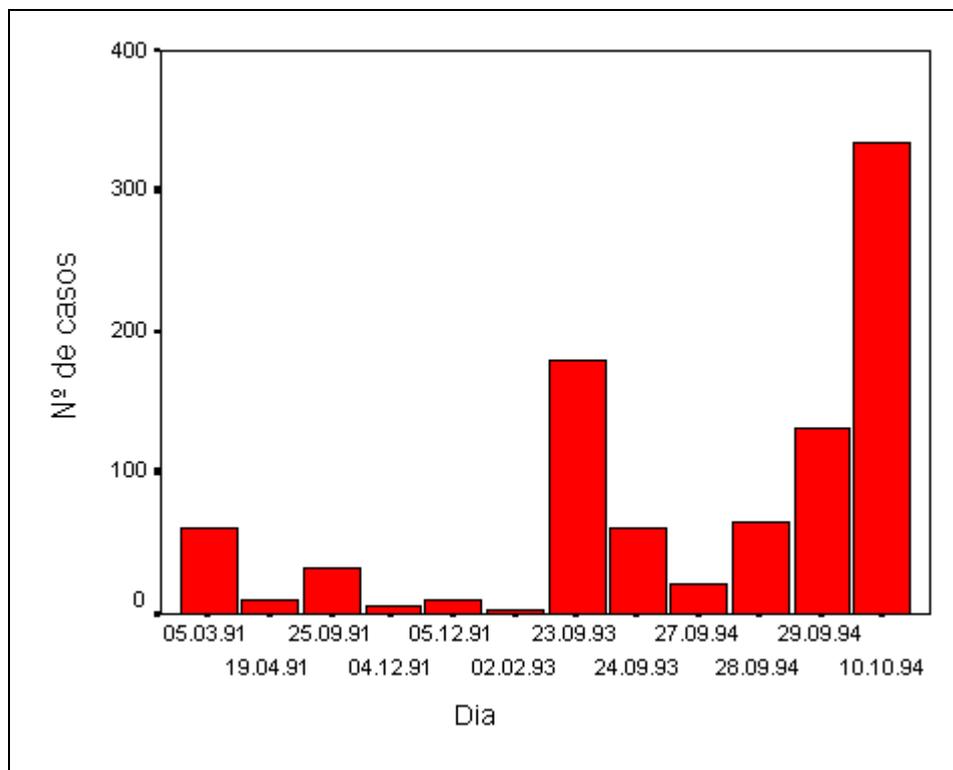


## 6.2.1 Regresiones para la intensidad de lluvia

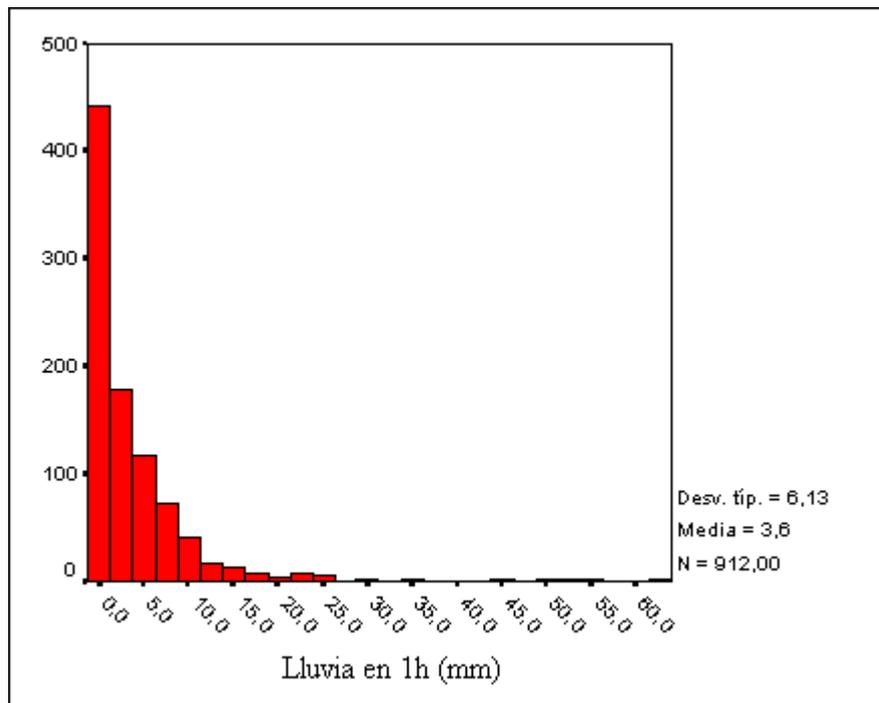
Como ya se ha indicado en 4.3.1, la humedad relativa y la masa de agua precipitable son parámetros que se toman como correctores, en forma multiplicativa, de la temperatura IR en los modelos de predicción inmediata de lluvias. Así pues, con el objeto de ver el efecto de dichos parámetros, se realiza en primer lugar la regresión lineal sólo con parámetros de imagen y luego se incorporarán en forma lineal y multiplicativa los dos parámetros citados.

Se muestran, por consiguiente, sólo los cálculos realizados con las observaciones de lluvia horaria de las cuales se dispone tanto de imágenes como de datos sinópticos. También se han realizado los cálculos de los coeficientes de correlación con todas las observaciones de lluvia, se dispusiera o no de información sinóptica y se han obtenido unos valores para la correlación lineal menores que los que se muestran a continuación. El programa informático utilizado para realizar el análisis estadístico ha sido el SPSS.

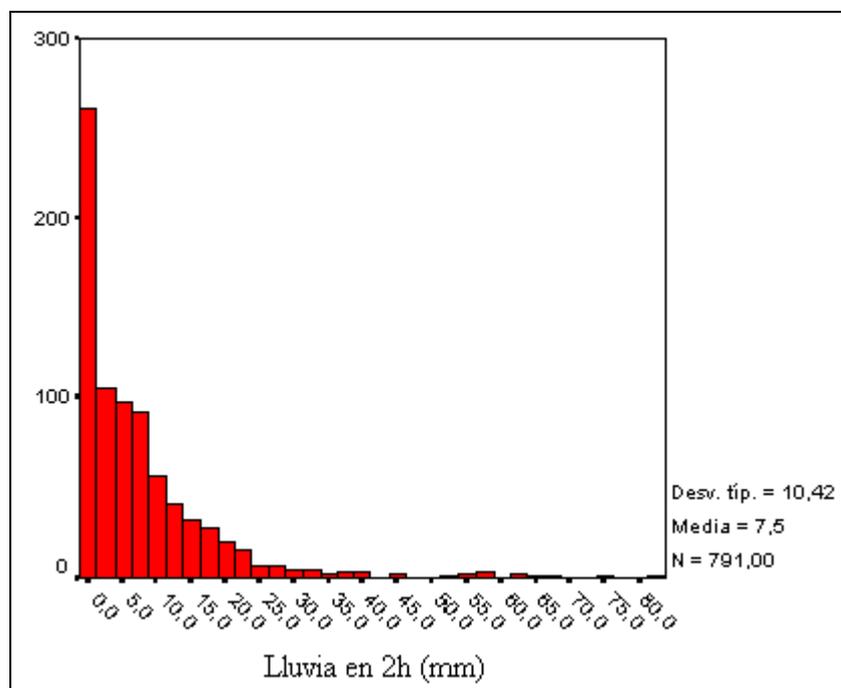
En la figura 6.24 se muestra el diagrama de frecuencias de los datos disponibles agrupados por fechas, y en las figuras 6.25 y 6.26 se muestran los histogramas de la lluvia en 1h y en 2h respectivamente. .



**Figura 6.24.-** Número de casos agrupados por fechas.



**Figura 6.25.-** Histograma de las lluvias registradas en 1h (N= número de observaciones).



**Figura 6.26.-** Histograma de la lluvia acumulada en 2h (N= número de observaciones).

Los resultados obtenidos utilizando la regresión lineal se muestran en la tabla 6.4.

**Tabla 6.4.-** Regresión lineal para la variable dependiente: lluvia.

	<b>R</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>Error típico</b>	<b>Número de casos</b>	<b>Expresión</b>
<b>Lluvia en 1h</b>	0.378	0.143	5.83	912	$c_0 + \sum c_i p_i$
<b>Lluvia en 1h</b>	0.388	0.151	5.81	912	$c_0 + \sum c_i p_t$
<b>Lluvia en 1h</b>	0.388	0.151	5.80	912	$c_0 + \sum c_i p_f$
<b>Lluvia en 2h</b>	0.425	0.181	9.73	791	$c_0 + \sum c_i p_i$
<b>Lluvia en 2h</b>	0.443	0.196	9.65	791	$c_0 + \sum c_i p_t$
<b>Lluvia en 2h</b>	0.443	0.196	9.65	791	$c_0 + \sum c_i p_f$

$p_i$ : Parámetros de imagen que se recogen en la tabla 6.3 (excepto los datos del canal WV)

$p_t$ : Parámetros de imagen (excepto los datos del canal WV) + masa de agua precipitable + humedad relativa.

$p_f$ : Parámetros de imagen (excepto los datos del canal WV) + (masa de agua precipitable × humedad relativa)

Como se aprecia en la tabla 6.4, no existe una buena correlación de tipo multilínea entre la lluvia acumulada en 1h y en 2h con los parámetros utilizados. Por ello se ha estudiado la posible existencia de una correlación de tipo no lineal. A continuación se presentan dos modelos de regresión no lineal ensayados, utilizando los parámetros de imagen y el factor  $PW \cdot HR$  (masa de agua precipitable por humedad relativa) en forma multiplicativa.

En el primero se toma

$$Lluvia = (c_0 + \sum c_i p_i) \cdot PW \cdot HR \quad (6.1)$$

donde  $p_i$  son los parámetros de imagen relacionados en la tabla 6.3, excepto los parámetros del canal WV. El coeficiente de correlación múltiple que se obtiene para la lluvia en 1h vale  $r = 0.39$  y para la lluvia en 2h,  $r = 0.44$ .

El otro modelo coloca el término independiente fuera del sumatorio, lo cual equivale a realizar una regresión que no pasa forzosamente por el origen, cosa habitual en los modelos de regresión.

$$Lluvia = c_0 + (\sum c_i p_i) \cdot PW \cdot HR \quad (6.2)$$

El coeficiente de correlación múltiple que se obtiene para la lluvia en 1h con este modelo no varía respecto del anterior, es decir,  $r = 0.39$ .

### Análisis de los episodios seleccionados

Como se aprecia, la incorporación de los parámetros *PW* y *HR* no mejora sensiblemente los coeficientes de correlación ni en forma lineal ni en forma multiplicativa, pese a la recomendación de determinados autores (Vicente, 1998).

Como conclusión del análisis de regresiones realizado, se puede decir que no existe relación, que permita establecer un modelo matemático sencillo y objetivo, entre la cantidad de lluvia caída en un observatorio durante una hora y los parámetros de imagen en los canales IR y WV del Meteosat, medidos en la vertical del propio observatorio o en un círculo de radio fijo (se ha tomado 52km aproximadamente), durante la lluvia o anteriormente a ella. Por este motivo, en la modelización de las predicciones y en el seguimiento y localización de las lluvias intensas, sección 6.4, no se utilizará la técnica Autoestimator, basada en relaciones puntuales entre lluvia y temperatura IR, sino la de Scofield, que utiliza parámetros sinópticos y de imagen correspondientes a los sistemas nubosos en su conjunto.

Los resultados estadísticos obtenidos concuerdan con la opinión formulada a través de correo personal por el prof. Charles Doswell del NOAA (USA), experto en el tema de predicción de lluvias y que se reproduce literalmente:

*"In all of my experience, I have seen no reason to expect that precipitation would have any substantial relationship to the images from a satellite. There are too many ways in which high clouds can produce little or no precipitation, and not all substantial precipitation is associated with high clouds. Thus, I do not believe that it is very worthwhile to pursue this topic".*

No obstante, y dado que frecuentemente las lluvias, sobretodo las correspondientes a aguaceros intensos provocados por sistemas convectivos, tienen una duración de media hora o menos, un análisis con datos de lluvia cada 10 ó 15 minutos y con imágenes de satélite cada 15 minutos (resolución temporal que estará disponible en el Meteosat Second Generation) posiblemente permitirá establecer mejores correlaciones que las obtenidas con los datos que se han utilizado en el presente trabajo.

### **6.3 Predicción con 3h de antelación**

El siguiente objetivo planteado es realizar un análisis, no ya de la situación de la atmósfera en la vertical de un observatorio y en sus alrededores inmediatos, sino de los sistemas nubosos completos cercanos al observatorio, de su evolución y de las condiciones termodinámicas atmosféricas presentes en la zona del observatorio en un radio del orden de 100km con anterioridad a la lluvia. Para ello, como ya se ha indicado, se realizará en este apartado un análisis del conjunto de parámetros sinópticos y de imagen, que nos permita obtener cuales de ellos son más adecuados para realizar una predicción de lluvias intensas con una antelación mínima de 3h en una zona del orden de 100km de diámetro y, a continuación, en la sección siguiente, se analizarán los factores más adecuados para poder realizar el seguimiento de los sistemas nubosos y la localización de las lluvias intensas.

Se analizan en esta sección los episodios de los cuales se tiene imágenes de satélite e información sinóptica (tabla 5.1). Se trata de 13 días con 17 sistemas nubosos diferentes, de los cuales 9 provocaron lluvias intensas, 5 provocaron lluvias moderadas y 3 no produjeron lluvia. Recordemos que, según el criterio establecido en la introducción, son consideradas lluvias intensas aquellas que han producido en algún momento una intensidad de 20mm/h o superior, o una serie de 50mm o más en 6h, o bien una serie de 100mm o más en 24h.

El análisis tiene por objeto establecer el conjunto de parámetros que permiten realizar una predicción de lluvias con un plazo de antelación de 3 horas. Se utilizan para ello: los Boletines Meteorológicos Diarios del INM para analizar la situación sinóptica en superficie y en altura; los mapas sinópticos del ECMWF para analizar los diversos parámetros sinópticos descritos en la sección 4.2.1; las imágenes en el canal WV del satélite Meteosat en los casos en que se dispone de ellas, con el objeto de detectar indicios de ciclogénesis en altura y, finalmente, las imágenes en el canal IR del Meteosat con el objeto de detectar el movimiento y la propagación de los sistemas nubosos (para el caso de sistemas convectivos) con antelación a la lluvia. A continuación se refiere la relación de parámetros analizados, cuyas abreviaturas e intervalos de isolíneas fueron mostrados en la tabla 4.2.

### Análisis de los episodios seleccionados

- Helicidad
- CAPE
- Índice K
- Índice L (LI)
- Divergencia del viento en 500hPa
- Divergencia del viento en 850hPa
- Vorticidad potencial en 250hPa
- Vorticidad potencial en 500hPa
- Humedad relativa media entre la superficie y 500hPa
- Masa de agua precipitable
- Divergencia de vapor de agua entre la superficie y 800hPa
- Viento en 850hPa
- Vaguada en 500hPa
- Zona oscura en el canal vapor de agua
- Tipo de movimiento del sistema nuboso

A las imágenes de satélite en el canal IR se les ha aplicado un escalado con el objeto de realizar un seguimiento visual de los sistemas nubosos. Después de diversas pruebas efectuadas para diferentes días, los intervalos de temperatura elegidos para resaltar las diferentes partes de los sistemas nubosos toman como base los utilizados por Scofield (1987 a, tabla 3.5), subdivididos más finamente y incrementados con dos intervalos más calientes entre  $-12^{\circ}\text{C}$  y  $-22^{\circ}\text{C}$  y entre  $-23^{\circ}\text{C}$  y  $-31^{\circ}\text{C}$ . Se ha observado que temperaturas superiores a  $-12^{\circ}\text{C}$  enmascaran completamente la imagen y no permiten diferenciar sistemas nubosos en numerosas ocasiones.

La hora que figura en la imagen es la hora solar y el intervalo de toma de la imagen por parte del satélite es el que figura en la tabla 6.5.

Cada uno de los parámetros sinópticos y de imagen se califica como favorable o desfavorable al desarrollo y mantenimiento de sistemas nubosos que puedan provocar lluvias intensas localmente, según los valores que adopta en el episodio. Teniendo en cuenta lo dicho en la descripción de cada uno ellos, sección 4.2.1, se toman los rangos de valores que se indican en la tabla 6.6. La divergencia en 500hPa no se califica como favorable o desfavorable sino que se utilizará para determinar la localización del nivel de divergencia nula (NDN).

**Tabla 6.5.-** Hora de las imágenes.

Nº de slot	Intervalo horario de toma de imagen	Hora inscrita en la imagen
1	00:00 - 00:30h	00:30h
2	00:30 - 01:00h	01:00h
3	01:00 - 01:30h	01:30h
...	...	...
48	23:30 - 24:00h	24:00h

**Tabla 6.6.-** Calificación de los parámetros sinópticos y de imagen en la predicción de lluvias intensas.

Parámetro	Favorable (F)	Desfavorable (D)
<b>GRH</b>	>0	<0
<b>CAPE</b>	$\geq 750 \text{ J kg}^{-1}$	NS
<b>IK</b>	$\geq 20^{\circ}\text{C}$	$< 5^{\circ}\text{C}$
<b>LI</b>	$< 0^{\circ}\text{C}$	$\geq 6^{\circ}\text{C}$
<b>Divergencia en 850hPa</b>	<0	>0
<b>Vorticidad Potencial en 250hPa</b>	Máximo superior a 3PVU cercano	NS
<b>Vorticidad Potencial en 500hPa</b>	Máximo superior a 0.6PVU cercano	NS
<b>HR Sup. – 500hPa</b>	$\geq 70\%$	$\leq 50\%$
<b>PW</b>	$\geq 20\text{mm}$	$\leq 16\text{mm}$
<b>Divergencia de vapor de agua Sup. – 800hPa</b>	<0	>0
<b>Viento 850hPa</b>	Que aporte aire húmedo a la zona	NS
<b>Vaguada</b>	Que la zona esté en la parte delantera de una vaguada en 500hPa	NS
<b>Zona oscura WV</b>	Que aparezca próxima a la zona una franja oscura en el canal WV	NS
<b>Tipo de movimiento</b>	Sistemas estacionados en la zona durante varias horas, con movimiento débil (<50km/h) o con regeneración	Sistemas con movimiento rápido (>50km/h) sin regeneración

NS: No significativo (Sólo se consideran las condiciones favorables de los parámetros).

### 6.3.1 Episodio 1: Día 19 de Febrero de 1991

En este episodio se observa a las 18:00h del día 18 una depresión en superficie con el vórtice en el centro peninsular (figura 6.27). La posición de un frente cálido asociado abarca a las 18:00h del día 18 desde la zona centro hasta Cataluña.

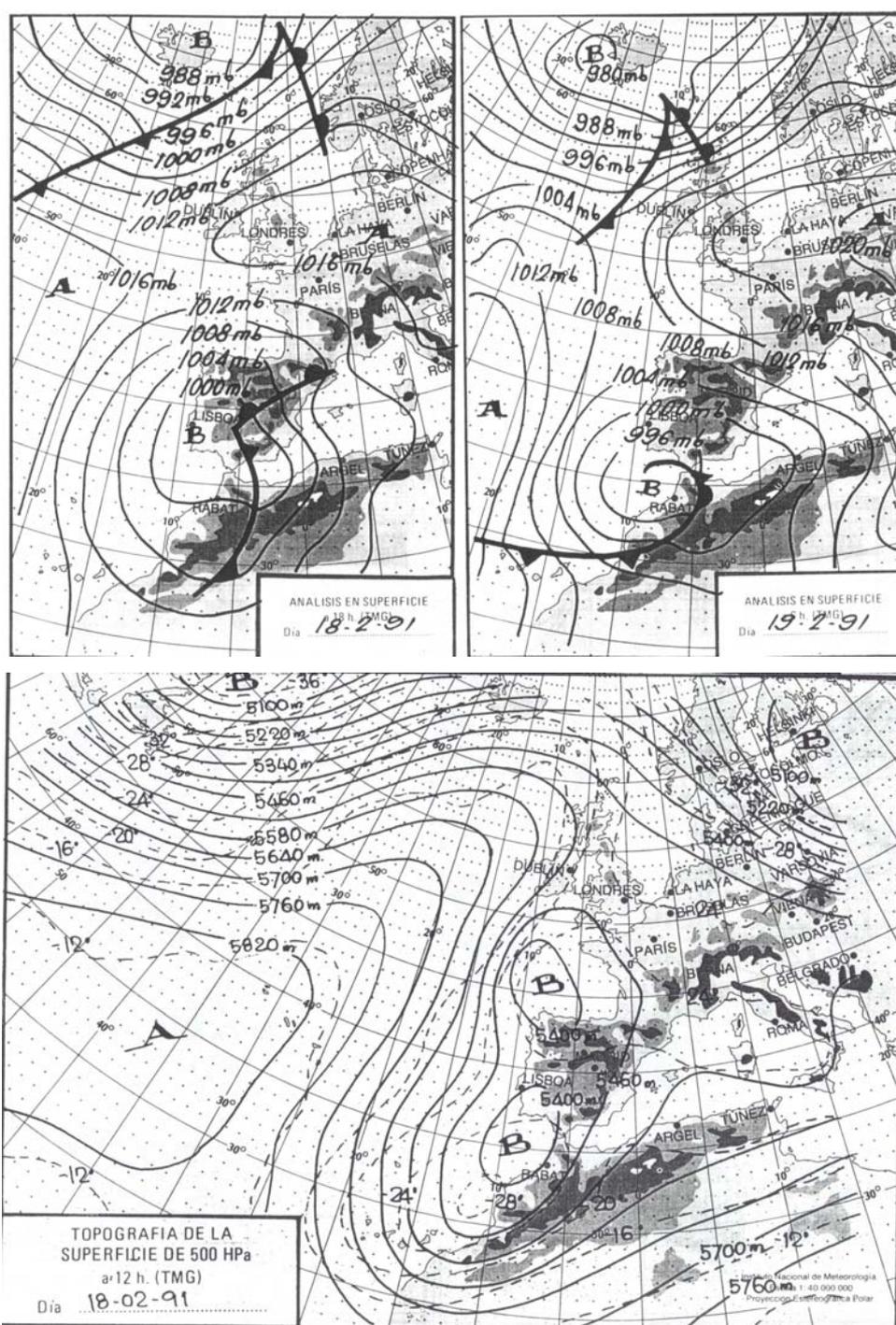
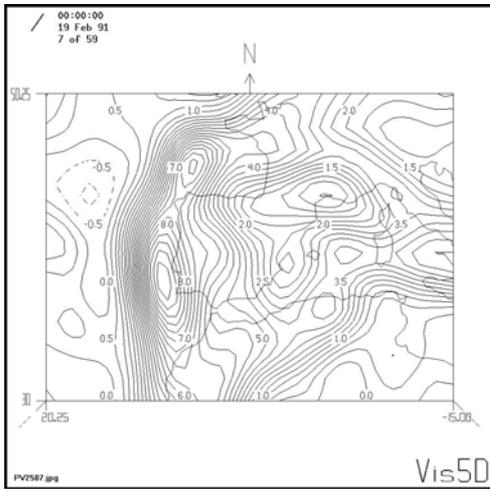


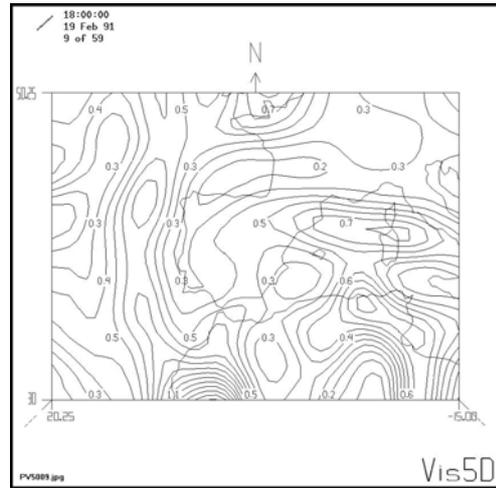
Figura 6.27.- Análisis en superficie y en altura del episodio 19-02-91 (INM, 1991).

Análisis de los episodios seleccionados

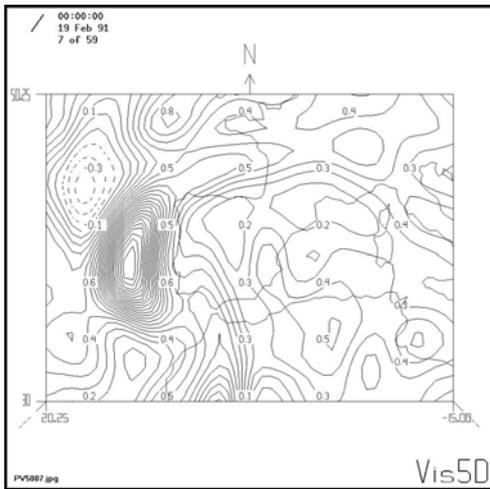
Se muestran también en la figura 6.28 los mapas de vorticidades en altura.



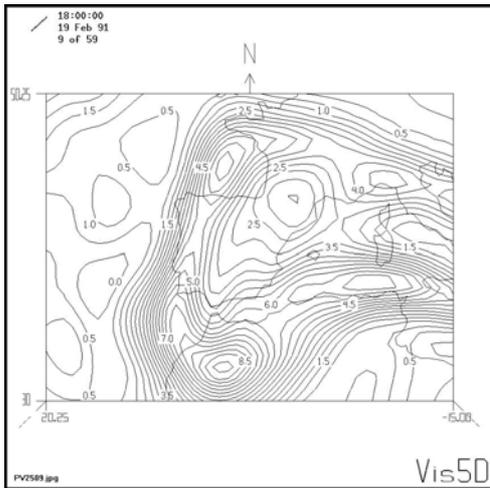
a)



d)



c)

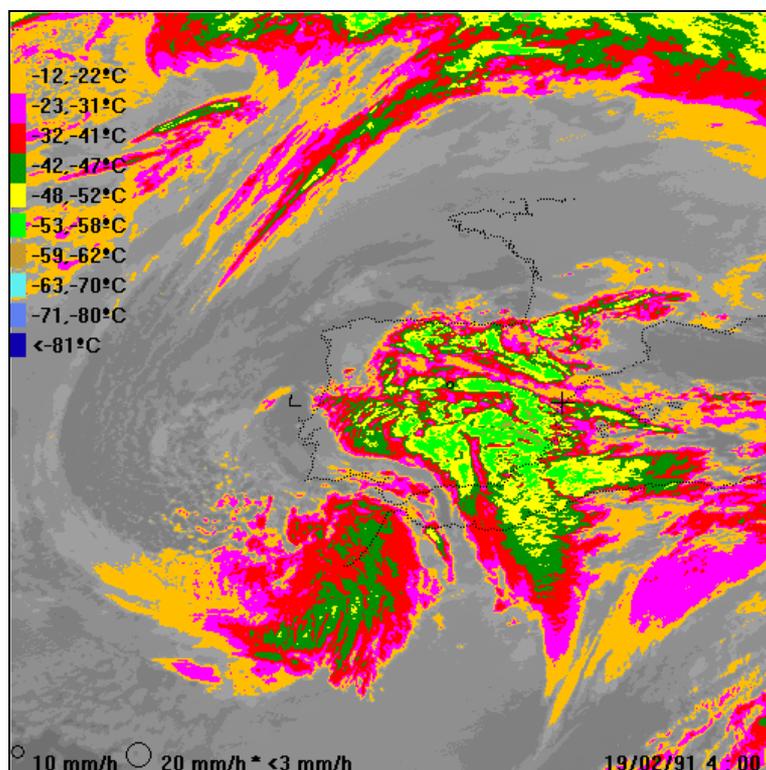


b)

**Figura 6.28.-** Vorticidades potenciales del episodio 19-02-91 en 250hPa , a) 00:00h, b) 18:00h; en 500hPa, c) 00:00h, d) 18:00h.

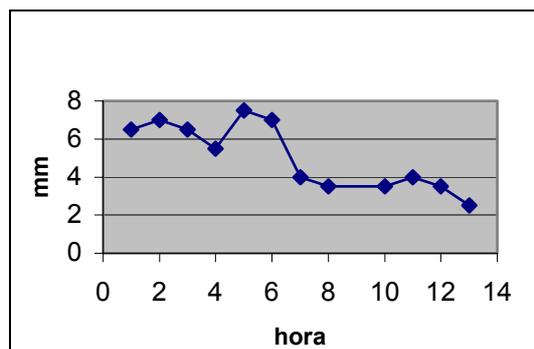
A las 17:00h del día 19-02-91 se observa un sistema que se desarrolla al Norte de las Islas Baleares y avanza acercándose a la costa catalana con núcleos cuyas temperaturas en el canal IR oscilan entre -53°C y -58°C. El sistema se deshace y prácticamente no produce lluvia en Cataluña.

La figura 6.29 muestra la distribución de los sistemas nubosos el día 19-02-91 a las 04:00h sobre la Península y Baleares con la aplicación del escalado.



**Figura 6.29.-** Sistemas nubosos del día 19-02-91 a las 04:00h (canal IR Meteosat con escalado).

La serie de lluvias de que se dispone registros para este episodio corresponde al observatorio de Navacerrada (región Centro Peninsular), donde se recogieron 65mm en 13h (figura 6.30). Se trata de una lluvia de tipo estratiforme, sin intensidades altas y asociadas a sistemas nubosos que abarcan grandes extensiones en las proximidades del vórtice de un frente cálido.



**Figura 6.30.-** Lluvia horaria registrada en el observatorio de Navacerrada el día 19-2-91.

Los valores de los parámetros sinópticos correspondientes a las horas previas a las lluvias o a la detección de sistemas nubosos cercanos, se recogen en la tabla 6.7.

Como se observa en dicha tabla, en la zona centro son parámetros favorables al desarrollo de sistemas nubosos el IK; la helicidad; la convergencia de vapor de agua en niveles bajos y la vorticidad potencial en 250hPa. Asimismo, la humedad relativa entre la superficie y los 500hPa y la masa de agua precipitable son parámetros favorables al mantenimiento de los sistemas. Por el contrario, es claramente desfavorable el índice LI.

En la zona cercana a Cataluña son favorables al desarrollo y mantenimiento de los sistemas nubosos la helicidad; el CAPE; el IK; el LI; la convergencia de vapor de agua en niveles bajos; el viento en 850hPa; la humedad relativa y la masa de agua precipitable, siendo desfavorable la divergencia en 850hPa.

El análisis de las imágenes IR nos permite observar que se forman sistemas en la zona de Baleares con núcleos de  $-53^{\circ}\text{C}$  a  $-58^{\circ}\text{C}$ , moviéndose hacia Cataluña pero se debilitan enseguida y no llegan a alcanzar la costa. Las razones de este debilitamiento se tienen que buscar en un máximo de divergencia en 850hPa, aunque débil, y en la ausencia de convergencia de vapor de agua en niveles bajos en la zona de Cataluña.

**Tabla 6.7.-** Parámetros del episodio 19-02-91 \*.

<b>Parámetro sinóptico e información del satélite</b>	<b>Zona Centro: 00:00h</b>	<b>F/D</b>	<b>Cataluña: 18:00h</b>	<b>F/D</b>
<b>GRH</b>	100 Máximo situado próximo a la zona.	F	100 en la zona de origen de los sistemas. 75 en Cataluña	F
<b>CAPE</b>	500	NS	750 en la zona de origen de los sistemas. 0 en Cataluña	F
<b>IK</b>	40	F	45 en la zona de origen de los sistemas. 35 en Cataluña	F
<b>LI</b>	4	D	-2 en la zona de origen de los sistemas 2 en Cataluña	F
<b>Divergencia 500hPa</b>	0	NS	1 en la zona de origen de los sistemas. 0 en Cataluña	NS
<b>Divergencia 850hPa</b>	0	NS	0 en la zona de origen de los sistemas. 1.5 en Cataluña	D
<b>Vorticidad potencial 250hPa</b>	(2.5, 5)	F	2.5	NS
<b>Vorticidad potencial 500hPa</b>	(0.2, 0.3) No se aprecia máximo cercano	NS	0.5	NS
<b>HR Sup.- 500hPa</b>	80%	F	90% en la zona de origen de los sistemas. 70-80% en Cataluña	F
<b>PW</b>	18-20	F	22 en la zona de origen de los sistemas. 18 en Cataluña	F
<b>Divergencia de vapor de agua Sup.- 800hPa</b>	-100	F	-200 en la zona de origen de los sistemas. 0 en Cataluña	F
<b>Viento en 850hPa</b>	10 m/s	NS	15 m/s. Aporta aire húmedo a la zona	F
<b>Vaguada en 500hPa</b>	No	NS	No	NS
<b>Indicio de ciclogénesis en las capas altas (canal WV)</b>	-	-	-	-
<b>Tipo de movimiento observado de los sistemas nubosos (canal IR)</b>	No disponibles imágenes anteriores	-	Los sistemas no llegan prácticamente a la zona	NS

\* No se dispone de los mapas de las 12:00h  
 F/D: Favorable o desfavorable  
 NS: No significativo      - : No disponible

## Análisis de los episodios seleccionados