

# *Experimentos numéricos con diferentes resoluciones de episodios de lluvias fuertes y ciclogénesis de Argelia*

E. RODRÍGUEZ CAMINO (1), J. A. GARCÍA-MOYA ZAPATÁ (1) y  
A. JANSÁ CLAR (2)

(1) S. Predicción Numérica, INM

(2) CMZ Baleares, INM

## **RESUMEN**

Se estudia la dependencia crucial de la resolución en el modelo de área limitada del INM para simular episodios de lluvias fuertes asociados con ciclogénesis de Argelia. Estos fenómenos caen ya dentro de la mesoscala por lo que la resolución operativa del modelo es inadecuada para su simulación.

## **1. INTRODUCCION**

En la escena mediterránea, las perturbaciones macrometeorológicas interaccionan con los factores locales (orografía y contraste tierra-mar) para generar sistemas meteorológicos que son específicamente mediterráneos. Los dos tipos principales de tales sistemas son las bajas mediterráneas y los sistemas convectivos organizados. Probablemente ambos tipos, que incluso pueden estar relacionados, tienen que ver con los episodios de lluvias fuertes en el Mediterráneo. Una descripción detallada de las características de tales episodios puede verse en Jansá *et al.* (1990) y en la bibliografía allí citada.

Centrándonos sólo en episodios en los que tiene lugar ciclogénesis de Argelia, se han seleccionado dos casos en los cuales aparecen simultáneamente una baja en el mar de Alborán-Palos, aunque no profunda, y precipitaciones convectivas intensas y copiosas que causaron riadas y pérdidas en algunas de las regiones del Mediterráneo español.

La primera de las seleccionadas tuvo lugar entre el 2 y el 4 de noviembre de 1987 (Riosalido *et al.*, 1988a y 1988b), y la segunda entre el 3 y el 6 de septiembre de 1989 (Jansá *et al.*, 1990).

En este trabajo sólo se va a tratar la dependencia crucial de la resolución de los modelos para simular adecuadamente estos fenómenos que caen ya dentro de la mesoscala y el papel determinante de la parametrización de la radiación en los modelos para simular cantidades de precipitación lo más realistas posibles. Otros aspectos relativos a la influencia de la orografía, de

la liberación de calor latente de condensación y de las condiciones iniciales aparecen tratados en Jansá *et al.*, (1990) y Rodríguez *et al.* (1990).

## 2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

Los experimentos se han realizado tomando como base el modelo de área limitada (LAM) operativo en el INM. Dicho modelo es una versión del modelo en diferencias finitas de área limitada del ECMWF con una resolución de 0.91 grados tanto en latitud como en longitud.

La versión en diferencias finitas del LAM del ECMWF posee las siguientes características (Haseler y Burridge, 1977):

- Ecuaciones primitivas en forma de flujo.
- Variables independientes: longitud, latitud, coordenada vertical sigma ( $p/p_s$ ).
- Variables pronosticadas: temperatura, vientos zonal y meridiano, razón de mezcla y presión en superficie.
- Integración temporal: método «leapfrog» semi-implícito.
- Discretización espacial: diferencias finitas centradas de segundo orden sobre una rejilla tipo C de Arakawa con espaciado regular tanto en longitud como en latitud. Diferencias centradas en sigma sobre niveles con espaciado no uniforme.
- Física opcional: difusión horizontal, flujos superficiales, difusión vertical, radiación, convección, precipitación estratiforme.
- Condiciones de contorno: esquema de relajación que mezcla los valores previstos con valores prescritos en una banda de 8 puntos en la frontera (esquema de Davies-Källberg).

Se han utilizado dos versiones del modelo con diferentes resoluciones horizontales. La primera (LAM.91), que es básicamente el modelo de área limitada operativo en el INM, tiene las siguientes características específicas:

- Área: De 21.00 N a 65.59 N y de 60.00 W a 28.27 E.
- Resolución horizontal: .91 grados en longitud y latitud.
- Paso de tiempo: 450 segundos.

La segunda versión (LAM.455), utilizada solamente con fines experimentales, posee doble resolución horizontal y el mismo número de puntos rejilla que la versión operativa, por lo que el área de integración se reduce y centra alrededor del Mediterráneo Occidental:

- Área: De 28.735 N a 51.03 N y de 15.865 W a 28.27 E.
- Resolución horizontal: .455 grados en longitud y latitud.
- Paso de tiempo: 225 segundos.

Ambas versiones, LAM.91 y LAM.455, tienen las siguientes características comunes:

- Resolución vertical: 15 niveles sigma distribuidos de la siguiente manera:

.025	.588
.076	.678
.131	.765
.192	.845
.260	.914
.334	.966
.414	.995
.500	

— La física incluye:

a) Difusión horizontal: esquema lineal de cuarto orden con coeficiente 0.05.

b) Flujos superficiales de momento, calor y humedad basados en Monin-Obukov y dependientes de la estabilidad.

c) Difusión vertical: Los flujos por encima de la capa superficial se calculan basándose en la teoría de longitud de mezcla. El coeficiente de difusión depende de la cizalladura del viento y de la estabilidad con longitud de mezcla asintótica de 150 m.

d) Precipitación de gran escala siempre que la humedad supera el valor de saturación de 100%. El agua condensada cae instantáneamente como precipitación. Se considera la evaporación de las gotas de lluvia cuando caen a través de capas no saturadas.

e) Convección húmeda. Según el modelo de parametrización de cúmulos de Kuo-74. Las nubes cumuliformes son forzadas por la convergencia media en niveles bajos en regiones de estratificación condicionalmente inestable. La producción de aire de nube es proporcional a la cantidad neta de convergencia de humedad en una columna correspondiente a un punto de rejilla más el suministro de humedad debido a evaporación superficial. Se introduce un parámetro  $\beta$  (Kuo, 1974), de tal forma que la fracción  $1-\beta$  se condensa, mientras que la fracción restante  $\beta$  se almacena en la atmósfera. La elección de  $\beta$  (Anthes, 1977) depende de la humedad relativa media en la columna.

f) La radiación sigue el esquema simplificado desarrollado por Nordeng (1985). Las ondas larga y corta se tratan de forma separada. En la radiación de onda larga los materiales absorbentes y emisores son el vapor de agua, el agua líquida y el dióxido de carbono (concentración constante). Se utiliza la aproximación de la emisividad para resolver las ecuaciones de transferencia radiativa. La función de emisividad se determina empíricamente y depende del dióxido de carbono y del vapor de agua. Utiliza la nubosidad diagnóstica del modelo para modular la radiación. En la radiación de onda corta se tiene en cuenta la dispersión por moléculas de aire y por nubes. El flujo de onda corta aparece también modulado por la absorción del vapor de agua. Se incluye una variación diurna adecuada en la radiación de onda corta.

El área de integración de ambas versiones contiene el mismo número de puntos de rejilla en la horizontal ( $50 \times 98$ ), tal como se muestra en la figura 1.

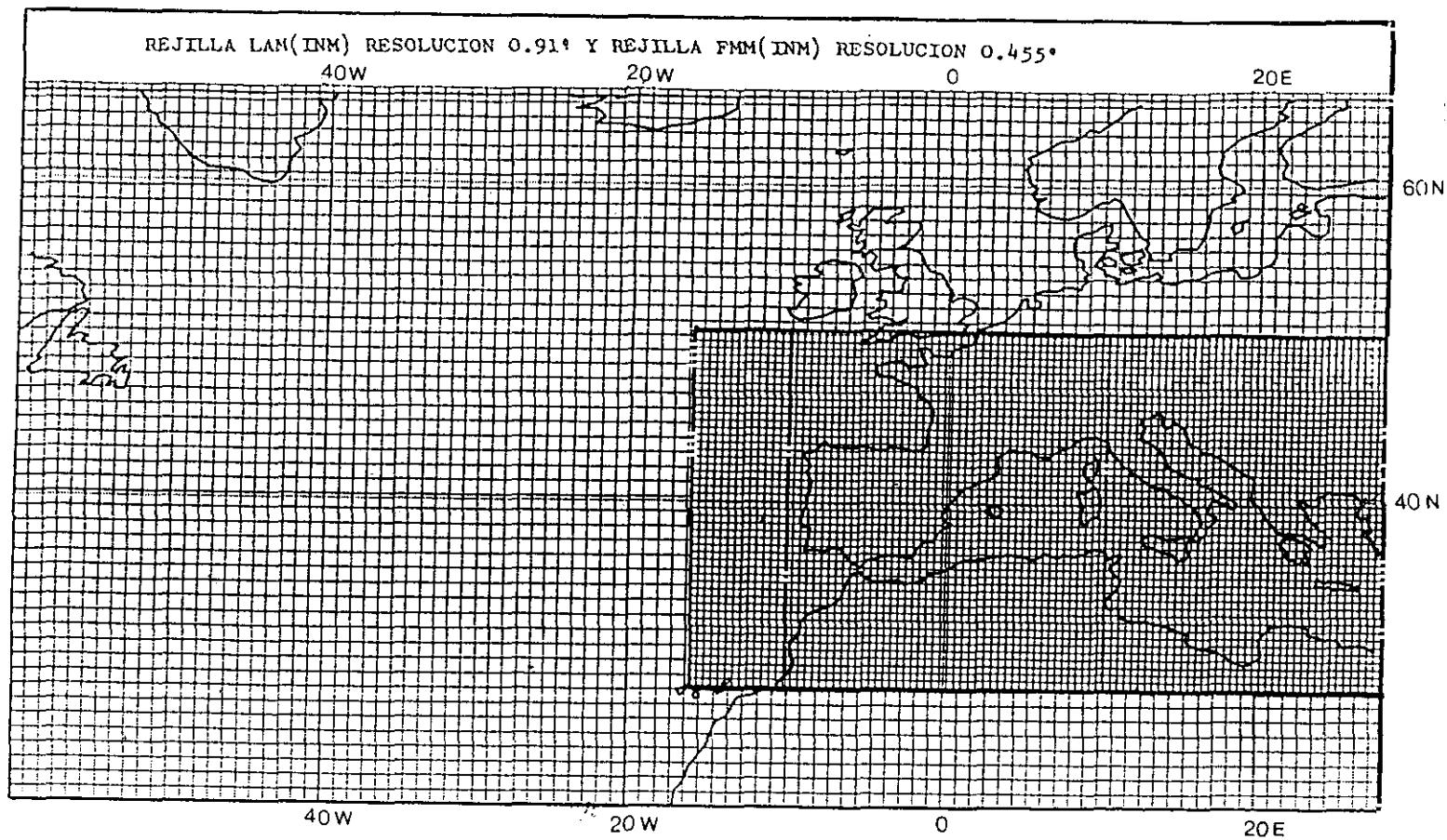


Figura 1.—Áreas de integración de las dos versiones del LAM mencionadas en el texto.

Los campos iniciales se han tomado de los archivos del INM de análisis y predicciones operativas basadas en el LAM.91.

Como condiciones de contorno se han tomado nuestros análisis operativos separados 12 horas y linealmente interpolados para cada paso de tiempo. Con el fin de comprobar la sensibilidad de los experimentos frente a cambios en las condiciones de contorno se han utilizado también como condiciones de contorno nuestras predicciones operativas (para el LAM.455) y las predicciones del ECMWF (para el LAM.91). El intervalo temporal de los valores de contorno, cuando se utilizan predicciones, es de 6 horas.

Los campos de geopotencial, vientos zonal y meridiano en los niveles de 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, y 100 hPa, así como los de humedad relativa en los primeros 6 niveles se han extraído de nuestros archivos de análisis y predicciones operativas del LAM, mientras que los campos utilizados como condiciones de contorno se han tomado de la base de datos del ECMWF. Cuando se utiliza la versión de alta resolución del modelo, LAM.455, las condiciones iniciales se interpolan bilinealmente desde la resolución operativa de 0.91 grados a la resolución de 0.455 grados. Se debe tener siempre en cuenta que se está partiendo de un análisis muy suavizado que no es capaz de incorporar desde el principio las estructuras mesoescalares que se quieren estudiar, con la esperanza de que el forzamiento debido a la orografía y a la escala sinóptica (conjuntamente con la alta resolución empleada) sea capaz de generar estructuras mesoescalares similares a las reales.

En la fecha de los dos casos estudiados nuestro sistema de asimilación era intermitente, cada 12 horas, con una ventana de observaciones de  $\pm 3$  horas. El análisis se realizaba en 10 niveles de presión estándar, siendo analizados los campos de masa y de viento por interpolación óptima 3D, los de temperatura por interpolación óptima 2D y los de humedad por interpolación óptima 2D hasta 300 hPa (Gustafsson, 1979; Díaz-Pabón, 1989). La resolución era de 0.91 grados tanto en latitud como en longitud. Los campos previos eran predicciones H+12 del ECMWF a las 00Z y predicciones H+12 del LAM a las 12Z. Los tipos de observación incluidos eran SYNOP, TEMP, SATEM y AIREP. El análisis no estaba en ese momento inicializado.

Los campos de superficie iniciales de temperatura del suelo, humedad del suelo, cubierta de nieve, temperatura profunda del suelo y humedad profunda del suelo se han tomado de los archivos del ECMWF.

La orografía procede de la cinta de la «Navy» y se trata de orografía media promediada a partir de la resolución original de 10 minutos a ambas resoluciones del modelo (fig. 2).

La interpolación vertical de los campos es lineal en  $\ln(p)$  a los niveles sigma del modelo.

La inicialización de los campos de masa y de viento se realiza por el método de las derivadas acotadas (Biljsma and Hafkenscheid, 1986) con 2 modos verticales inicializados y 5 iteraciones.

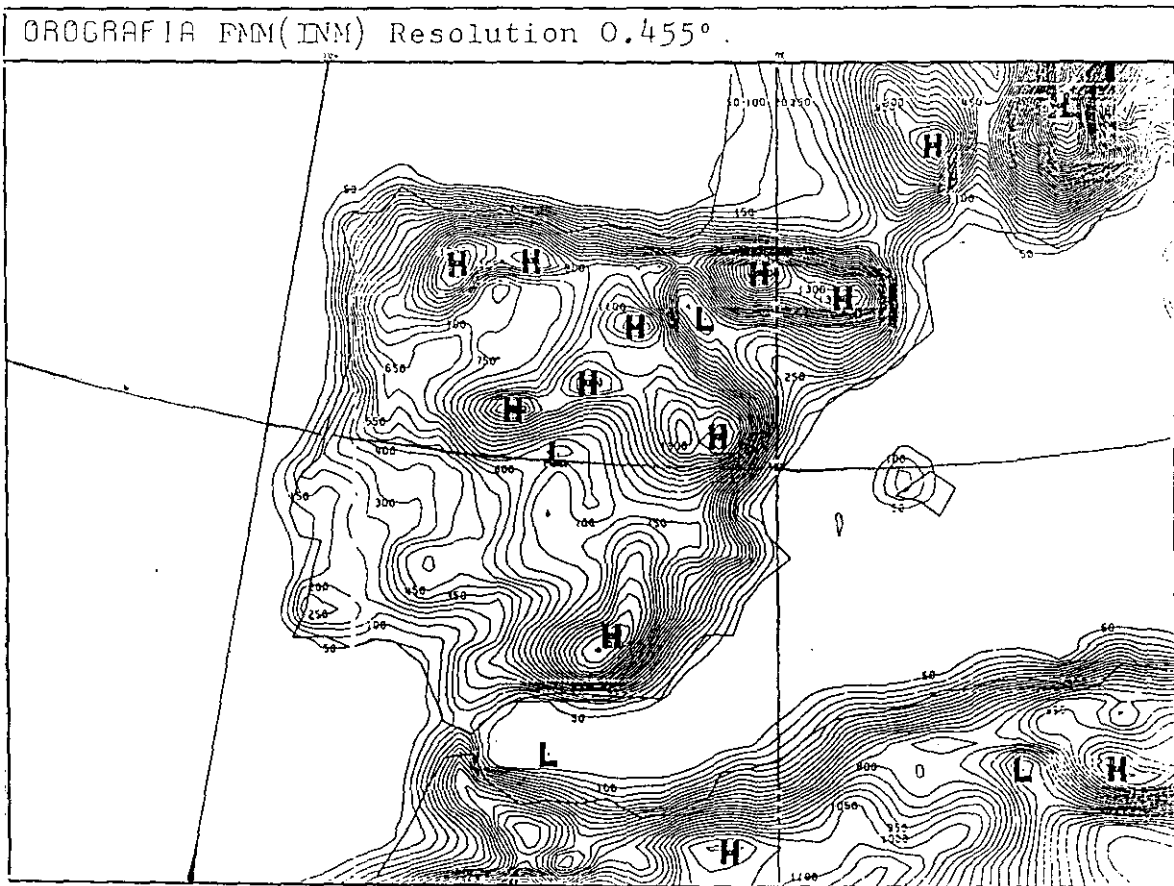


Figura 2.—Orografía de la Península Ibérica en la versión LAM.455.

### 3. EXPERIMENTOS

Se han elegido dos situaciones de ciclogénesis de Argelia, inicializándose los experimentos el 2 de noviembre de 1987 a las 12Z para la primera de ellas y el 3 de septiembre de 1989 a las 12Z para la segunda.

El conjunto de experimentos que se describen aquí fueron realizados sin incorporar la radiación, con el fin de comparar con el modelo de área limitada operativo que en las fechas seleccionadas no tenía todavía la radiación incorporada. En esta colección de experimentos se han variado solamente la resolución y las condiciones de contorno, para determinar, en primer lugar, en qué medida es importante la resolución para simular la ciclogénesis de Argelia y, en segundo lugar, cómo son de sensibles estas simulaciones frente a pequeñas variaciones en las condiciones de contorno. También se ha incluido un experimento de control, que contiene toda la física (radiación incluida), alta resolución y análisis como condiciones de contorno. Otros experimentos en los que se explora el papel de la orografía, de la liberación de calor latente de condensación y de las condiciones iniciales aparecen descritos en Jansá *et al.* (1990) y Rodríguez *et al.* (1990).

La tabla 1 resume el conjunto de experimentos. Se realizaron cuatro experimentos, sin radiación, para cada una de las dos condiciones iniciales mencionadas más arriba y uno de control con radiación. Los experimentos A y B son idénticos excepto por las condiciones de contorno, ambos se integraron hasta 48 horas con la resolución operativa (0.91 grados), utilizando como condiciones de contorno en el experimento A predicciones del ECMWF separadas 6 horas entre sí y en el experimento B nuestros análisis operativos separados 12 horas. Igualmente en el caso de los experimentos C y D, ambos se integran hasta 48 horas pero con doble resolución (0.455 grados), utilizando en el experimento C como condiciones de contorno las predicciones operativas de nuestro LAM separadas 6 horas entre sí y en el experimento D nuestros análisis separados 12 horas. El experimento I de control es igual que el D excepto que tiene incluida la radiación.

Tabla 1.  
Resumen de los experimentos numéricos.

Experimento	Resolución	Cond. Contorno
A	0.91	Predic. ECMWF
B	0.91	Anal. LAM (INM)
C	0.455	Pred. LAM (INM)
D	0.455	Anal. LAM (INM)
I (Control)	Radiac. 0.455	Anal. LAM (INM)

#### 4. RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

Con el fin de tener unos pocos elementos de comparación entre los diferentes experimentos, centraremos nuestra atención principalmente en tres puntos de interés: a) existencia, localización e intensidad de la baja de Argelia, b) gradiente de presión dirigiendo el aire contra la costa mediterránea y c) cantidad y distribución de la precipitación.

##### 1) Caso del 2-4 de noviembre de 1987

Experimento 1 (control: alta resolución, con radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 3).

El centro de la baja de Argelia tiene la misma localización e intensidad que en el mesoanálisis manual verificante (fig. 5) para el 4 de noviembre a las 00Z (H + 36). El gradiente es muy similar al obtenido mediante el mesoanálisis manual. La precipitación para el 4 de noviembre entre las 00 y 12Z presenta un máximo bien definido en la misma región donde fue medida (fig. 8). Compárense estos máximos con las imágenes infrarrojas del Meteosat del día 3 a las 23.30Z y del día 4 a las 12.30Z (véase figs. 9 y 10). Véanse también los datos de precipitación acumulada incluidos en Jansá *et al.* (1990), y que muestran un gran parecido con la simulación de control, tanto en distribución espacial como en cantidad de precipitación. Este experimento se

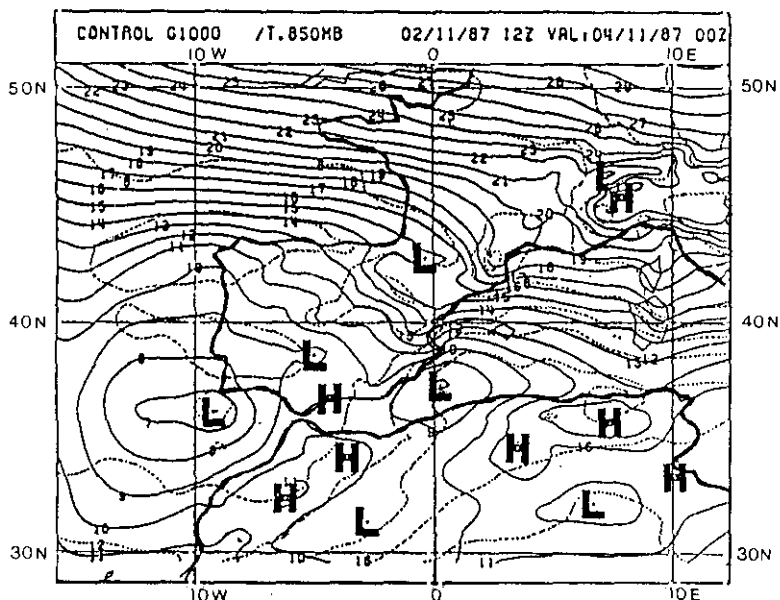


Figura 3.—Exp. 1 (control), geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H+36 basado en análisis 02 11 87 a 12Z.



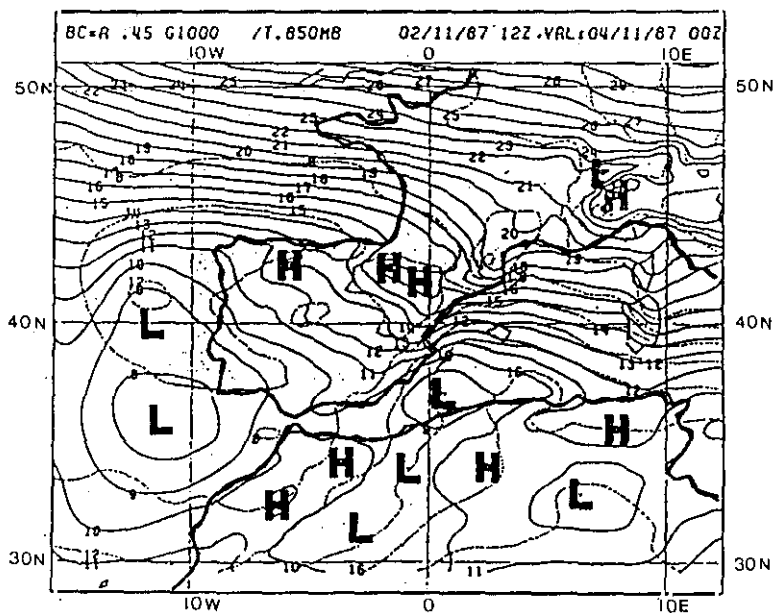


Figura 4. —Exp. D, geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H+36 basado en el análisis 02/11/87 a 12Z.

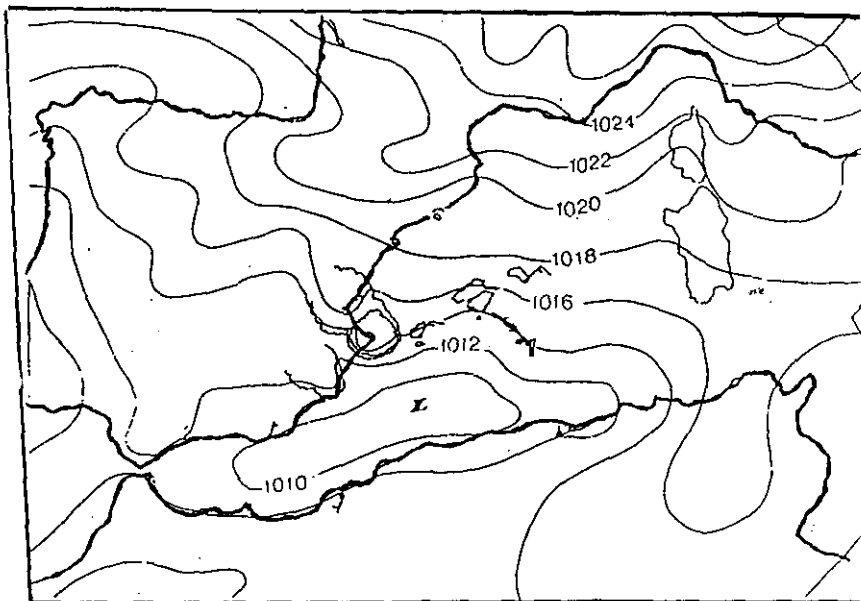


Figura 5.—Mesoanálisis manual verificante. 04-11-87 a 00Z.

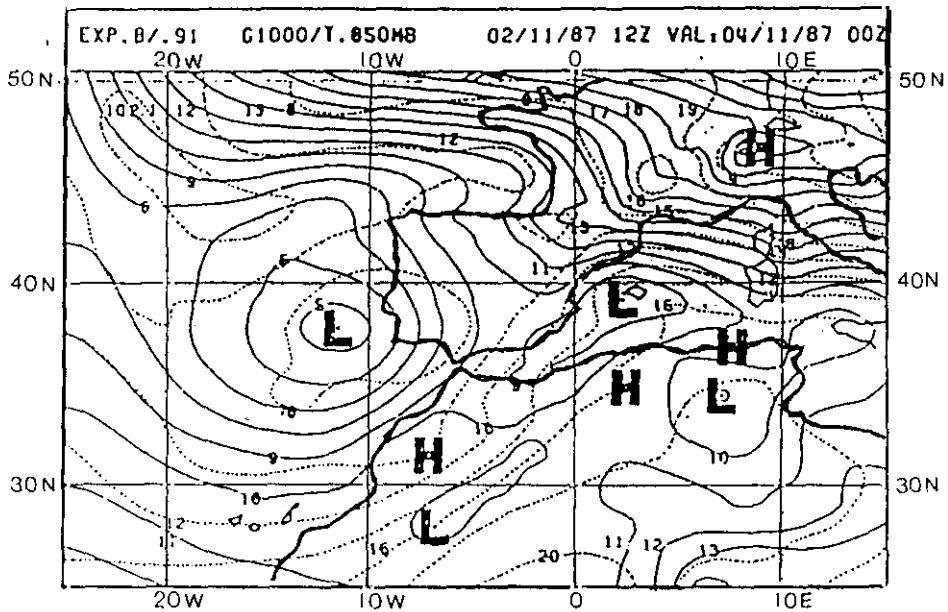


Figura 6.—Exp. B, Geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H+36 basado en análisis 02/11/87 a 12Z.

tomará como referencia para sucesivos experimentos correspondientes a la misma situación.

Experimento B (baja resolución, sin radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 6).

Existe el centro de bajas presiones, pero desplazado hacia el NE y mostrando una intensidad admisible. El gradiente de presión queda desplazado hacia el N y con intensidad similar al experimento D. La cantidad de precipitación es mucho menor que en el experimento 1 (fig. 7) y los núcleos aparecen desplazados hacia el N.

Experimento D (alta resolución, sin radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 4).

El centro de la baja de Argelia y el gradiente de presión son muy similares al experimento 1 de control. La cantidad de precipitación es mucho menor que en el experimento de control pero mayor que en el experimento B. La distribución espacial de precipitación es muy parecida a la del experimento de control (no se muestran figuras).

Experimentos A y C (iguales que B y D, pero con predicciones utilizadas como condiciones de contorno).

Las características son muy próximas al B y al D, respectivamente. No se muestran figuras por la gran similitud que guardan con las correspondientes al B y al D.

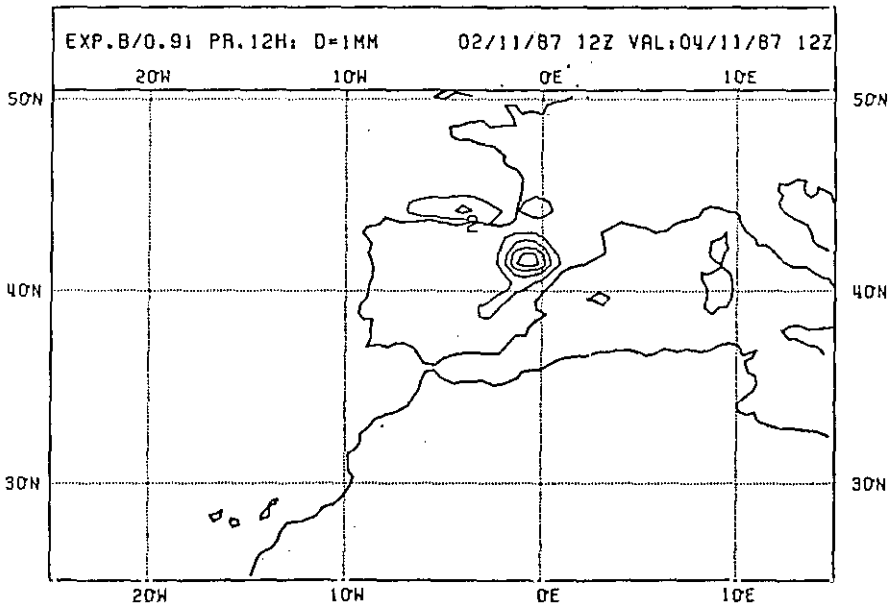


Figura 7.—Exp. B, precip. acumulada entre 04/11/87 a 00Z y 04/11/87 a 12Z, basado en análisis 02/11/87 a 12Z. (Isoyetas cada 1 mm)

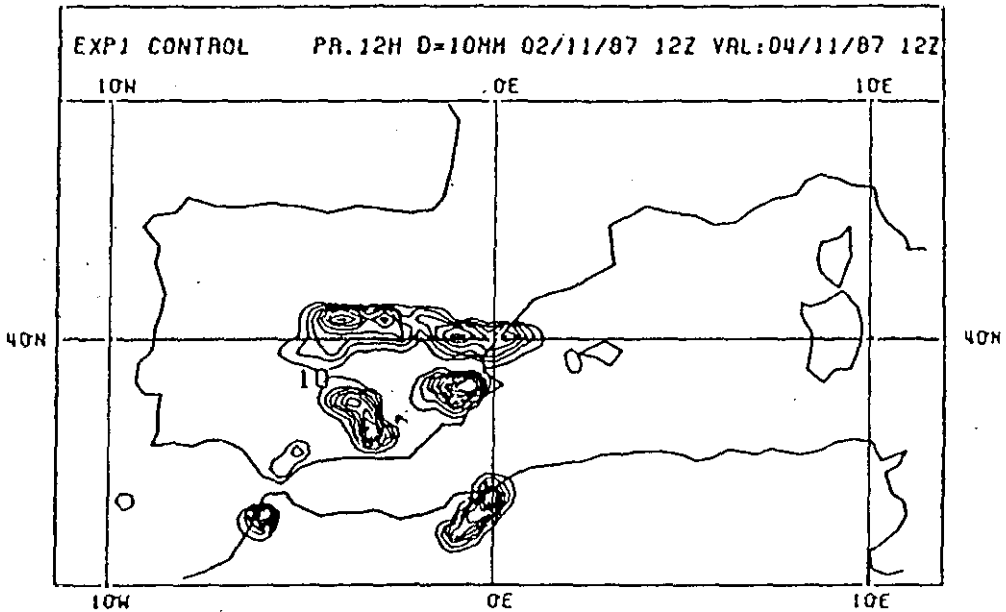


Figura 8.—Exp. J (control), precip. acumulada entre 04/11/87 a 00Z y 04/11/87 a 12Z, basado en análisis 02/11/87 a 12Z. (Isoyetas cada 10 mm)

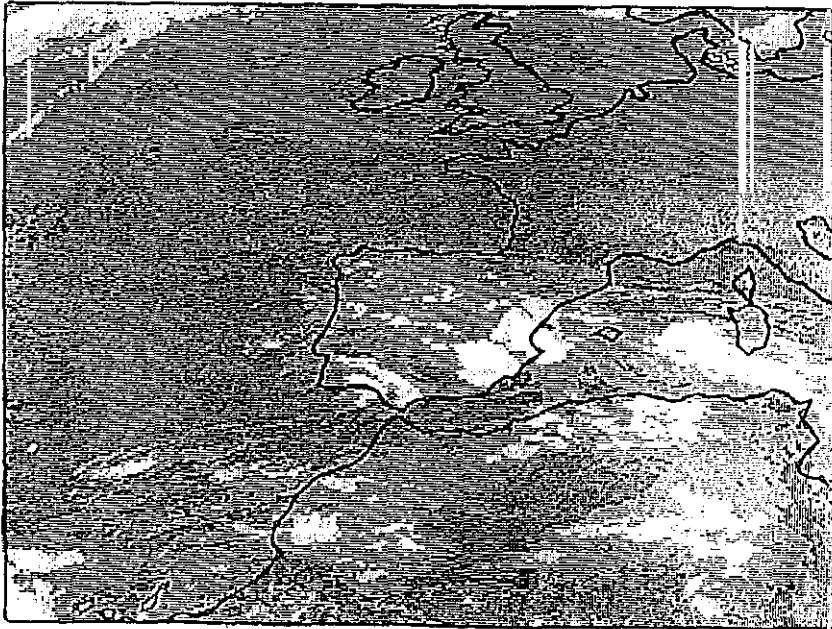


Figura 9.—Imagen Meteosat infrarroja 03/11/87 a 23.30Z.

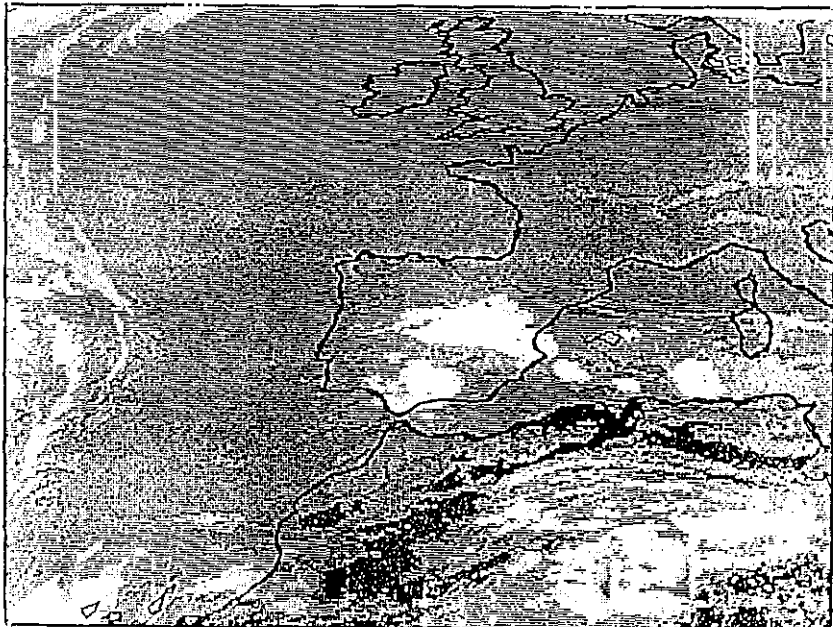


Figura 10.—Imagen Meteosat infrarroja 04/11/87 a 12.30Z.

II) Caso del 3-5 de septiembre de 1989

Experimento 1 (control: alta resolución, con radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 11).

Se coge bastante bien la baja de Argelia tanto en localización como en intensidad cuando se compara con el mesoanálisis manual verificante (fig. 13) para el 5 de septiembre a las 00Z (H + 36). El chorro de bajos niveles apuntando hacia el ENE, contra el cabo de Palos, queda también bien simulado. La simulación de la precipitación aunque no se ajusta a la observada de forma tan espectacular como en el caso anterior, es todavía aceptable, sobre todo en cuanto a intensidades.

Experimento B (baja resolución, sin radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 14).

La baja no aparece cerrada y es bastante menos intensa. Su localización está ligeramente desplazada hacia el N. El gradiente de presión aparece correctamente simulado, pero el principal defecto es la ausencia de precipitación.

Experimento D (alta resolución, sin radiación, análisis como condiciones de contorno, fig. 12).

El centro de la baja y los gradientes de presión son muy similares a los del experimento de control, aunque en este experimento la baja sea ligeramente menos intensa. De nuevo no se produce precipitación.

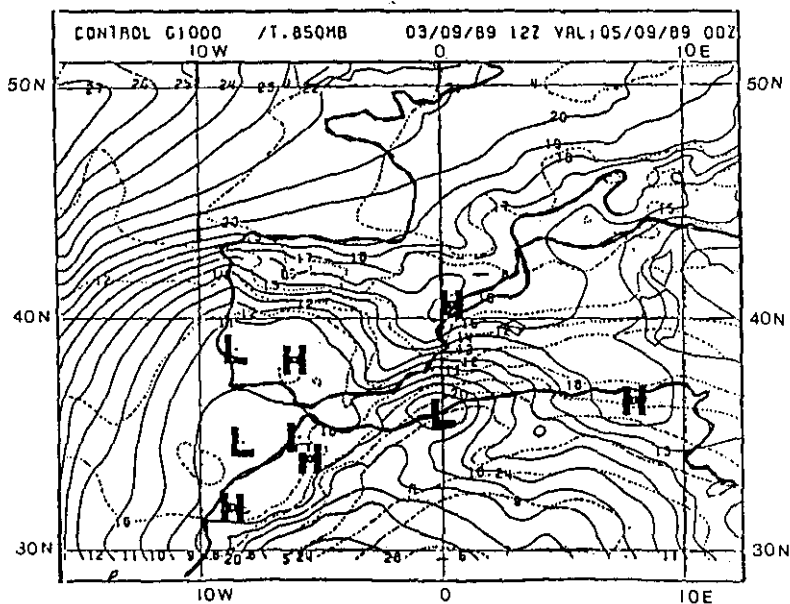


Figura 11.—Exp. 1 (control), geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H+36 basado en análisis 03/09/89 a 12Z.

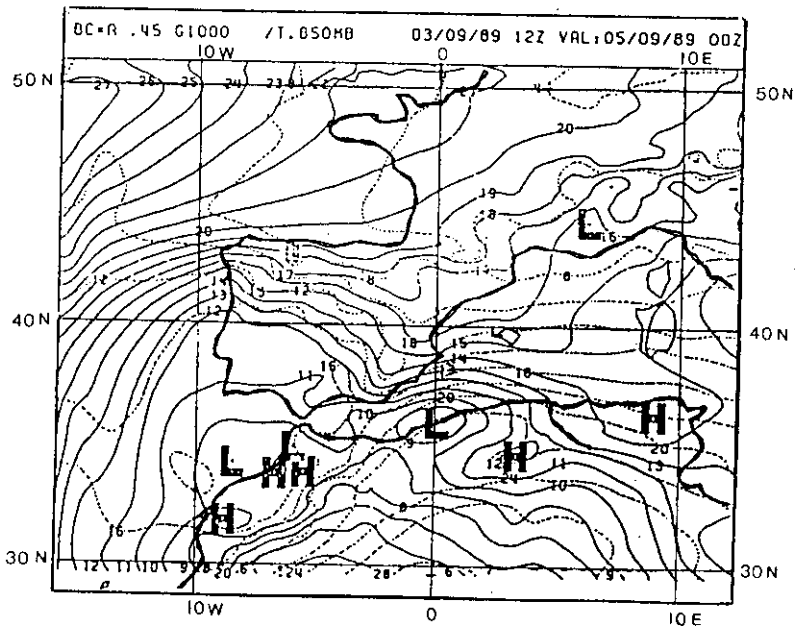


Figura 12.—Exp. D. geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H+36 basado en el análisis 03/09/89 a 12Z.

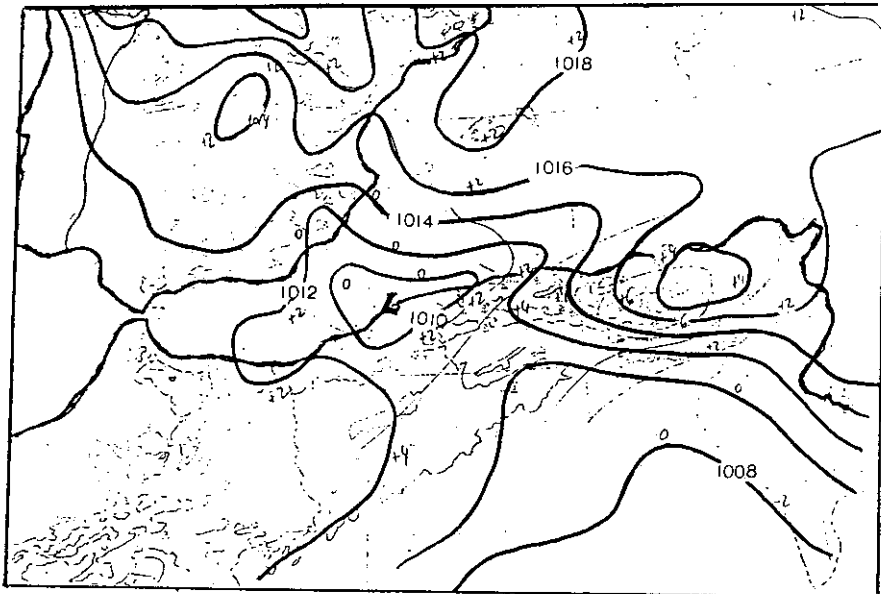


Figura 13.—Mesoanálisis manual verificante. 05/09/89 a 00Z.

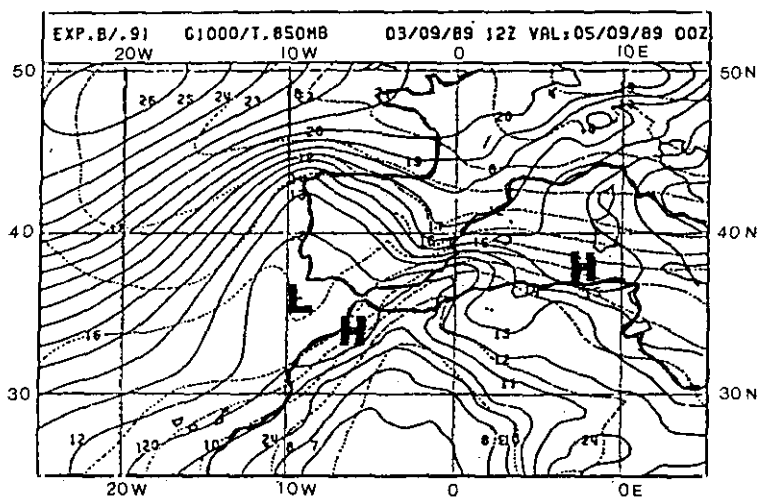


Figura 14.—Exp. B, Geop. 1.000 mb y temp. 850 mb H + 36 basado en análisis 03/09/89 a 12Z.

Experimentos A y C (iguales que B y D, pero con predicciones utilizadas como condiciones de contorno).

Las características son muy próximas al B y al D, respectivamente. No se muestran figuras por la gran similitud que guardan con las correspondientes al B y al D.

## 5. CONCLUSIONES

Se pueden extraer las siguientes conclusiones referentes al comportamiento del LAM (INM) en los dos casos seleccionados.

a) Sobre la influencia de la resolución.

Si se comparan los experimentos con baja resolución con los de alta resolución, se observa con respecto a la distribución bérica un desplazamiento hacia el N de la depresión de Argelia en los experimentos con baja resolución (alejándose de los sistemas montañosos que muy probablemente influyen en su generación), teniendo como consecuencia en uno de los casos (noviembre 87) un desplazamiento de la región de vientos fuertes del este y en el otro (septiembre 89) una reducción en la intensidad del mínimo de presión.

La pérdida de calidad en la simulación de la precipitación es todavía más espectacular, tanto en cantidad (se reduce drásticamente) como en distribución espacial (los máximos de precipitación aparecen falsamente desplazados en el mismo sentido que la configuración bérica), aunque la mayor parte de los efectos están relacionados con la influencia de la radiación. Cuando se comparan los experimentos B y D (ambos sin radiación y diferenciándose

solamente en la resolución), resulta que en caso de noviembre del 87 la cantidad de precipitación es mayor para los experimentos en alta resolución y, lo que es más importante, los máximos de precipitación están distribuidos espacialmente más de acuerdo con la realidad.

Resumiendo, sólo con la versión en alta resolución del modelo pueden esperarse simulaciones de los episodios de lluvias fuertes operativamente útiles, especialmente en lo referente a su distribución espacial.

b) Sobre la influencia de las condiciones de contorno.

Si se comparan los experimentos A y B con los C y D, en ambos casos, resulta que la influencia de las condiciones de contorno, tanto en la distribución bérica como en la simulación de la precipitación, es muy pequeña.

c) Sobre la influencia de la radiación.

Si se comparan los experimentos I, de control, con los experimentos D en alta resolución pero sin radiación, resulta que la distribución bérica es muy similar, siendo la precipitación mucho más intensa en los primeros que en los segundos, aunque, en lo referente a distribución espacial, la localización de los máximos sea parecida.

Resumiendo, sin radiación la cantidad de precipitación es, en ambos casos de precipitaciones fuertes, apenas orientativo.

## REFERENCIAS

- Anthes, R. A. (1977): A Cumulus Parametrization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model. *Mon. Wea. Rev.* **105**, 270-286.
- Bijlsma, S. J. and L. M. Hafkenscheid (1986): Initialization of a Limited Area Model: A Comparison between the Nonlinear Normal Mode and Bounded Derivative Methods. *Mon. Wea. Rev.* **114**, 1445-1455.
- Díaz-Pabón, R. (1989): Modelo operativo en el INM de análisis numérico tridimensional de campos meteorológicos. *Serv. Publicaciones INM*, Madrid.
- Gustafsson, A. (1979): An Operational Scheme for Three-Dimensional Numerical Analysis of Meteorological Fields. *Internal Report*. SMHI.
- Haseler, J. and D. Burridge (1979): Documentation for the ECMWF Grid Point Model. *Internal Report* No. 9, Research Dep., ECMWF.
- Jansá Clar, A.; J. A. García-Moya Zapata y E. Rodríguez Camino (1990): Numerical Experiments about Mediterranean Heavy Rain and Algerian Cyclogenesis. *Technical Report*, INM.
- Kuo, H. L. (1974): Further Studies of the Parametrization of the Influence of Cumulus Convection on Large-Scale Flow. *J. Atmos. Sci.* **31**, 1232-1240.
- Nordeng, T. E. (1986) Parametrization of Physical Processes in a Three-Dimensional Numerical Weather Prediction Model. *Det Norske Meteorologiske Institutt, Technical Report* No. 65.
- Rodríguez Camino, E.; J. A. García-Moya Zapata y A. Jansá Clar (1990): Resultados de experimentos numéricos en casos de episodios de lluvia fuertes en el Mediterráneo. *II Simposio Nacional de Predicción*, INM.
- Riosalido, R.; A. Rivera y F. Martín (1988a): Desarrollo de un sistema convectivo de mesoscala durante la campaña Previmet Mediterráneo-87. *Informe interno del INM*.
- Riosalido, R.; A. Rivera and F. Martín (1988b): Development of a Mesoscale Convective System in the Spanish Mediterranean Area. *Proceeding of the 7th Meteosat Users Meeting*, 375-378.