidad y posición del LLJ persistente sobre el Mediterráneo occidental.

Finalmente, se ha estudiado la sensibilidad de la estacionalidad de la DANA a la presencia de débiles anomalías negativas de PV durante su génesis y evolución. Los resultados muestran cómo el efecto combinado de dos anomalías sinópticas débiles de niveles altos troposféricos favorece la estacionariedad de la DANA principal, y la consecuente inmovilidad de niveles bajos, dando como resultado las lluvias intensas y persistentes.

Estos resultados demuestran y cuantifican la gran importancia de una correcta representación de la intensidad y posición de estructuras de niveles altos para obtener mejores previsiones numéricas de este tipo de eventos de lluvias intensas.

Referencias

Davis, C. A. and K. Emanuel (1991): "Potential vorticity diagnostics of cyclogenesis", *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1929-1953.

Homar, V. , C. Ramis, R. Romero, S. Alonso, J. A. García-Moya and M. Alarcón (1999): " A case of convection development over the western Mediterranean sea: A study through numerical simulations", Meteor. Atmos. Phys.,**71**, 169-188.

Romero, R., C.A. Doswell III and C. Ramis (2000): Mesoscale numerical study of two cases of long-lived quasistationary convective systems over eastern Spain", Mon. Wea. Rev., **128**, 3731-3751.