

ANA M<sup>a</sup> CAMARASA BELMONTE

## LA ESTRUCTURA INTERNA DE LAS TORMENTAS MEDITERRÁNEAS

### RESUMEN

La instalación de un SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) en la fachada oriental española permite estudiar la estructura interna de las tormentas mediterráneas. Los sistemas tradicionales efectúan un registro cada 24 horas, hecho que enmascara las características de la precipitación. El SAIH toma datos cada 5 minutos y supone una eficaz herramienta para el estudio de la variabilidad espacio-temporal de la lluvia.

Con los datos proporcionados por esta red, se han analizado detalladamente tres episodios típicos mediterráneos, a partir de series de mapas de intensidad de precipitación elaborados cada 5 minutos. El estudio corrobora una disposición horizontal jerárquica, donde se pueden distinguir varias escalas, desde células convectivas hasta grandes áreas mesoescálicas de precipitación. Esta estructura escalar está muy mediatizada por el relieve. La orografía ejerce una doble influencia. Por una parte, la orientación del relieve determina vías preferenciales de penetración de flujos inestables en los valles en forma de «fondo de saco» abiertos al mar, mientras los promontorios montañosos inhiben la lluvia. Por otra, la altitud obliga a ascender a las masas de aire favoreciendo el desarrollo de los procesos de precipitación. Como consecuencia se distinguen dos «maneras de llover» según se trate del retablo montañoso o de la llanura litoral.

### ABSTRACT

The spatial-temporal variability of Mediterranean storms has been studied using a part of the recently installed SAIH (the Automatic Hydrological Information System) covering Eastern Spain. The density of the network and the frequency of measurement, every five minutes, allowed the internal structure of storms to be analyzed. Using data collected by this network three typical Mediterranean episodes have been analyzed using series of intensity maps at five minute intervals. The study showed the presence of a hierarchy of scales ranging from convective cells to Large Mesoscale Areas. The rainfall pattern is greatly influenced by the relief in two ways. Firstly, the orientation of mountain ranges determines the flow of unstable air masses up valleys open to the sea while inhibiting rain at altitude. Secondly and contrarily, the relief forces air masses up and

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto PB 89 - 0524 DGICYT (1991-92)

causes rainfall. Two patterns of rainfall are therefore observed: one pattern on the coastal plain and another in the mountains.

### 1. LA INTENSIDAD DE LLUVIA EN TORMENTAS MEDITERRÁNEAS

Uno de los rasgos que caracterizan el clima mediterráneo reside en la peculiar distribución de la lluvia a lo largo del año. Mientras el verano apenas registra precipitación, en otoño se producen episodios torrenciales que, a menudo, originan avenidas catastróficas con una diversificada distribución espacial (MARTÍN VIDE, 1985; MATEU, 1988, 1990; LOPEZ BERMUNDEZ, 1989; GIL OLCINA, 1989;).

A menor escala, en el seno de los propios episodios, la enorme variabilidad espacio-temporal de la lluvia se reproduce. Potentes células convectivas precipitan, durante unos minutos, a intensidades de más de 100 mm/h sobre reducidas superficies, mientras en apenas unos kilómetros a la redonda ni siquiera llueve, o lo hace a muy baja intensidad.

Las repercusiones de la variabilidad de la lluvia son muy importantes porque influyen en la formación de escorrentía, capacidad de infiltración del suelo, umbrales y coeficientes de escorrentía, parámetros temporales de respuesta de las cuencas, etc. (YAIR y LAVEE, 1985; SCHICK, 1988, SEGURA, 1990; YAIR, 1990). Los procesos fluviales en ambientes semiáridos están especialmente determinados por el agua que cae sobre las cuencas. Por ello la variabilidad espacial y temporal de la precipitación constituye un requisito previo para entender los cambios en el comportamiento de los ríos (GRAF, 1988). NIEMCZYNOWICZ (1986) considera que la velocidad y dirección del movimiento de las tormentas sobre las cuencas constituye un factor fundamental para la forma del hidrograma de escorrentía. YAIR y LAVEE (1985) enfatizan las discontinuidades que en la producción de escorrentía provoca la variabilidad de la lluvia.

La reciente instalación de un SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) en la fachada mediterránea española ha supuesto un avance importante para el estudio de la estructura interna de las tormentas. Hasta el momento de funcionamiento de esta red, las fuentes hidrológicas tradicionales de la zona tomaban los datos cada 24 horas. Este hecho enmascaraba y desvirtuaba las características de la intensidad de precipitación, máxime habida cuenta de que los mayores problemas son generados por células convectivas de gran intensidad pero escasa duración. En este sentido, conviene destacar que si bien la intensidad de precipitación, entendida en su aspecto más puro y teórico, «nunca se mide» (RODRIGUEZ-ITURBE y EAGLESON, 1987), la estructura de la misma tiene características diferentes dependiendo de la escala temporal con que se trabaje (WAYMIRE y GUPTA, 1981; RODRIGUEZ-ITURBE *et al.*, 1984; VALDES *et al.*, 1985; GARCIA BARTUAL y MARCO, 1990). Este aspecto adquiere especial énfasis en el caso del clima mediterráneo, donde, la lluvia de un solo evento puede duplicar, incluso triplicar la media de precipitación anual (GIL OLCINA, 1989). Es imprescindible, por tanto, contar con una escala temporal adecuada al tipo de fenómeno que se estudia (VALDES *et al.*, 1985).

Partiendo de intensidades máximas diarias resultaba inviable reconocer la *estructura interna* de las tormentas y por ello la investigación se ha centrado tradicionalmente en su *estructura externa*, a menudo planteada bajo ópticas meso y macroescalares. A partir de la instalación de la red SAIH, la escala temporal se reduce a 5 minutos, hecho que posibilita individualizar los núcleos de precipitación en cada hietograma, caracterizando su duración, intensidad máxima y peso específico en el total de la tormenta, además de identificar los ritmos temporales de acumulación de lluvia.

Por lo que respecta a la distribución espacial, la lluvia resulta, también, extraordinariamente variable. Según la bibliografía la precipitación presenta una disposición escalar jerarquizada que puede reconocerse en función de su extensión horizontal (GUPTA y WAYMIRE, 1979). AUSTIN y HOUZE (1972), a partir del estudio sistemático de imágenes de radar en Nueva Inglaterra, reconocen al menos cuatro escalas: *synoptic rain areas*, *large mesoscale precipitation areas (LMSA)*, *small mesoscale precipitation areas (SMSA)* y *células convectivas*. Las células son los elementos de menor escala. Son móviles en el espacio y dinámicas en su desarrollo interno (SHARON, 1972, 1981; YAIR y LAVEE, 1985) y tienen una superficie que oscila entre los 10 y los 50 Km<sup>2</sup>. Pueden originarse aisladamente (*cell cluster*) o en el seno de estructuras meso y macroescalares. A menudo aparecen insertas en las *small mesoscale precipitation areas (SMSA)* que ocupan una superficie entre los 100 y los 1,000 Km<sup>2</sup>. Estas, a su vez, pueden producirse dentro de las denominadas LSMA (*large mesoscale precipitation areas*) cuya amplitud varía entre los 1,000 y los 10,000 Km<sup>2</sup> (AMOROCHIO y WU, 1977; WAYMIRE y GUPTA, 1981; WAYMIRE *et al.*, 1984). La escala superior *-synoptic areas-* abarca superficies de más de 10,000 Km<sup>2</sup>. El SAIH permite reconocer el patrón horizontal de la lluvia y su evolución, particularmente de las estructuras macroescálicas y mesoescálicas (*synoptic areas*, *LMSA* y *SMSA*), si bien no resulta una red lo suficientemente densa para el caso de las células convectivas. No obstante se ha podido precisar la génesis y evolución de gran parte de ellas.

Este trabajo muestra el amplio abanico de posibilidades que los nuevos sistemas de información hidrológica abren al investigador en el campo de la intensidad de precipitación, tanto en su dimensión temporal como espacial. Se muestran los primeros resultados obtenidos por esta red sobre un territorio piloto de unos 4,690 Km<sup>2</sup>, ubicado en Valencia (fachada oriental española) y monitorizado por 21 estaciones del SAIH (fig 1). Se analizan tres episodios (dos otoñales y uno primaveral) representativos del tipo de lluvia mediterránea. Se presta especial atención a la variabilidad espacio-temporal de la intensidad de precipitación y su relación con el factor orográfico, desde la perspectiva que ofrece un sistema de registro cincominutal.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EPISODIOS ANALIZADOS

El área de estudio ocupa una superficie aproximada de 4,690 Km<sup>2</sup>, localizada en la Comunidad Valenciana, sector oriental español. Participa de las caracterís-

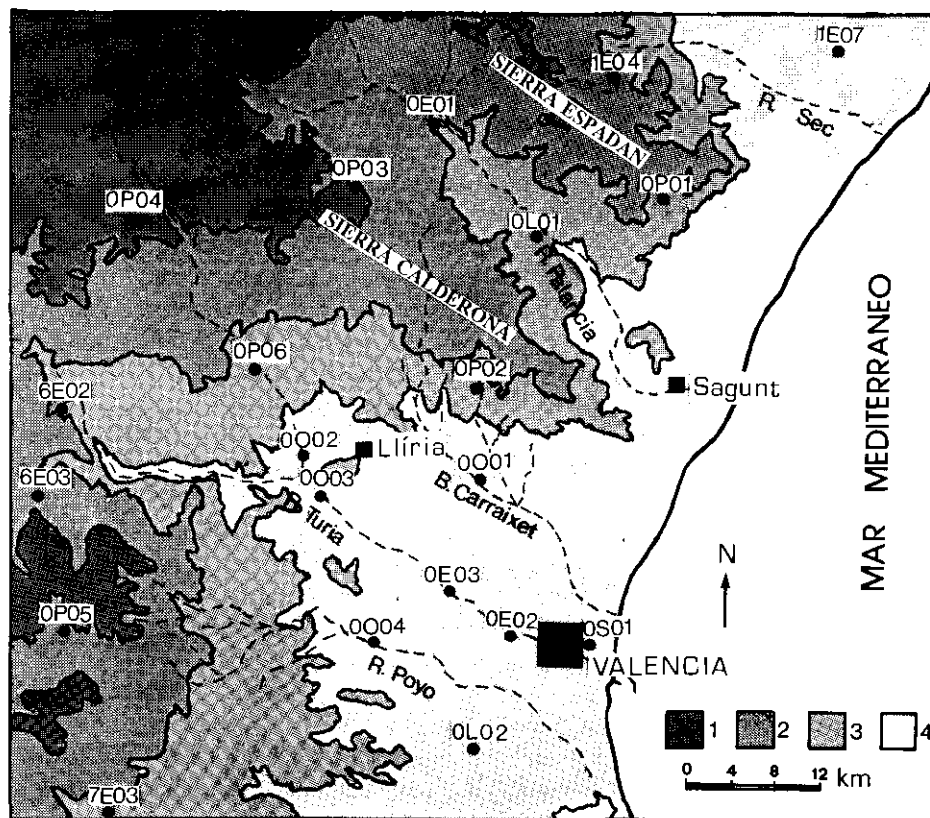


Figura 1: Zona de estudio y ubicación de los pluviómetros; (1) altitudes mayores de 800 m, (2) altitudes entre 800 y 400 m, (3) altitudes entre 400 y 200 m, y (4) altitudes entre 200 y 0 m.

ticas orográficas propias de los espacios mediterráneos generadores de grandes crecidas fluviales, que MATEU (1989) define como «anfiteatros montañosos inmediatos al mar» y cuya influencia resulta crucial para el desarrollo de los procesos de precipitación.

Constituye un territorio de topografía muy contrastada y caótica, donde alternan sierras con altitudes que superan los 1000 m, corredores intramontanos de alturas intermedias y llanuras litorales, en algunos puntos muy próximas al nivel del mar (fig. 1). En conjunto, la mitad septentrional de la zona de estudio es el sector más elevado, donde destacan dos grandes alineaciones montañosas, sierras de Espadana y Calderona, de dirección ibérica (NW-SE). La red de drenaje refleja la compartimentación del territorio y mantiene la orientación, labrando valles en «fondo de saco» abiertos al Mediterráneo. El paso de las zonas elevadas al mar tiene lugar a partir de elementos geomorfológicos de transición (abanicos aluviales, piedemontes, glaciares, etc.) que ponen en contacto los relieves con la llanura litoral.

Los episodios analizados corresponden a los días 11 y 12 de noviembre de 1988; 8 y 9 de septiembre de 1990 y 16 y 17 de abril de 1991. Las condiciones meteorológicas que provocan las lluvias de noviembre de 1988 y abril de 1991 responden a la típica y explosiva situación otoñal de gota fría en altura, combinada con vientos del este en superficie, recalentados y humificados durante su recorrido por el Mediterráneo y con abundantes núcleos de condensación (polvo del desierto) proporcionado por el cercano continente africano (ELIAS y RUIZ, 1989); MARTIN VIDE, 1987; MIRO GRANADOS, 1983; ARMENGOT y PEREZ CUEVA, 1988, ALBENTOSA, 1989; ARMENGOT *et al.*, 1992). En ambos episodios el resultado se traduce en un campo de lluvias generalizado con importantes fenómenos convectivos.

La situación sinóptica del suceso de septiembre de 1990 presenta características distintas. Corresponde al inicio del cambio estacional entre verano y otoño, cuando el cinturón de altas presiones subtropicales comienza a desplazarse hacia el Ecuador, cediendo terreno a la circulación zonal. En este contexto la inestabilidad aparece ligada al paso sobre la Península Ibérica y el norte de Africa, de una vaguada de amplio radio de curvatura. Como consecuencia, no existe un campo de precipitación generalizado, sino que la lluvia es de carácter local y está muy condicionada por el factor orográfico.

### 3. VARIABILIDAD DE LA LLUVIA

El estudio de la evolución espacial del campo de lluvias se ha llevado a cabo a partir de mapas de intensidad de precipitación elaborados cada cinco minutos para los periodos más interesantes de los episodios: momentos en que se produce la máxima intensidad, momentos de intensidad moderada pero sostenida y momentos afectados por «ruido de fondo». Como método de interpolación espacial de los valores de intensidad para el trazado de isoyetas se ha utilizado el *kriging*. A pesar de que este instrumento parte de supuestos poco adecuados para la precipitación, como el de continuidad, constituye uno de los métodos objetivos más indicado para campos aleatorios estacionales como la lluvia. En este sentido, cabe destacar que para el caso de la precipitación acumulada el efecto del relieve genera dependencias entre isohipsas e isoyetas que ayudan al trazado de estas últimas. Sin embargo, para la intensidad puntual, la influencia orográfica, aunque patente, no es siempre unívoca, por lo cuál la necesidad de métodos objetivos resulta más perentoria.

#### 3.1. Un modelo escalar jerárquico

Las series cartográficas corroboran la gran variabilidad espacio-temporal de la lluvia y confirman una estructura horizontal de naturaleza jerárquica, donde el elemento más pequeño es la célula, seguida de la SMSA y posteriormente de la LMSA.

Las tres escalas pueden aparecer conjunta o individualmente, pasando por todas las combinaciones intermedias. A continuación se detallan algunos ejemplos:

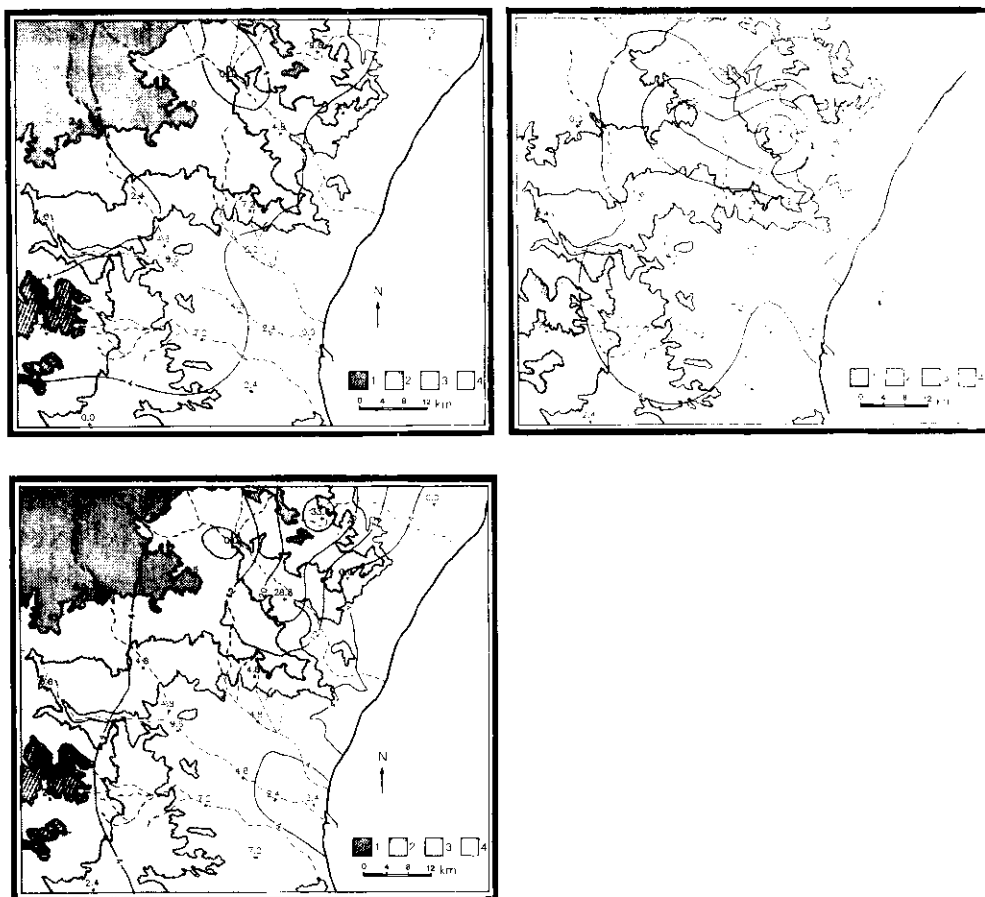


Figura 2: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 23:55; 24:00 y 00:05 de los días 16-17 de abril de 1991.

1. Las tres escalas pueden observarse entre las 23:55-00:05 de los días 16 y 17 de abril (fig. 2). La secuencia parte de una situación de lluvia generalizada de baja intensidad -una LMSA- a las 23:55, en cuyo seno se puede apreciar -en el mapa de las 24:00- una SMSA de unos 200 Km<sup>2</sup> aproximadamente, centrada en la mitad norte de la zona de estudio. La actividad de las células convectivas se registra en los pluviómetros 0P03 y 0L01 que registran intensidades de 12 y 38.4 mm/h respectivamente. Cinco minutos después -00:05- las células se están desgastando y, siempre en el seno de la LMSA, la SMSA se está desplazando hacia el N.

2. Existen otros casos, como el de septiembre de 1990 (23:10-23:25, día 8) en que el fenómeno es más localizado y no se detecta la presencia de ninguna LMSA

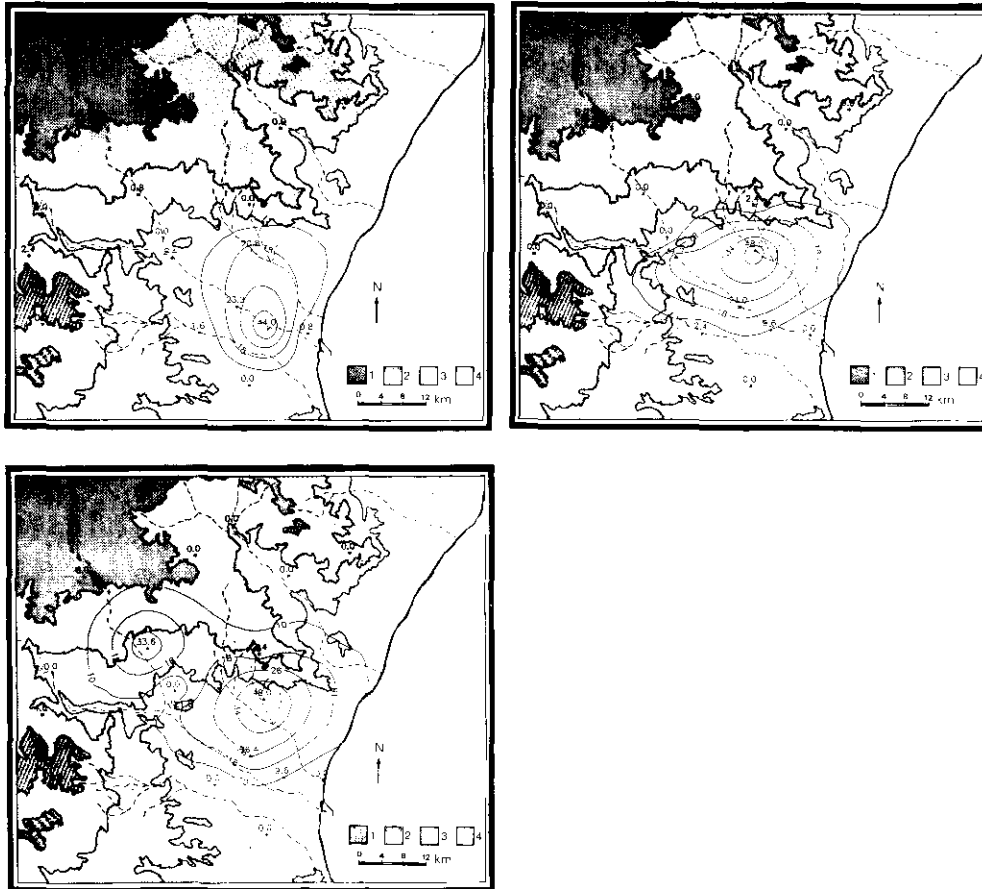


Figura 3: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 23:10; 23:20 y 23:25 del día 8 de septiembre de 1990.

(fig. 3). En el primer mapa de la secuencia -23:10- aparece una SMSA centrada en el litoral, con una superficie aproximada algo mayor de 200 Km<sup>2</sup>, que abarca los pluviómetros 0E02 (44 mm/h), 0E03 (23.2 mm/h) y 0O01 (20.8 mm/h). En los mapas siguientes puede observarse como la SMSA se está desplazando hacia el norte y está siendo empujada contra la barrera orográfica de la sierra Calderona, hecho que incrementa considerablemente la intensidad de precipitación.

3. Las células pueden desarrollarse también de manera aislada como ocurre entre las 22:45 y las 22:55 de noviembre de 1988 (fig. 4). Se trata de lluvia de «ruido de fondo». Son en realidad momentos de calma interrumpida por algún foco aislado de precipitación, provocada por *cell cluster* de escasa duración y baja in-

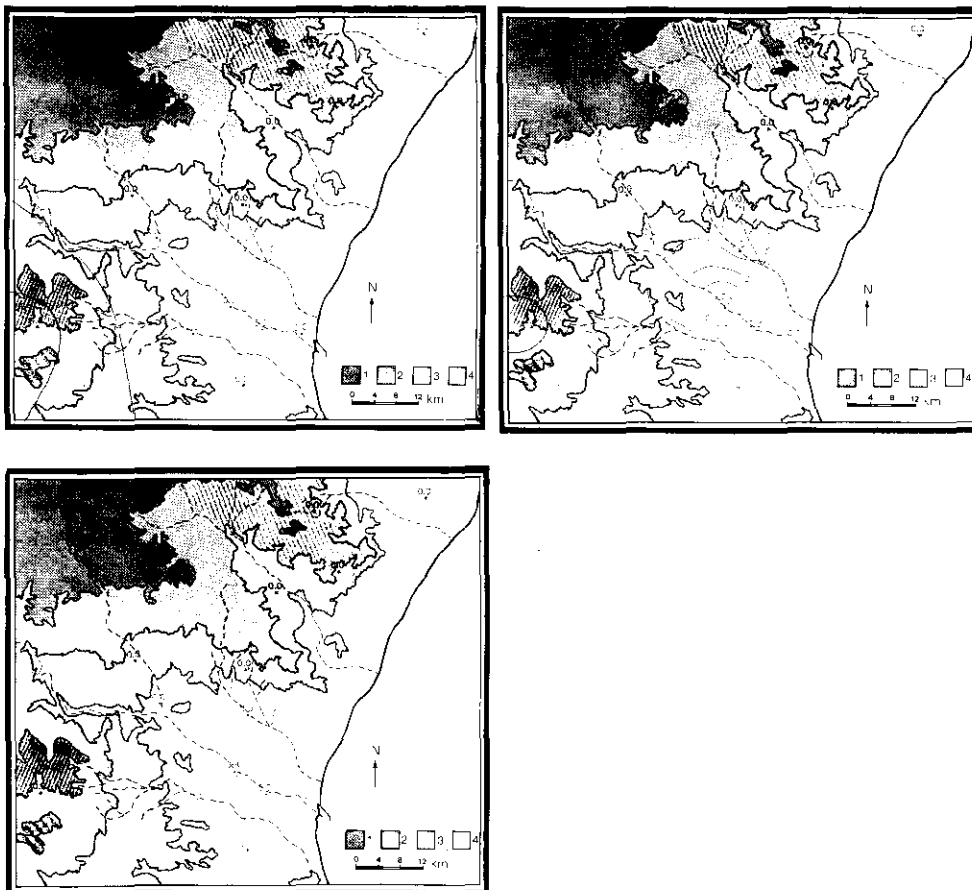


Figura 4: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 22:45; 22:50 y 22:55 del día 11 de noviembre de 1988.

tensidad, como por ejemplo el punto 0E03 que a las 22:50 registra 19.2 mm/h, y cinco minutos después se ha agotado.

4. También pueden aparecer células insertas en el seno de una LMSA sin mediación de la escala intermedia o SMSA, como ocurre entre las 21:25-22:00 del 16 de abril de 1991 (fig. 5). En el primer mapa - 21:25- solamente llueve, con muy bajas intensidades, en la parte occidental. Se trata de una LMSA que supera, por el oeste, los límites de la zona de estudio. A las 21:35 se desarrolla, en el pluviómetro 0P06, una célula convectiva, con una intensidad de 64.8 mm/h. Se trata de una célula individual desarrollada en el seno de una LMSA, que alcanza su plenitud (76.8 mm/h) entre las 21:40 y las 21:45.



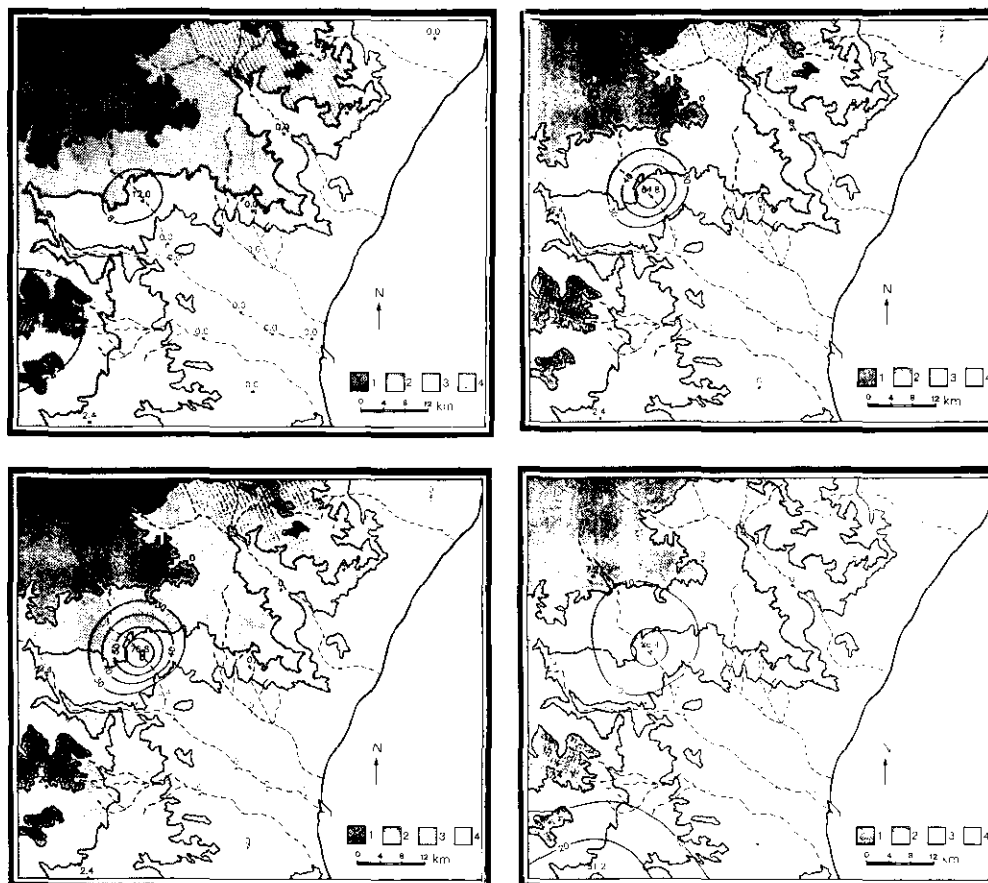


Figura 5: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 21:25; 21:35; 21:40 y 22:00 del día 16 de abril de 1991.

### 3.2. El efecto orográfico

Esta estructura, y en particular las células, presenta un comportamiento muy mediatizado por la orografía. Orientación y altitud constituyen dos factores fundamentales en el desarrollo de los procesos de precipitación y su distribución espacial. Resulta también interesante observar cómo influye el relieve en la relación, para cada punto, entre intensidades máximas y totales acumulados al final del episodio.

La orientación del relieve constituye un elemento determinante para las vías preferenciales de penetración de flujos inestables. Las estribaciones montañosas (sierras de Calderona y Espadà) actúan a modo de cuña y dividen los flujos en dos

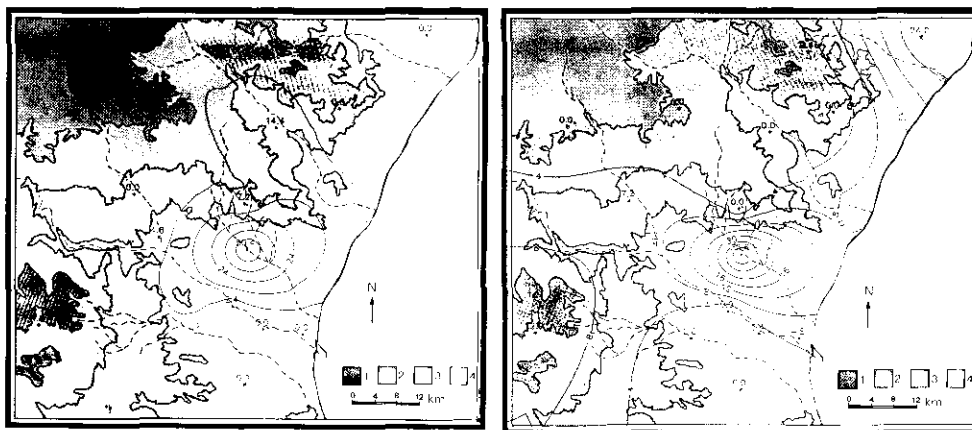


Figura 6: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 11:00 y 18:00 del día 11 de noviembre de 1988.

ramales que se encauzan preferentemente por los valles en forma de fondo de saco, como se observa en los mapas de noviembre de 1988 (fig. 6), de las 11:00 y de las 18:00. El primero constituye un ejemplo claro de como la Serra de Calderona ejerce de cuña frente a los vientos de levante. El campo de precipitación adquiere forma de «V», con un núcleo de gran inestabilidad al sur de la sierra (punto 0001 -50.4 mm/h-) y otro al N de la misma (punto 0L01 -14.4 mm/h-). También en el mapa de las 18:00 resulta evidente el efecto de cuña de las sierras sobre la entrada de levantes, con focos de precipitación en los valles abiertos al mar -puntos 0001 (33.6 mm/h) y 1E07 (24 mm/h)-, mientras los promontorios montañosos inhiben la precipitación.

Por otra parte, el ascenso forzoso que imprime el relieve a las masas de aire, provoca un incremento de intensidad, como ocurre entre las 17:50 y las 18:05 de noviembre de 1988 (fig. 7). Esta secuencia muestra la evolución de una SMSA (de unos 470 Km<sup>2</sup> aproximadamente) situada en la llanura litoral de la mitad sur de la zona de estudio, que se desplaza hacia el norte y se encuentra con las estribaciones montañosas de la Sierra Calderona. La intensidad de las células se reactiva por el ascenso mecánico que le imprimen los relieves, hasta alcanzar los 55 mm/h.

La persistencia y desplazamiento lento de los individuos convectivos que se observa en el retablo montañoso no se da en el litoral, donde por lo general las células son más intensas, de menor duración y de desplazamiento más rápido, como podemos ver entre las 10:15 y las 10:50 del 11 de noviembre de 1988 (fig. 8). La secuencia pone de manifiesto la rapidez en la generación de una célula convectiva: en sólo 5 minutos (10:15-10:20) el punto 0L02 pasa de una intensidad de 16.8 mm/h a 110.4 mm/h., mientras el resto del espacio registra intensidades muy bajas (2.7 mm/h) propias de una LMSA. La situación de máxima intensidad

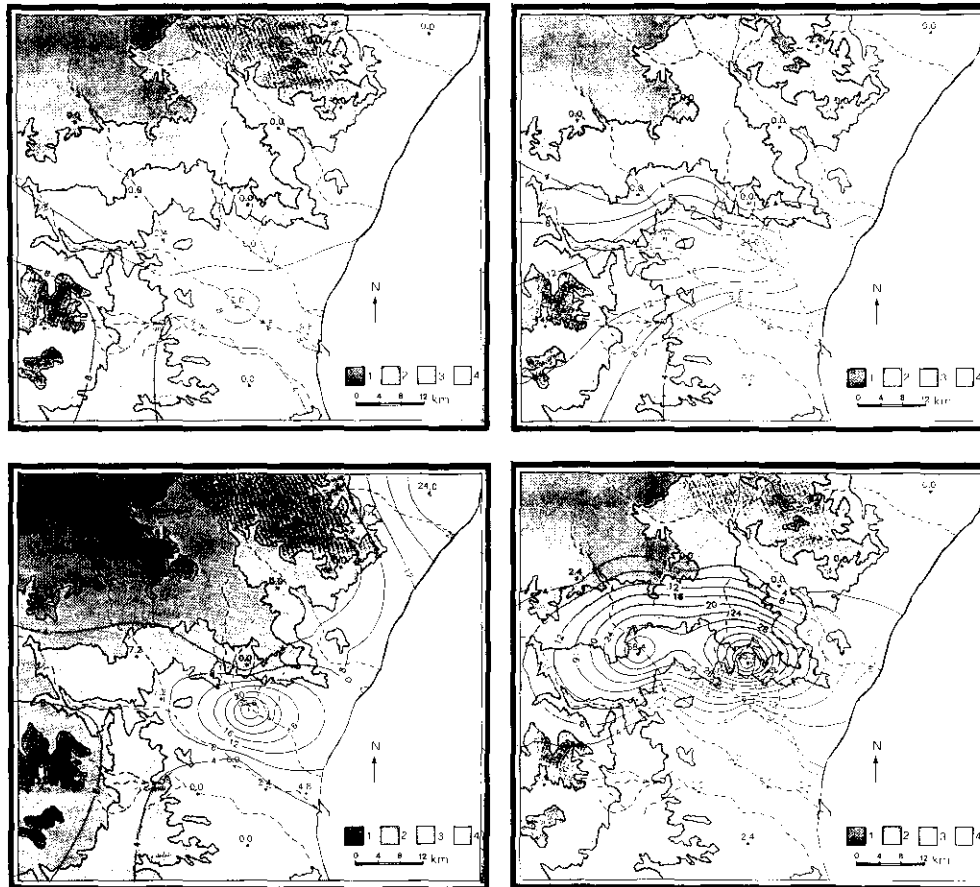


Figura 7: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 17:50; 17:55; 18:00 y 18:05 del día 11 de noviembre de 1988.

se mantiene durante un cuarto de hora, de modo que a las 10:35 horas podemos observar cómo la célula de lluvia se ha desplazado, bien hacia el sur (fuera de nuestra zona de estudio), bien hacia el N, hasta el punto 0004, en cuyo caso se habría debilitado bastante, bajando hasta valores de 26.4 mm/h. A las 10:40 puede observarse una reactivación de la lluvia en este mismo lugar (31.3 mm), a la par que en la estación 0E03 se registran 26.4 mm/h. Parece tratarse del brote de otra célula dentro de la misma SMSA que anuncia el desplazamiento de todo el conjunto hacia el NE, tal y como puede percibirse en el mapa de las 10:45, donde en este último punto llega a alcanzarse una intensidad de 79.2 mm/h. En el siguiente mapa -10:50- el fenómeno se repite. En el pluviómetro 0001 aparece una

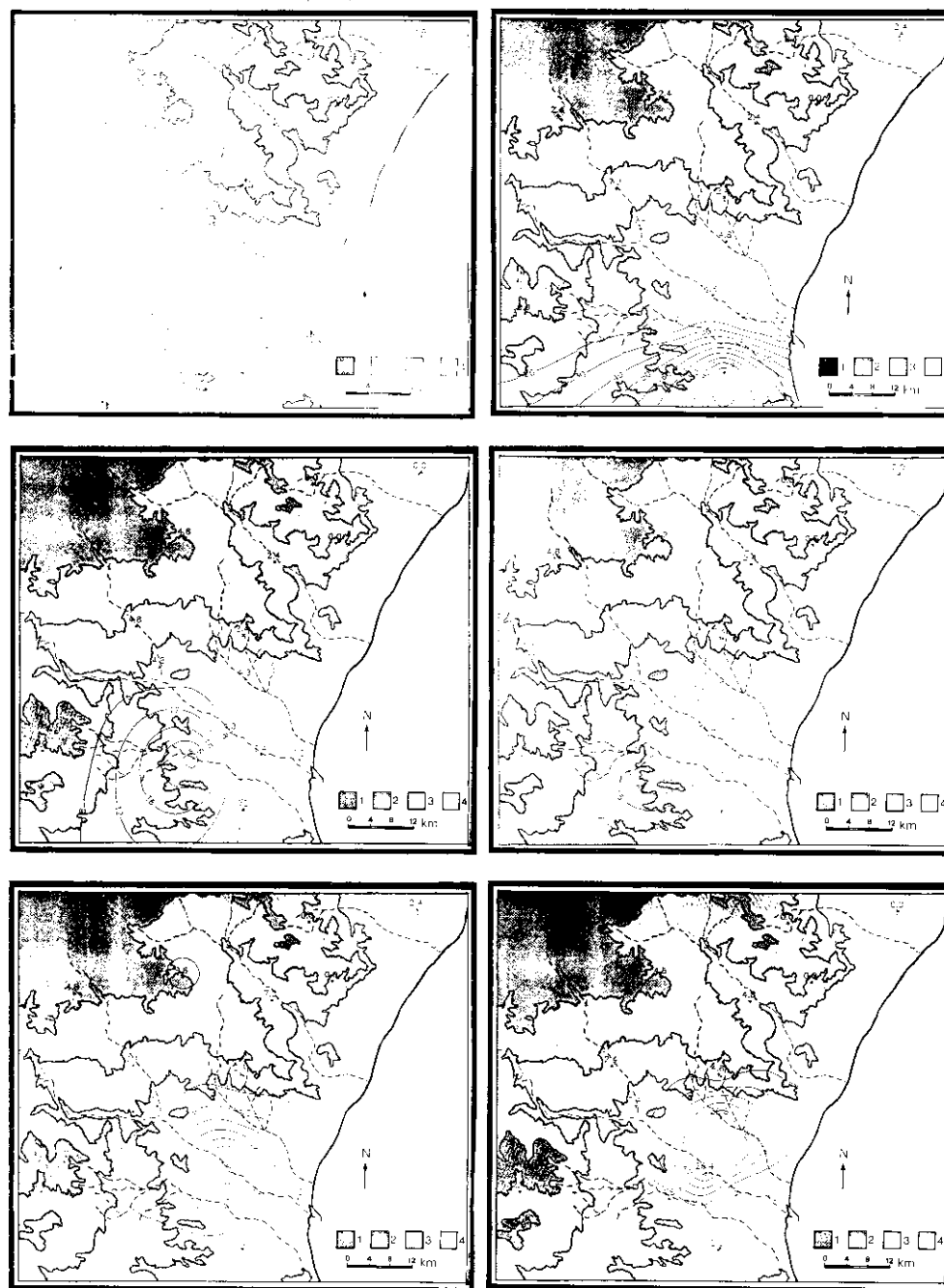


Figura 8: Mapas de intensidad de precipitación (mm/h), de las horas 10:15; 10:20; 10:35; 10:40; 10:45 y 10:50 del día 11 de noviembre de 1988.

nueva célula con una intensidad de 28.8 mm/h: la SMSA prosigue su viaje hacia el N. La ausencia de precipitación en las estaciones 0L02, 0E02 y 0S01 confirma el mismo trayecto para la LMSA

Consecuencia de este comportamiento dual es que los mayores volúmenes de agua se registran en el retablo montañoso, mientras que las intensidades máximas lo hacen en el llano litoral. En este sentido, si bien es de todos conocida la relación directa entre la precipitación acumulada y la componente orográfica, el vínculo entre esta última y la intensidad merece ser profundizado.

En la figura 9 se han representado en un sistema de coordenadas las intensidades máximas de cada uno de los hietogramas y el total del mismo recogido para cada suceso. En los casos de noviembre de 1988 y abril de 1991 los puntos se agrupan en dos líneas claramente definidas. Las rectas de regresión «a» corresponden a observatorios situados por encima de los 200 m s.n.m., mientras que las «b» agrupan los emplazados por debajo. No ocurre así en septiembre de 1990, donde los puntos siguen una única tendencia.

En el caso de las estaciones por encima de los 200 m («a») predomina la influencia de la precipitación acumulada frente a la intensidad máxima. En noviembre de 1988 se llegan a totalizar 170.7 mm en 0P03, mientras que la intensidad presenta un máximo de 81.6 en 0P05. El caso de abril es menos marcado, pero sigue las mismas pautas. Por el contrario, en la tendencia «b», se alcanzan las mayores intensidades pese a volúmenes totales comparativamente menores. En noviembre de 1988, en el punto 0L01, la intensidad máxima es de 110 mm/h, mientras que la acumulada apenas sobrepasa los 100 mm. mm/h en el 0L02). Resumiendo, los puntos situados en las planas litorales registran las máximas intensidades, si bien el total de precipitación acumulada es más importante en el retablo montañoso.

Con objeto de comprobar si estos comportamientos, a primera vista diferentes, pertenecen a dos poblaciones estadísticas distintas, se ha aplicado para cada tormenta el test U de Mann-Whitney (contraste de hipótesis para pruebas no paramétricas) sobre un índice sintético consistente en el cociente de las dos variables (precipitación acumulada e intensidad máxima). En base a los resultados de este test, se puede hablar de comportamientos estadísticamente distintos entre montaña y litoral para noviembre de 1988 y abril de 1991, con una significación del 95%. Esta dualidad no se observa en el caso de septiembre de 1990, cuando no existe un campo de lluvias generalizado y el suceso es de carácter local.

Todo ello conduce a una explicación basada en el tipo de disparo y desarrollo de la inestabilidad vertical que desencadena las lluvias. En este sentido, el efecto orográfico está claramente avalado por unos totales significativamente mayores que los del litoral, como consecuencia de una mayor frecuencia de células convectivas forzadas a precipitar. En otras palabras, el «gatillo» que suponen los relieves afecta a una proporción importante de aparatos convectivos, obligándolos a ascender hasta desarrollar la inestabilidad térmica. Por su parte, las células que actúan en el litoral son más inestables. De hecho son capaces de precipitar sin

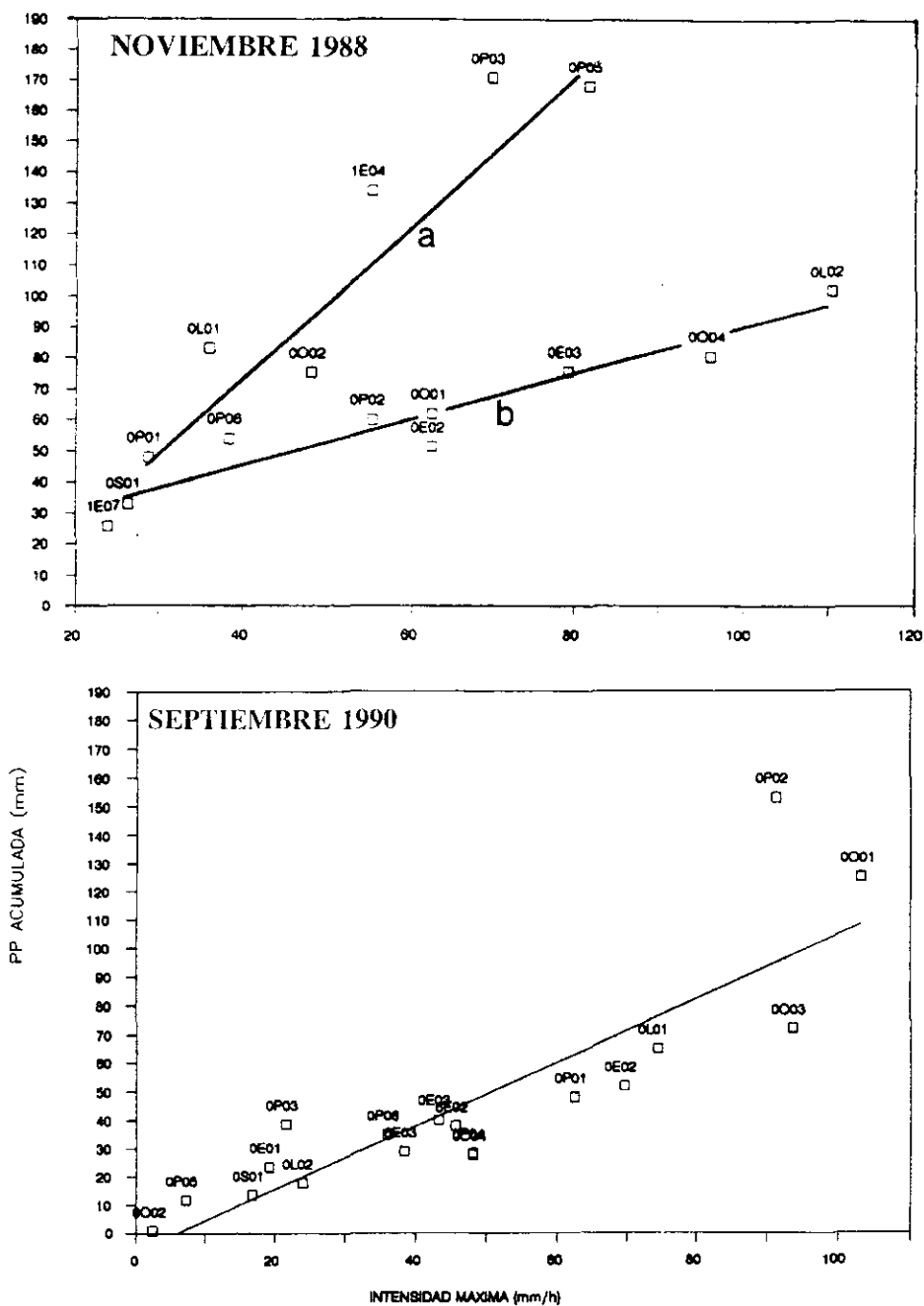
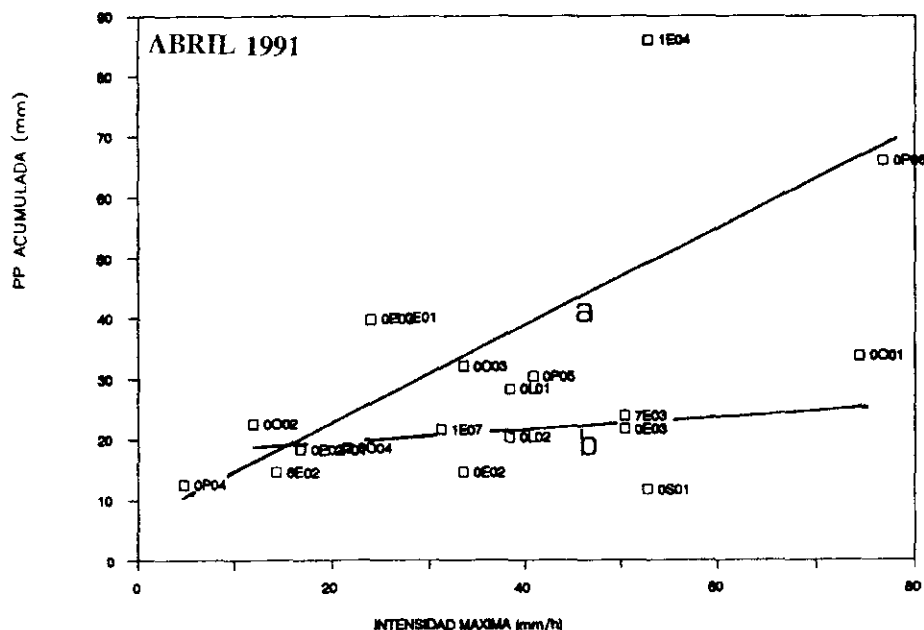


Figura 9: Relación precipitación acumulada - intensidad máxima para los episodios de noviembre de 1988, septiembre de 1990 y abril de 1991.



necesidad del empuje mecánico inicial. Por ello, alcanzan las mayores intensidades, si bien la escasa frecuencia de las mismas se traduce en bajos volúmenes de precipitación acumulada.

Cuando no existe un campo generalizado de lluvias, como en septiembre de 1990, y el fenómeno es más localizado, se enmascara el comportamiento dual entre el retablo montañoso y la llanura litoral, en favor de la proximidad o lejanía al núcleo de la tormenta local.

#### 4. VARIABILIDAD TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN

Característica común a los hietogramas analizados es su carácter torrencial que concentra importantes volúmenes de agua en cortos períodos de tiempo. El cuadro 1 resume, a modo de ejemplo, las características generales de los hietogramas del suceso de septiembre de 1990. Destaca el punto 0L01, donde precipitan 64.8 mm en menos de 5 horas, o el 0P02 (152.7 mm) que, a pesar de durar 15h 30', acumula el 94% del total (143 mm) en sólo 3 horas.

Los parámetros de dispersión de la intensidad de precipitación (desviación típica y coeficiente de variación) corroboran su torrencialidad e impulsividad. Los mayores contrastes aparecen en 0O01, que totaliza 125 mm con una diferencia entre la intensidad máxima (103mm/h) y la media (8.28 mm/h) de 94.9 mm/h, y una desviación típica de 19.5. Por lo que respecta al coeficiente de variación, sólo un hietograma -0E01- presenta valores inferiores al 100%. El resto supera con creces esta cifra, alcanzándose valores de hasta 361% en 0O04.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS HIETOGRAMAS DEL SUCESO DE SEPTIEMBRE DE 1990 (Días 8 y 9)

Punto	Duración (horas)	Totales (mm)	I. Max (mm/h)	I. Media (mm/h)	Desviación Típica	Coefficiente Variación
0E01	4.75	23.6	19.2	4.8	4.66	97
0E02	14.66	51.7	69.6	3.5	10.5	300
0E03	14.41	40.1	43.2	2.76	7.4	268
0O01	15	125	103.2	8.28	19.5	235
0O03	16.58	71.9	93.6	4.3	12.79	297
0O04	15.5	27.7	48	1.77	6.39	361
0P01	19.25	47.9	62.4	2.47	7.75	313
0P02	15.5	152.7	91.2	11.04	25.04	226
0P03	15.83	38.6	21.6	2.42	4.89	202
0P04	4.66	28.4	48	5.97	8.89	149
0P05	18	11.9	7.2	0.65	1.28	197
0P06	16.58	34.8	36	2.08	5.6	269
0L01	4.75	64.8	74.4	13.4	18.65	139
0L02	14.25	18	24	1.23	3.85	313
0S01	13.5	13.7	16.8	1	2.73	273
6E02	15	38	45.6	2.51	6.7	267
6E03	16.75	28.8	38.4	1.69	5.45	322
0O02	-	1.1	2.4	-	-	-

También la estructura temporal pormenorizada de los hietogramas denota dos maneras de llover según se trate de la llanura litoral o del retablo montañoso. Sirvan de ejemplo los hietogramas de los puntos 0P03 y 0O04 registrados en el episodio de noviembre de 1988 (fig. 10).

El punto 0P03, ubicado en el retablo montañoso, totaliza 170.7 mm en 32h 40'. La lluvia se concentra en un núcleo central de enorme peso que constituye el cuerpo gravitatorio del hietograma. Este núcleo dura 10h 40' y totaliza 120.5 mm (el 70% del suceso), con una intensidad máxima de 69.6 mm/h. Presenta una estructura dispar, con abundante «ruido de fondo» de gran persistencia y baja intensidad, de donde emergen 5 picos cuyas intensidades oscilan entre 33.6 mm/h y 69.6 mm/h.

Por su parte, el hietograma de la llanura litoral, 0O04 (fig. 10), registra un total de 80.6 mm en 22 horas, estructurado en cuatro núcleos. El tercero es el que presenta las mayores intensidades (96 mm/h) y recoge en poco más de dos horas el 44.4% del agua caída durante todo el suceso. En este caso las intensidades superan al anterior, y los núcleos son más intensos, menos duraderos y apenas existe el denominado «ruido de fondo» de bajas intensidad.

En síntesis existe una dualidad de comportamientos entre el retablo montañoso y la llanura litoral. En el primer caso las lluvias son voluminosas y de carácter continuado, con abundante ruido de fondo e intensidad más moderada. Los pluviogramas de acumulación presentan ascensos irregulares pero continuados



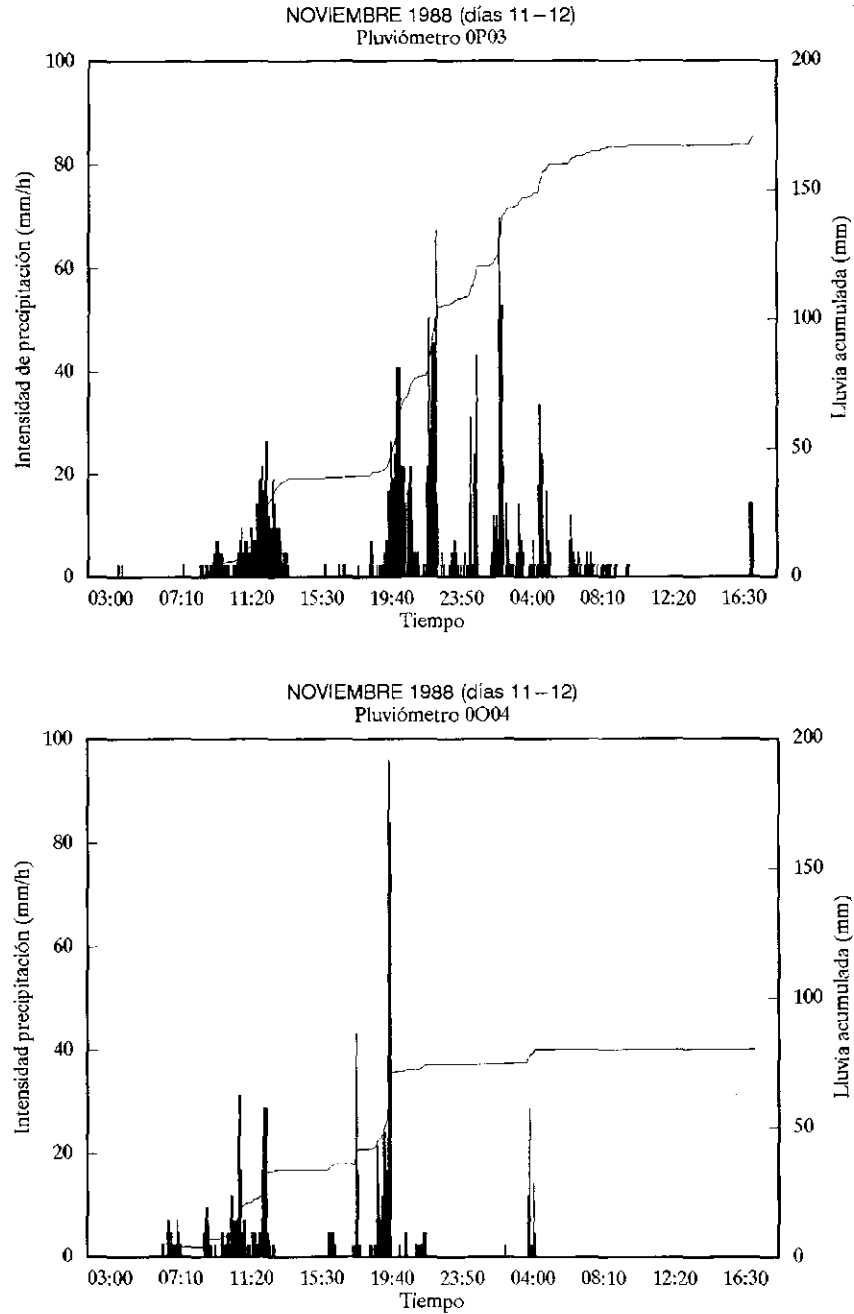


Figura 10: Hietogramas registrados en los puntos 0P03 y 0O04, durante el episodio de noviembre de 1988.

separados por cortos rellanos de estabilización. En el litoral la precipitación presenta mayor torrencialidad con abundancia de picos aislados de intensidad importante. Los pluviogramas de acumulación son escalonados, con ascensos casi verticales interrumpidos por rellanos de larga duración.

## 5. CONCLUSIONES

La red SAIH ha permitido confirmar la gran variabilidad espacio-temporal de la lluvia en ambientes mediterráneos como el levante español. A pesar de su escasa densidad, se ha revelado un instrumento tremendamente útil para el estudio de la estructura interna de las tormentas, superando las rigideces que imponían los sistemas tradicionales de registro diario.

Para la zona objeto de estudio, esta estructura se ha demostrado que sigue un patrón jerárquico, donde la célula es el elemento más pequeño, efímero e intenso, seguido de la SMSA y la LMSA. Las tres escalas poseen su propio movimiento y fases de desarrollo y están influenciadas en su evolución por la condiciones energéticas y orográficas.

Cuando se genera una gota fría en altura, la proximidad del mar abastece de humedad y energía a los vientos de componente este que, cuando llegan al continente, chocan contra la montaña próxima a la costa. La orografía ejerce una doble influencia sobre estos vientos. Por una parte, la orientación del relieve determina vías preferenciales de penetración de flujos inestables. Los valles abiertos al Mediterráneo, con forma de «fondo de saco» favorecen el encauzamiento de estos flujos mientras, por el contrario, los promontorios montañosos inhiben la lluvia y actúan a modo de cuña, bifurcando los flujos hacia vaguadas topográficas de disposición más favorable. Por otra parte, el incremento de altitud provoca el «efecto de disparo mecánico» que obliga a ascender a las masas de aire inestable, favoreciendo el desarrollo de los procesos de precipitación.

Como consecuencia de todo ello pueden distinguirse dos «maneras de llover»: la de montaña y la de litoral. Los individuos convectivos de mayor intensidad, menor duración y desplazamiento más rápido afectan al litoral, mientras que los más persistentes, intensidad intermedia y menor velocidad de traslación, corresponden al retablo montañoso. Por ello, los mayores volúmenes de lluvia se recogen en el retablo montañoso pero las intensidades máximas en el llano litoral.

Agradecimientos: Queremos expresar nuestro agradecimiento a la Confederación Hidrográfica del Júcar que nos ha procurado los datos registrados por el Sistema Automático de Información Hidrológica, así como el libre acceso al Centro de de Proceso de Cuenca del SAIH. Al doctor J.F. MATEU por la dirección de la investigación y por sus valiosas aportaciones al desarrollo de la misma. A las doctoras M.J. LÓPEZ F. SEGURA por su revisión crítica. Por último, queremos dejar constancia de que el trabajo ha sido subvencionado por el Proyecto PB890526 de la DGICYT.

## BIBLIOGRAFIA

- ALBENTOSA, L.M. (1989): «Las precipitaciones extraordinarias en Cataluña» *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*, Instituto universitario de Geografía de la universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp 51-65.
- AMOROCHO, J. y WU, B. (1977): «Mathematical models for the simulation of cyclonic storm sequences and precipitation fields», *J. Hidrol.*, 32, pp 329-345.
- AUSTIN, P.M. y HOUZE, R.A., Jr. (1972): «Analysis of precipitation patterns in New England», *J. Appl. Meteorol.*, 11, pp 926-934.
- ARMENGOT, R. y PÉREZ CUEVA, A. (1988): «El clima», en *Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, Edicions Alfons el Magnànim, Diputació Provincial de Valencia, pp. 73-102.
- ARMENGOT, R.; TAMAYO, J. y ALCOVER, V. (1992): «Centros de acción y flujo sinóptico en las precipitaciones intensas de la Comunidad Valenciana», *III Simposio Nacional de Predicción del INM*, Madrid.
- ELIAS, F. y RUIZ, L. (1979): *Precipitaciones máximas en España. Estimaciones basadas en métodos estadísticos*, Madrid, ICONA, Monografía 21, 545 pp.
- GARCÍA-BARTUAL, R. y MARCO, J. (1990): «A stochastic model of the internal structure of convective precipitation in time at a rainguage site», *Journal of Hydrology*, 118, pp 129-142.
- GRAF, W.L. (1988): *Fluvial Processes in dryland river*, Berlín, 345 pp.
- GIL OLCINA, A. (1989): «Causas climáticas de las riadas», *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*, Instituto universitario de Geografía de la universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp 15-30.
- LÓPEZ BERMÚDEZ, F. y GUTIÉRREZ ESCUDERO, J.D. (1983): «Descripción y experiencias en la avenida e inundaciones de octubre de 1982 en la Cuenca del Segura», *Estudios Geográficos* 170-171, pp 87-119.
- MARTÍN VIDE, X. (1985): *Pluges i inundacions a la Mediterrània*, Barcelona, Ketres, 132 pp.
- MARTÍN VIDE, J. (1987): *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, 245 pp
- MATEU BELLÉS, J.F. (1988): «Crecidas e inundaciones en el País Valenciano», en *Guía de la Naturaleza de la Comunidad Valenciana*, Edicions Alfons el Magnànim, Diputació Provincial de Valencia, pp. 595-636.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1989): «Ríos y ramblas mediterráneas», *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*, Instituto universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, pp 133-150.
- MATEU, J.F. (1990): «Avenidas y riesgos de inundación en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica», *Boletín de la AGE*, no. 10, pp 45-86.
- MIRÓ-GRANADA, J. (1983): «Consideraciones generales sobre la meteorología de las riadas en el levante español», *Estudios Geográficos*, 170-171, pp. 31-53.
- NIEMCZYNOWICZ, J. (1986): «An investigation of the areal and dynamic properties of rainfall and its influence on runoff generating processes», *Univ. of Lund, Sweden, report no 1005*, 215 pp.
- RODRÍGUEZ-ITURBE, I. y EAGLESON, P.S. (1987): «Matemathical models of rainstorm in space and time», *Water Resour. Res.*, vol 23, no. 1, pp 181-190.

- SCHICK, A.P. (1988): «Hydrologic aspects of floods in extreme arid environments», in Baker, V.R. et al (ed.): *Floods Geomorphology*, New York, John Wiley & Sons, pp. 189-203.
- SEGURA, F.S. (1990): *Las ramblas valencianas*, Valencia, Dpto. Geografía, Universidad de Valencia, 229 pp.
- SHARON, D. (1972): «The spottiness of rainfall in a desert area», *J. Hydrology*, 17, pp 161-175.
- VALDÉS, J.B., RODRÍGUEZ ITURBE, I. y GUPTA V.K. (1985): «Approximations of temporal rainfall from multidimensional model», *Water Resour. Res.*, vol. 21, no. 8, pp 1259-1270.
- WAYMIRE, E. y GUPTA, V.K. (1981): «The mathematical structure of rainfall representations. A review of the stochastic rainfall models», *Water Resour. Res.*, vol. 17, no. 5, pp 1261-1272.
- WAYMIRE, E. y GUPTA, V.K. (1984): «A spectral theory of rainfall intensity at the meso- $\beta$  scale», *Water Resour. Res.*, vol. 20, no. 10, pp 1453-1465.
- YAIR, A. (1990): «Spatial variability in runoff in semi-arid and arid areas», *Seminario UIMP*, 1991.
- YAIR, A. y LAVEE, H. (1985): «Runoff generation in arid and semi-arid zones», in *Hydrological Forecasting (Anderson Y Burt, ed.)*, pp. 183-220.