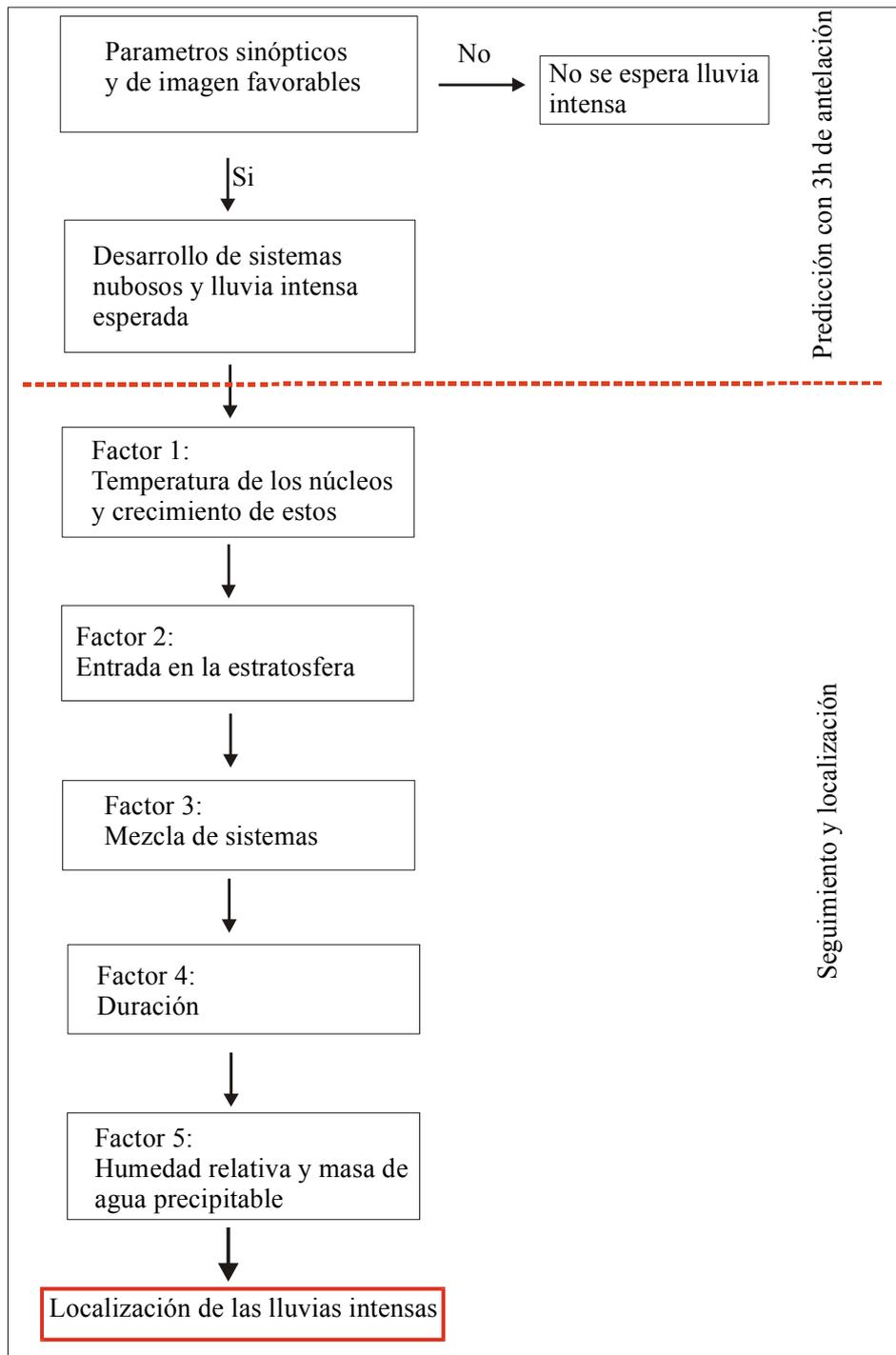


## 6.4 Seguimiento y localización de las lluvias intensas en las imágenes

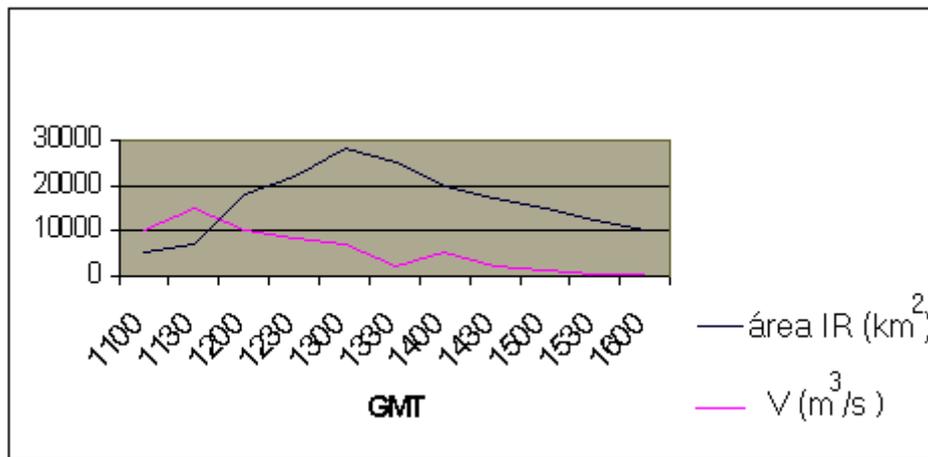
El análisis de los parámetros sinópticos y de las imágenes en los canales IR y WV del Meteosat realizado en la sección anterior permite predecir con una antelación de 3h si se van a desarrollar sistemas nubosos importantes, si éstos tienen suficiente aporte de vapor de agua para su mantenimiento y si el movimiento es tal que va a permitir que las intensidades de las lluvias sean localmente grandes. El siguiente objetivo de este trabajo es establecer y caracterizar los factores de imagen que permiten realizar un seguimiento y localización de las lluvias intensas con la máxima precisión posible. Se hará utilizando, como ya se ha dicho, las imágenes de los canales IR y WV del Meteosat inmediatamente anteriores a la lluvia y se detectarán en ellas los factores favorables siguiendo el esquema de Scofield de predicción a 1/2h vista (1987a). Se analizarán los sistemas nubosos en los que la predicción muestra la caída de lluvias intensas como probable, por ser los casos de interés en el presente trabajo. En los episodios en los que la predicción indica intensidades moderadas o nulas se hará una breve descripción de los factores de imagen.

En la figura 6.80 se detallan los factores que se analizan.

- El factor 1, temperatura de los núcleos y crecimiento de éstos, tiene en cuenta que las intensidades de lluvia altas se producen en la etapa de crecimiento de las partes más activas del sistema nuboso, núcleos, esto se aprecia en la figura 6.81 donde se muestra una relación típica entre el volumen de lluvia estimada mediante radar y el área de una nube convectiva (Stout et al. 1979). El hecho más destacable que se observa es que el máximo de lluvia se produce cuando el sistema nuboso está creciendo en tamaño de manera considerable y la lluvia se reduce mucho cuando el sistema alcanza la máxima área.



**Figura 6.80.-** Factores para el seguimiento y localización de las lluvias intensas.



**Figura 6.81.-** Evolución de una tormenta típica (Stout et al, 1979).

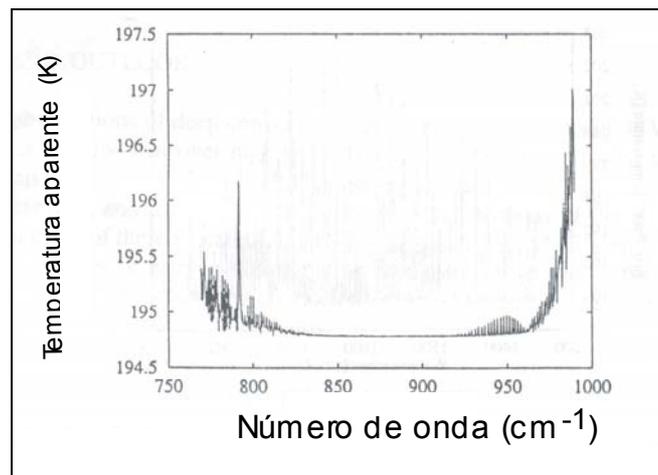
Para la determinación del factor 1 se calculará el aumento de área experimentado por la zona de influencia del sistema nuboso más cercana al observatorio durante la hora anterior al registro de la lluvia si dicha zona está situada en la imagen anterior a la lluvia a una distancia menor de 70-80km. Sí la zona está más alejada y llega al observatorio en media hora quiere decir que viaja a una velocidad superior a 140-160km/h, con lo cual la probabilidad de que produzca lluvias intensas es baja. Existe la imprecisión de que no se sabe, con los datos de que se dispone, del momento preciso en que cayó la lluvia durante la hora del registro, por lo tanto se toma la situación más desfavorable, que es que la lluvia pueda haber caído en la segunda media hora.

En ocasiones, lo que se observa no es el crecimiento de una zona uniforme sino el relleno de una zona en la que habían huecos, en estos casos se aproxima el aumento de área equivalente comparando dos imágenes consecutivas.

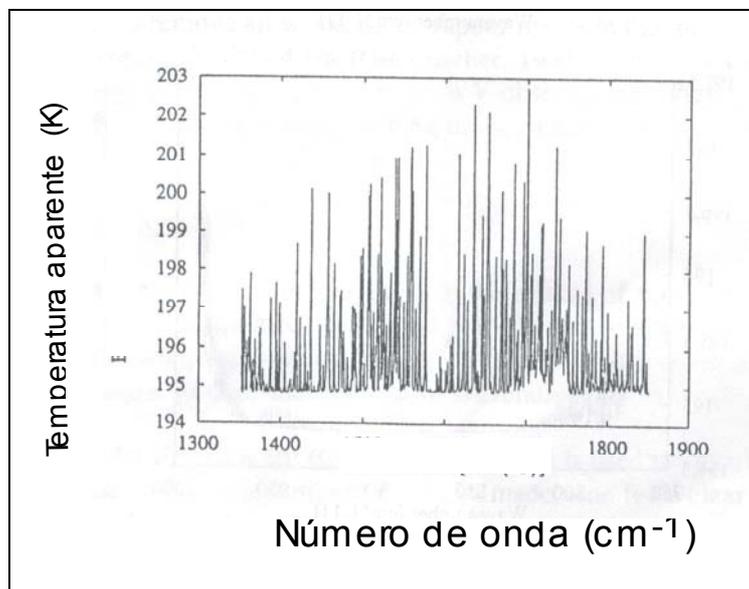
- El factor 2, entrada en la estratosfera ("overshooting" de aquí en adelante), se tiene en cuenta ya que es indicativo de sistemas nubosos con un gran desarrollo vertical. Para su determinación se localizarán los pixeles cuya temperatura aparente en el canal del vapor de agua del Meteosat supera a la del mismo pixel en el canal IR, en el slot anterior al registro de la lluvia. Esta situación indica que el área ocupada por el pixel ha entrado en la estratosfera (Schmetz et al., 1997), y por lo tanto, que en esa zona existe una intensa actividad convectiva. La explicación está en que cuando la cima de la nube convectiva está próxima a la estratosfera, prácticamente toda la radiación proveniente de

la troposfera ha sido ya absorbida y la radiación que sale al exterior procede exclusivamente de la cima nubosa y de la estratosfera.

La contribución de la radiación proveniente de la estratosfera es casi despreciable en el canal IR, en cambio no lo es en el canal WV debido a la diferente forma de los respectivos espectros (figura 6.82) que hacen que, al integrar en toda la banda para calcular la radiancia total recibida en el sensor y las respectivas temperaturas aparentes, se obtenga en el canal IR prácticamente la temperatura de la cima de la nube y en el canal WV una temperatura aparente algo mayor.



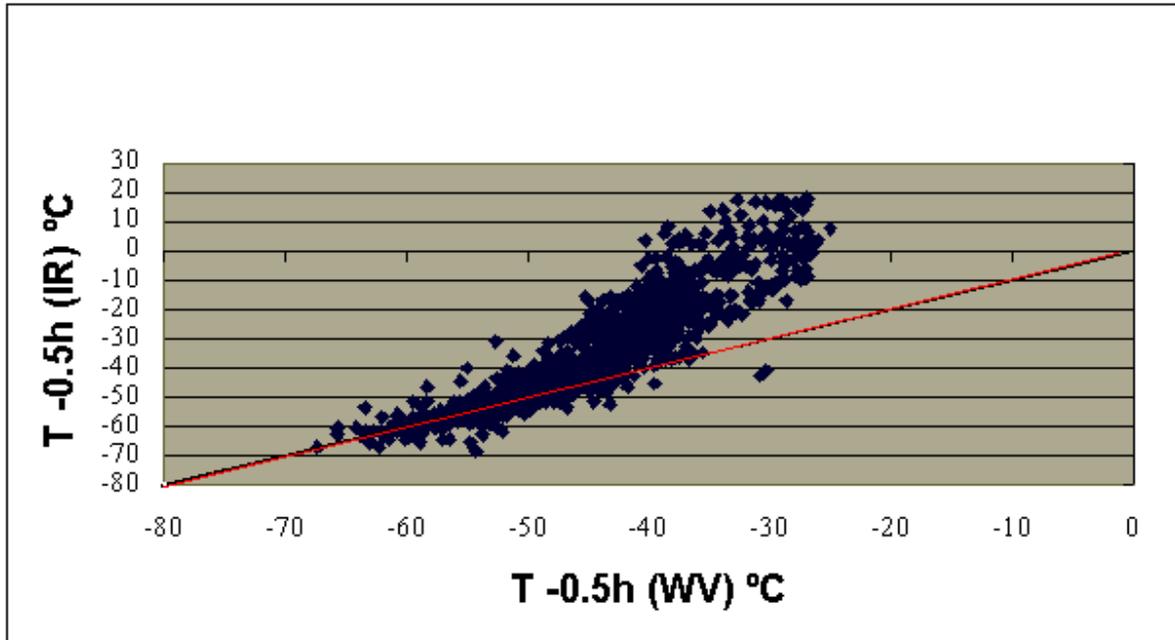
(a)



(b)

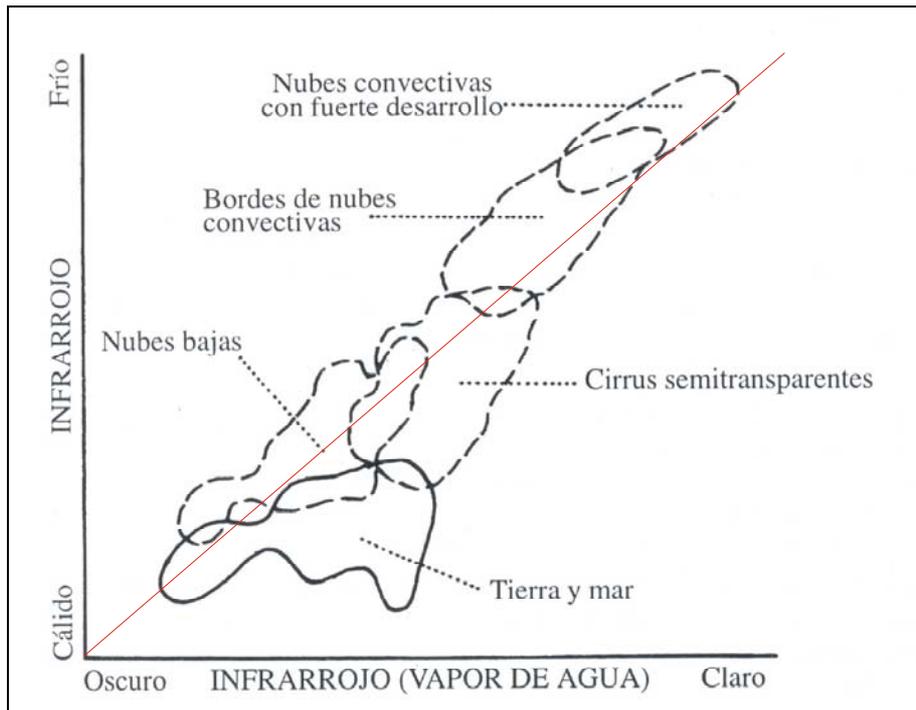
**Figura 6.82.-** Espectros simulados de radiancias recibidas en el sensor del Meteosat por sistemas convectivos muy intensos. a) canal IR; b) canal WV (Schmetz et al. 1997).

La figura 6.83 muestra las temperaturas en los dos canales del Meteosat de los pixeles correspondientes a todos los registros de lluvia que se han utilizado y de los cuales se dispone de imágenes en los dos canales (39 días). Como se observa, las entradas en la estratosfera se producen para temperaturas aparentes inferiores a  $-40^{\circ}\text{C}$  en el canal IR, haciéndose más intensa alrededor de los  $-60^{\circ}\text{C}$ .



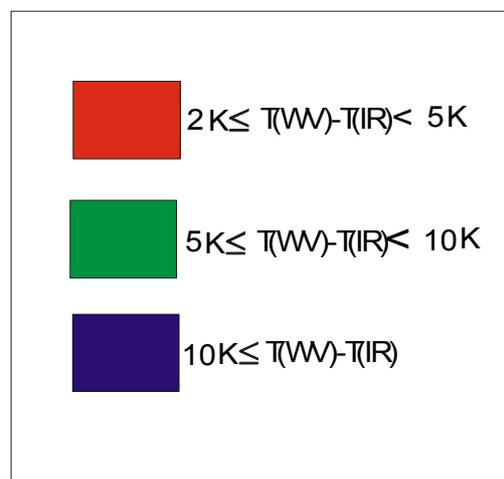
**Figura 6.83.-** T (IR) 1/2h antes de la lluvia - T (WV) 1/2h antes de la lluvia.

Si se compara la figura 6.83 con el histograma bidimensional de los dos canales IR-WV (figura 6.84), se observa una buena concordancia (el crecimiento de las temperaturas en los ejes está invertido en las dos figuras). Los valores obtenidos nos permiten situar los Cirrus alrededor de  $-30^{\circ}\text{C}$  de temperatura IR y  $-40^{\circ}\text{C}$  de temperatura WV y a los sistemas convectivos intensos con temperaturas IR alrededor de  $-60^{\circ}\text{C}$  y temperaturas WV alrededor de  $-50^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 6.84.-** Histograma bidimensional de los canales IR y WV del Meteosat (Martín Vide, 1996).

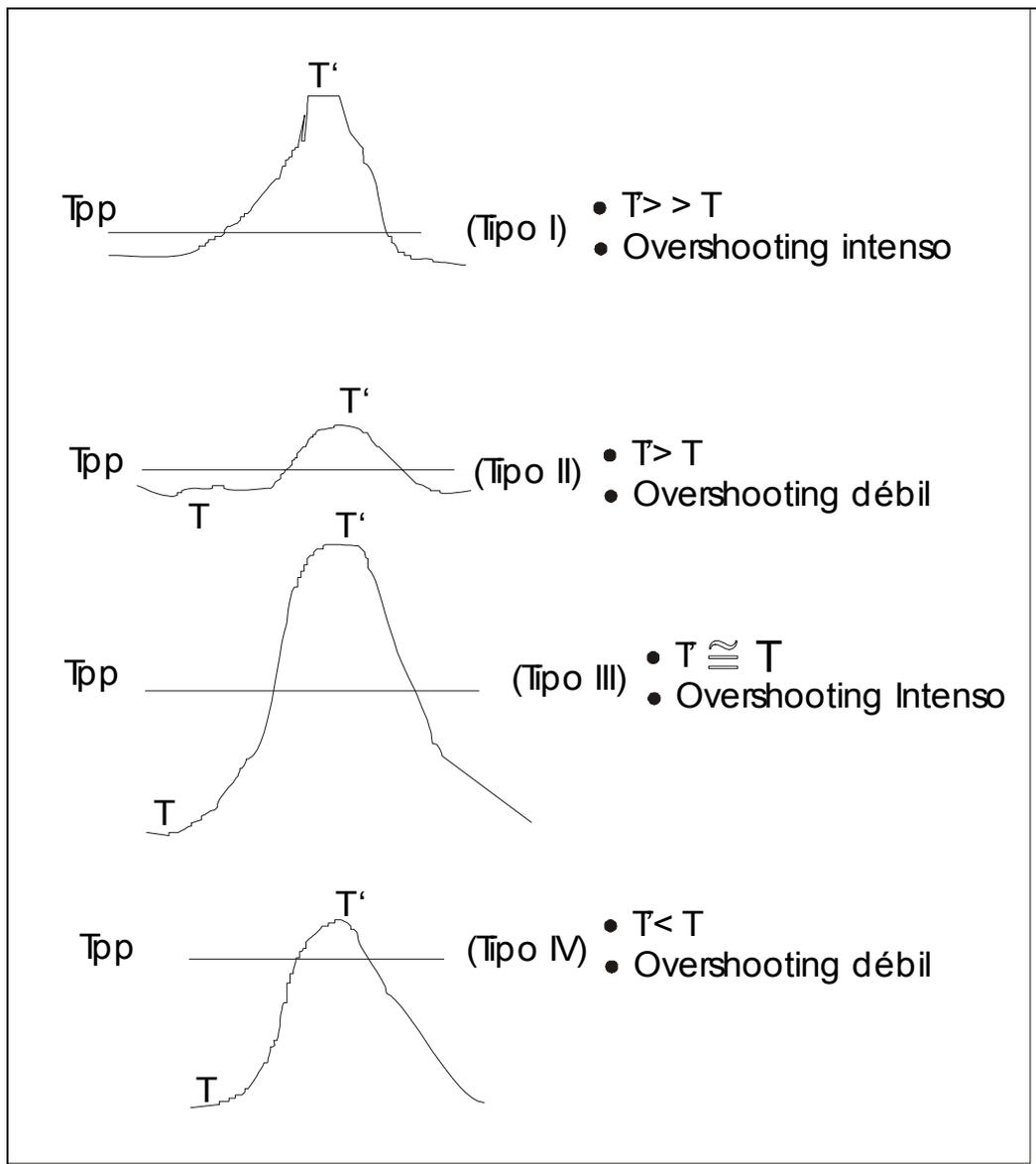
Para detectar los overshootings, como se ha dicho antes, se calcularán las diferencias de temperaturas entre el canal WV y el IR. Los pixeles cuya temperatura en el canal WV supere en más de 2K a la del mismo pixel en el canal IR se mostrarán en color, según la escala de la figura 6.85, el resto de pixeles se mostrarán tal como aparecen en el canal IR. La imagen así construida se le denominará en lo sucesivo "imagen del overshooting".



**Figura 6.85.-** Escala de colores para resaltar el overshooting.

En la figura 6.86 se muestran las diversas situaciones que se pueden presentar en una zona en la que se produce overshooting; donde  $T_{pp}$  representa el nivel de la tropopausa, y  $T$ ,  $T'$  son las temperaturas (IR) de los pixeles que están por debajo y por encima, respectivamente, de la tropopausa en los alrededores de la zona de overshooting. Las situaciones atmosféricas que indican más desarrollo vertical son aquéllas en que las zonas de entrada en la estratosfera aparecen más calientes que las de los alrededores en el canal IR ya que la entrada es muy intensa (tipos I y III), o bien los alrededores están muy próximos a la tropopausa y, con poca entrada en la estratosfera, se produce un calentamiento suficiente para que la zona aparezca más caliente que los alrededores (tipo II). La situación que indica menos actividad convectiva corresponde al tipo IV, con débil entrada en la estratosfera y temperatura (IR) de los pixeles del overshooting inferior a la temperatura (IR) de los pixeles de los alrededores. Implicando que los pixeles de overshooting coinciden con los núcleos más fríos en el canal IR. Así pues, clasificaremos los overshooting en cuatro categorías I, II, III y IV, ordenadas éstas de mayor a menor probabilidad de producir lluvias intensas

- El factor 3 tiene en cuenta que en las zonas donde se produce mezcla de sistemas aumenta la probabilidad de lluvias intensas (Scofield, 1987a). Se localizarán en este estudio por simple observación ocular del slot anterior al registro de la lluvia.
- El factor 4 tiene en cuenta que la saturación en el ambiente producida por la persistencia de núcleos de sistemas nubosos en el mismo lugar durante largo tiempo, varias horas habitualmente, también aumenta la intensidad de lluvia localmente. Esta saturación en el ambiente puede ser provocada: por un sistema estacionado en la zona; por el paso de un sistema alargado en la dirección de su movimiento; por el paso sucesivo de sistemas independientes o por el paso de un sistema con regeneración en la parte trasera ("outflow boundary"), el cual produce también que varios sistemas se desarrollen en el mismo lugar. Se calculará el número de horas que lleva la zona de influencia del sistema nuboso encima del observatorio o en los alrededores.



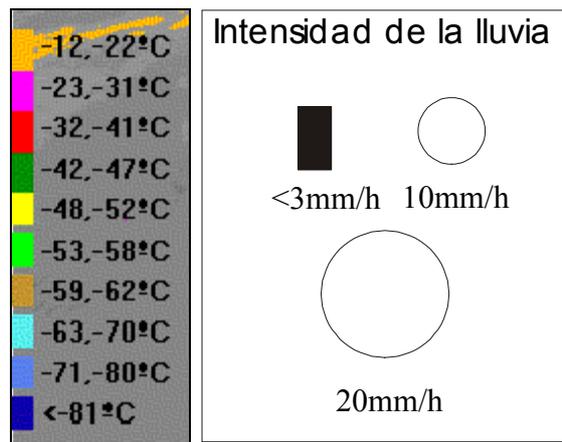
**Figura 6.86.-** Tipos de overshooting.

- La humedad relativa y la masa de agua precipitable (factor 5) reflejan el hecho de que la temperatura de la cima nubosa nos da información del mayor o menor desarrollo del sistema nuboso, pero no nos permite deducir directamente el contenido de vapor de agua presente en la nube ni en sus alrededores (Scofield, 1987a). Este factor es esencial en la producción de lluvia. Se anotará la humedad relativa y la masa de agua precipitable en la media hora anterior a la lluvia.

Dado lo dicho respecto del factor 2, que los sistemas convectivos con cimas que penetran en la estratosfera pueden producir calentamientos aparentes en el canal IR, no se considerarán los factores 1 y 4 en los casos en que haya overshooting extenso,

próximo al observatorio, que pueda enmascarar las temperaturas aparentes en el canal IR.

En las imágenes del canal IR están inscritas las intensidades de lluvia registradas mediante una circunferencia de radio proporcional a la intensidad de lluvia y la segmentación de los valores de las temperaturas sigue la gama de colores que ya ha aparecido antes. La figura 6.87 muestra la escala utilizada para la intensidad de lluvia y los colores asociados con la temperatura.

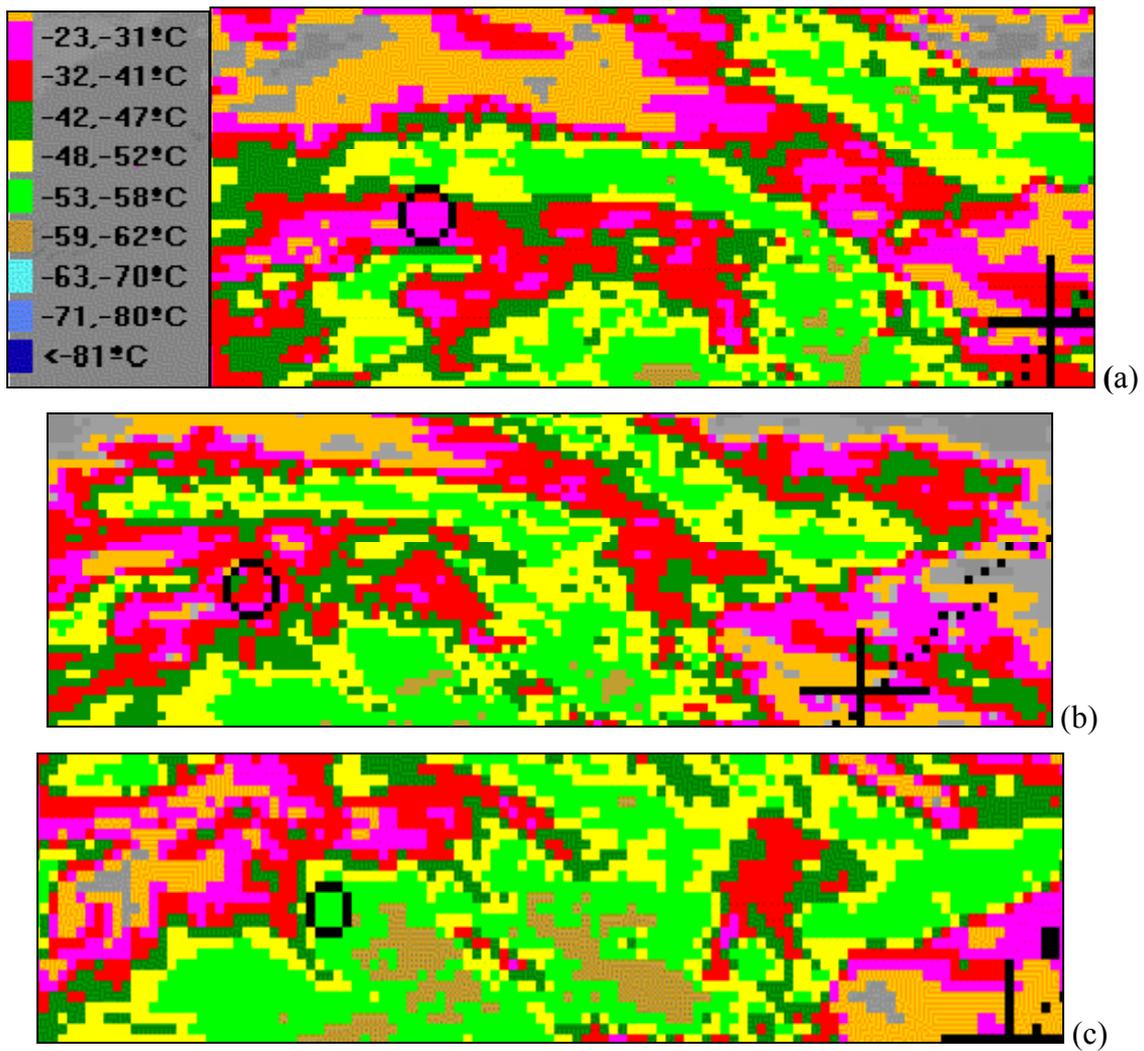


**Figura 6.87 :** Escala de intensidad de lluvia y gama de colores.

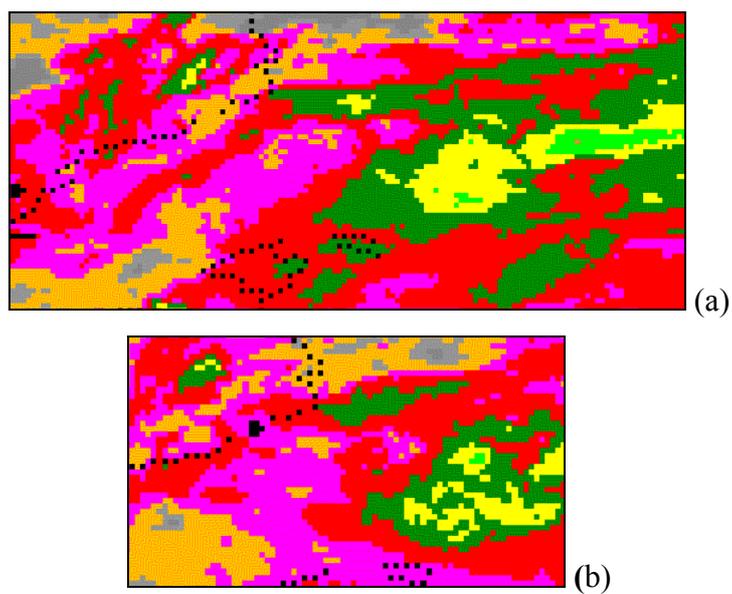
### **6.4.1 Episodio 1: Día 19.2.91**

En la zona centro de la Península, el seguimiento de los sistemas nubosos con las imágenes IR indica que éstos tienen núcleos de  $-59^{\circ}\text{C}$  a  $-62^{\circ}\text{C}$ , aunque predominan las temperaturas de  $-53^{\circ}\text{C}$  a  $-58^{\circ}\text{C}$ , ocupando grandes extensiones sin una estructura claramente definida (figura 6.88). No se observan crecimientos ni intensificaciones ni mezclas, aunque la duración ocasionada por el paso sucesivo de sistemas por la misma zona es alta, aproximadamente de 8h. Este episodio no produjo lluvias intensas, por lo cual no se realiza un seguimiento detallado.

Los sistemas que pueden afectar a la zona de Cataluña se pueden apreciar a las 17:00h (figura 6.89a). Se desarrollan al Norte de las Islas Baleares y avanzan acercándose a la costa catalana con núcleos cuyas temperaturas en el canal IR oscilan entre  $-53^{\circ}\text{C}$  y  $-58^{\circ}\text{C}$ . Los sistemas se deshacen y prácticamente no producen lluvia en Cataluña, por lo cual no se realiza un seguimiento detallado.



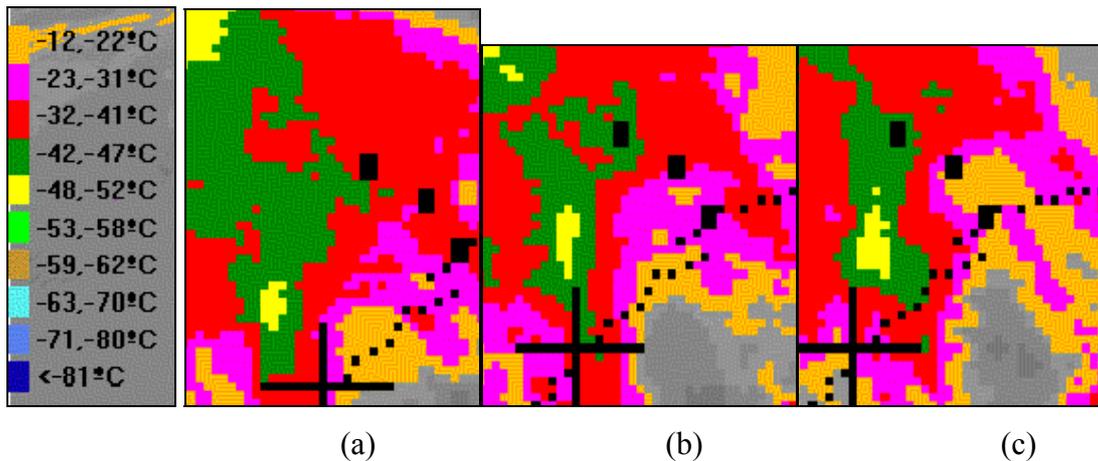
**Figura 6.88.-** Sistemas nubosos en la zona centro el día 19.02.91  
(a) 05:00h (b) 06:00h (c) 07:00h



**Figura 6.89.-** Sistemas nubosos en Cataluña el día 19.02.91 (a) 17:00h (b) 18:00h .

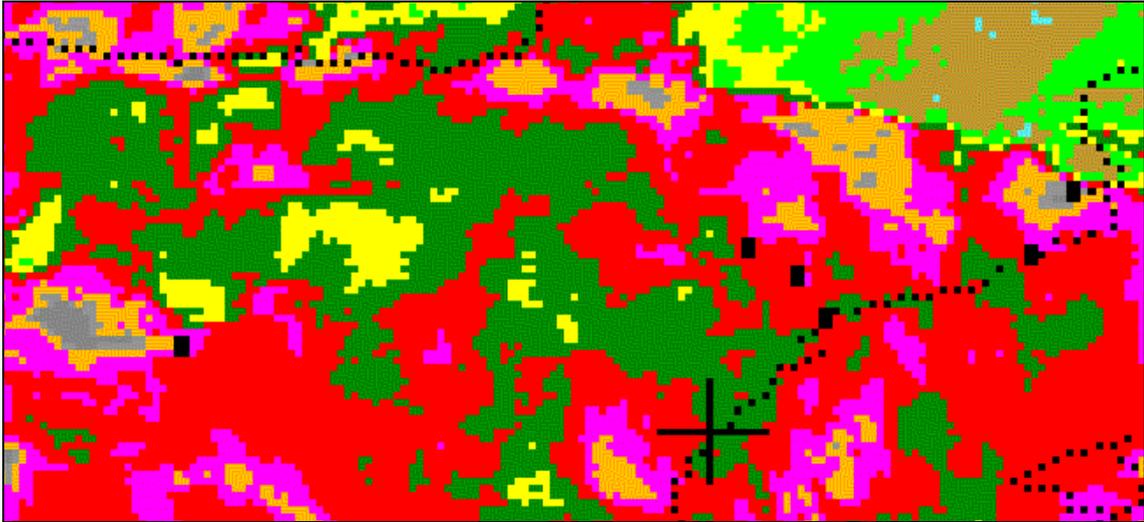
### 6.4.2 Episodio 2: Día 05.03.91

Para la zona de Cataluña, en las imágenes IR se observan sistemas nubosos sin estructura claramente definida y con temperaturas de  $-48^{\circ}\text{C}$  a  $-52^{\circ}\text{C}$  que se fragmentan y se calientan (figura 6.90). No se observa regeneración. La duración en la zona es aproximadamente 3h, aunque al paso por los observatorios los sistemas se debilitan. No se produjeron lluvias registradas.

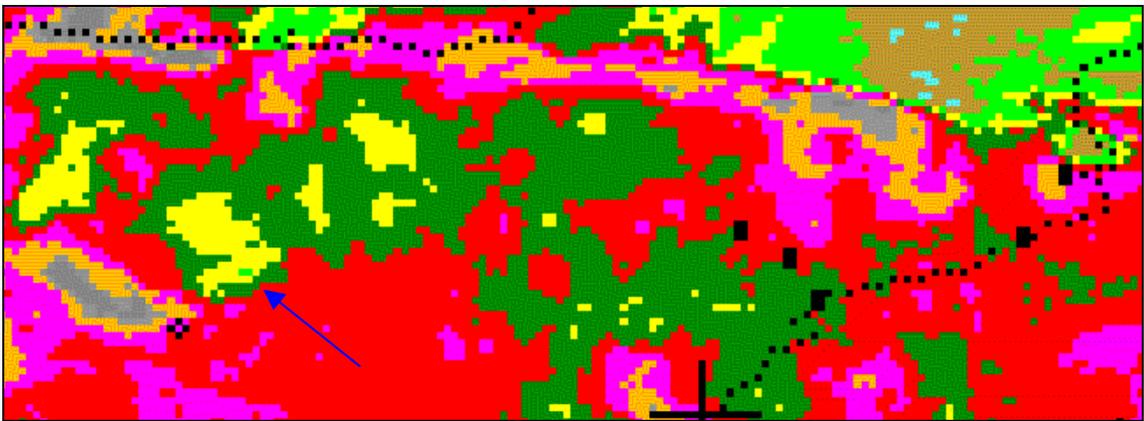


**Figura 6.90.-** Sistemas nubosos sobre Cataluña el día 05.03.91 (canal IR Meteosat) (a) 01:30h, (b) 02:00h (c) 02:30h.

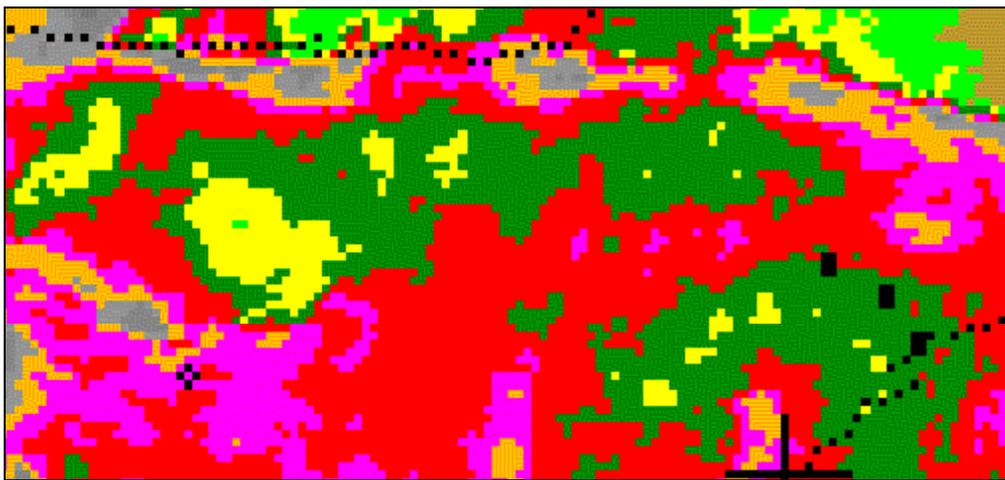
En la zona centro, las imágenes IR permiten observar que los núcleos son más calientes que en Cataluña, entre  $-32$  y  $-41^{\circ}\text{C}$  y existe una cierta regeneración (figura 6.91b, zona indicada por la flecha). Las lluvias fueron moderadas, por lo cual no se realiza el seguimiento.



(a)



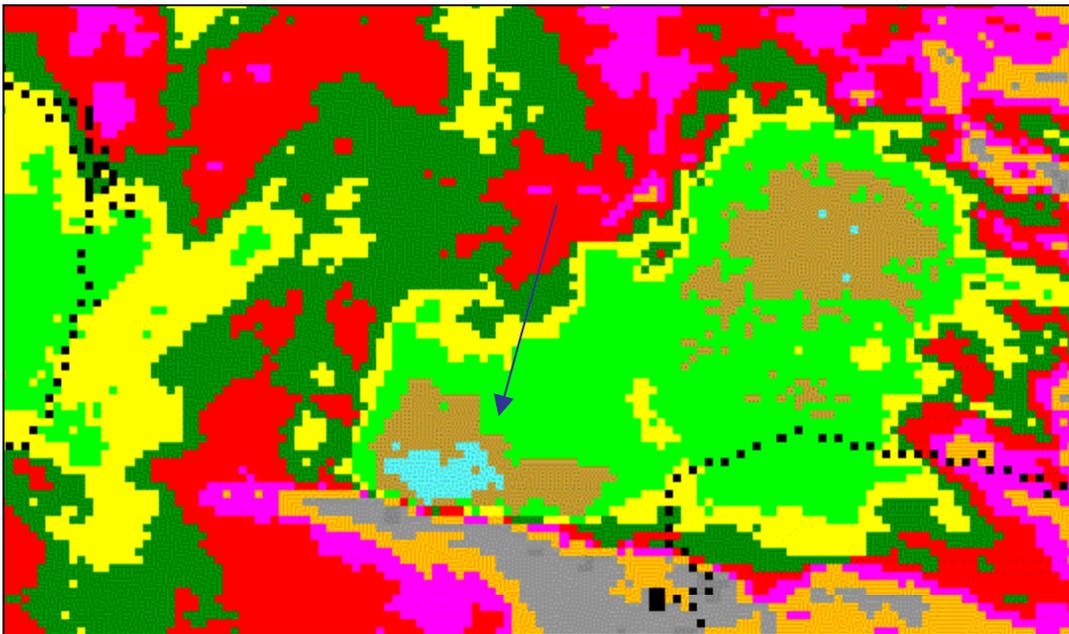
(b)



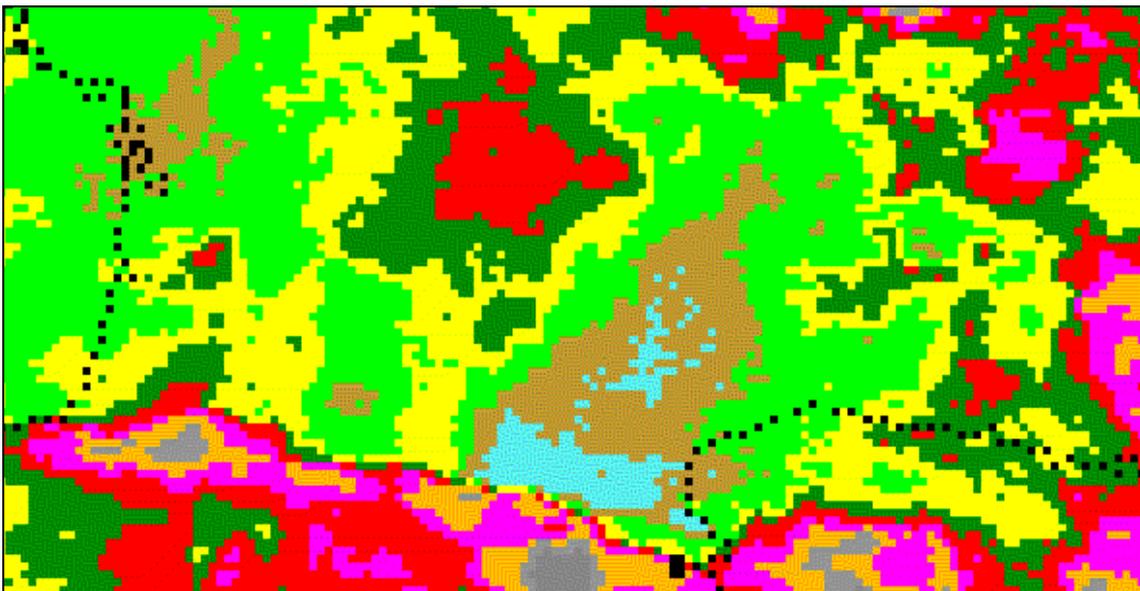
(c)

**Figura 6.91.-** Sistemas nubosos sobre la zona centro el día 05.03.91 (canal IR Meteosat). (a) 07:00h, (b) 07:30, (c) 08:00h

Otro fenómeno de interés que se observa en las imágenes IR es el efecto de disparo ocasionado por la barrera de los Pirineos, que hace que se desarrollen sistemas de gran envergadura con temperatura del núcleo de  $-63^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$  con un tamaño del núcleo de unos 100km de diámetro y una duración desde las 15:30h del día 4 hasta la 15:00h del día 5, aproximadamente (figura 6.92, zona indicada por la flecha). El sistema permanece estacionado justo detrás de la cordillera, a sotavento, con importante regeneración. No se dispone de datos de lluvia.



(a)



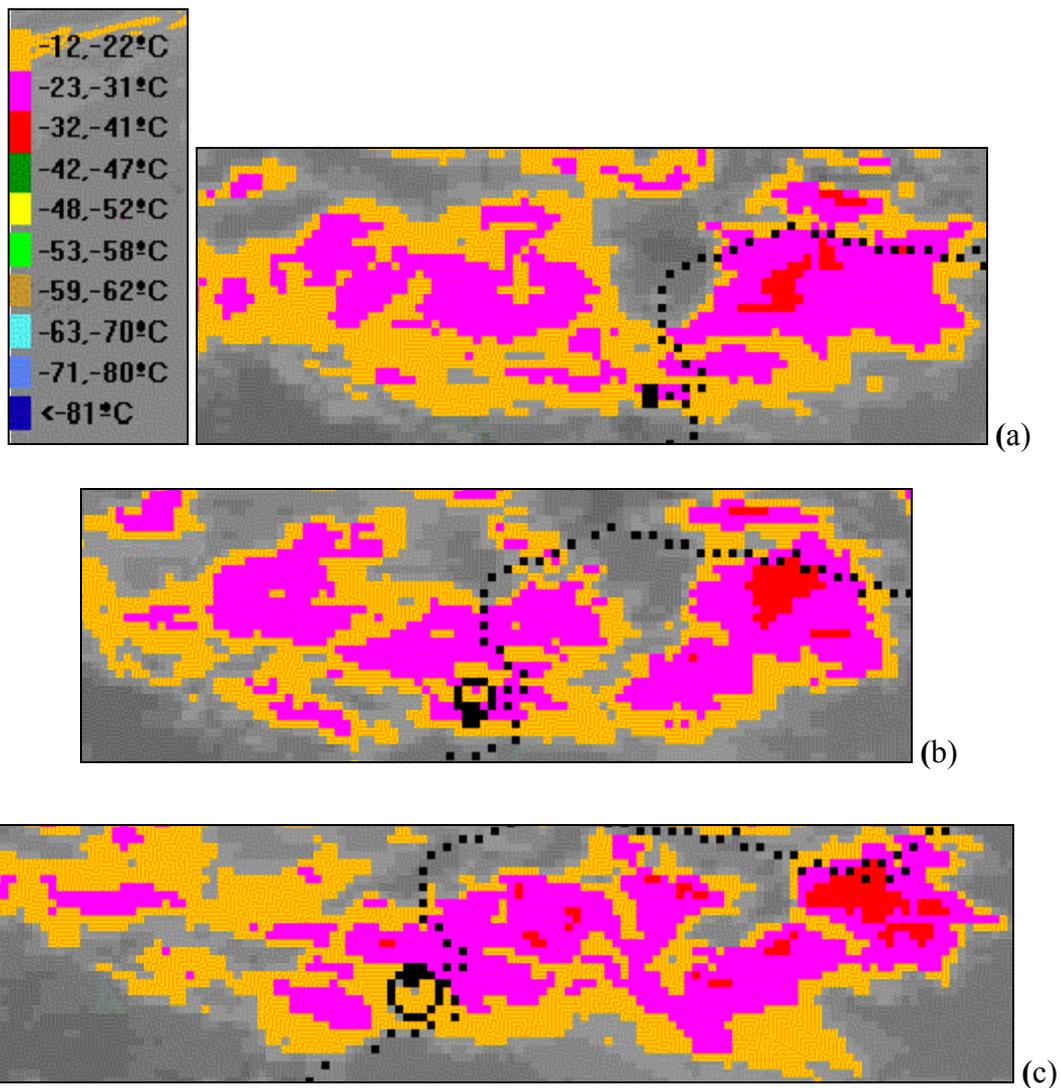
(b)

**Figura 6.92.-** Sistemas nubosos del día 05.03.91.(canal IR Meteosat). Barrera de los Pirineos (a) 01:30h, (b) 05:00h.

Es de señalar que se dan factores contrarios al desarrollo de sistemas convectivos a las 00:00h del día 5; un CAPE igual a cero, la divergencia en 850hPa es ligeramente positiva (los mapas del ECMF indican un centro de convergencia bastante más al oeste de donde se desarrollan los sistemas) y el LI está entre 6°C y 8°C. La divergencia de vapor de agua en niveles bajos es imprecisa, no parece muy útil tampoco en esta situación. Por el contrario existe un máximo de helicidad y de masa de agua precipitable en la zona, una humedad relativa de 70-80%, un IK de 30 y un viento en 850hPa de 15m/s perpendicular a la cordillera.

### 6.4.3 Episodio 3: Día 19.04.91

En las imágenes IR se observan núcleos de  $-23^{\circ}\text{C}$  a  $-31^{\circ}\text{C}$  (figura 6.93). El sistema es alargado en la dirección del movimiento, Este a Oeste, aunque muy poco compacto, lo cual provoca una duración de unas 6h, único elemento favorable a que haya lluvia en esta situación. Las lluvias fueron moderadas, por lo cual no se realiza el seguimiento.



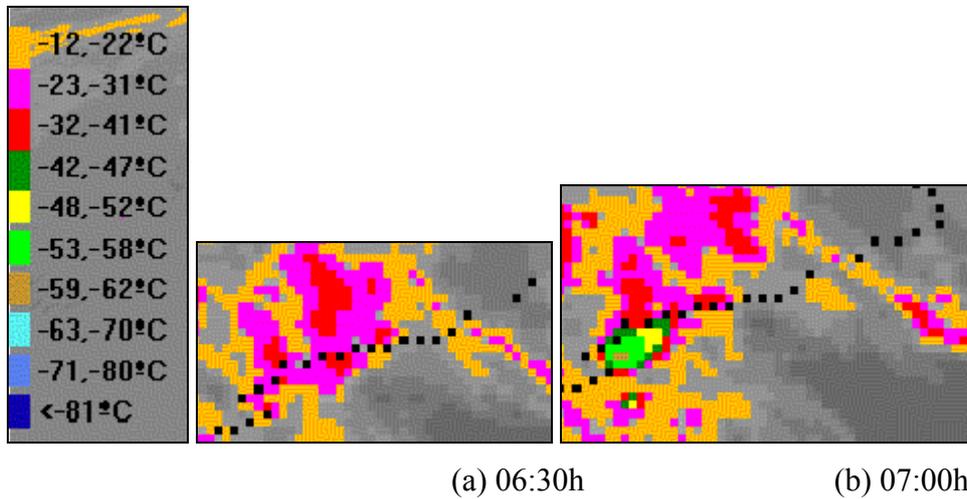
**Figura 6.93.-** Sistemas nubosos del día 19.04.91 (canal IR Meteosat). (a) 14:00h, (b) 15:00h, (c) 16:00h.

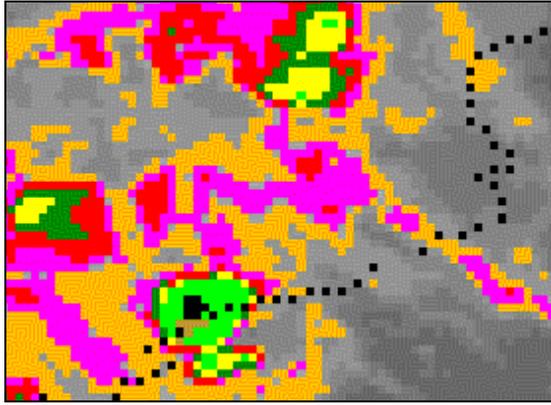
#### 6.4.4 Episodio 4: Día 25.09.91

Las imágenes del canal IR nos permiten diferenciar los sistemas de la mañana de los que se desarrollan durante la tarde. Los sistemas de la mañana aparecen entre las 06:30 y 07:00h hasta las 16:00h y producen lluvias intensas. En la tabla 6.34 se dan los valores de las intensidades de lluvia superiores a los 10mm/h y se marcan con un rectángulo de color los registros de los que se hará el seguimiento. En la figura 6.94 se muestran las imágenes anteriores y las obtenidas durante la lluvia que corresponden a dichos registros.

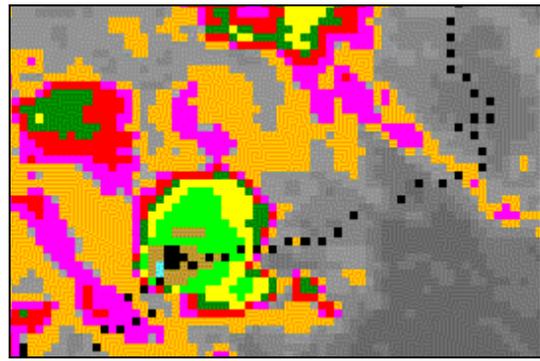
**Tabla 6.34.-** Registros de lluvias superiores a 10mm/h durante la mañana del día 25.09.91.

Estación	Hor	R (mm/h)	
Mas Bové	9	17.6	■
Caldes de	12	12.8	
Caldes de	13	15.0	
Malgrat de Mar	13	19.0	■
Sant Pere	14	29.1	■
Malgrat de Mar	14	19.4	

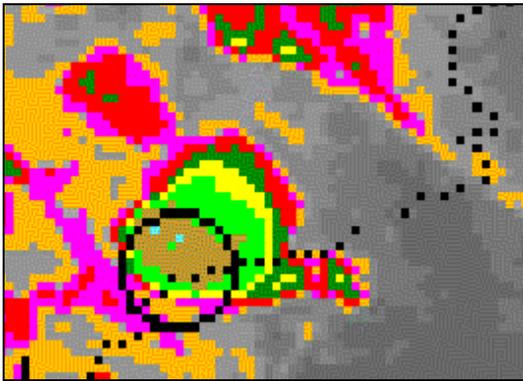




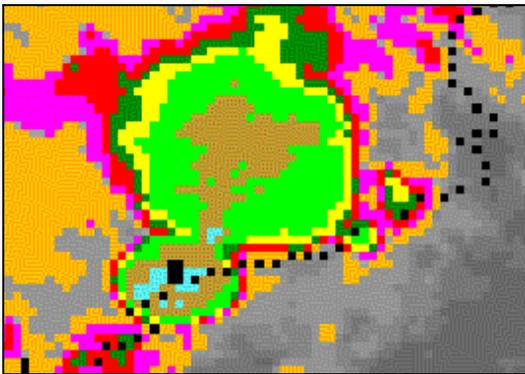
(c) 07:30h



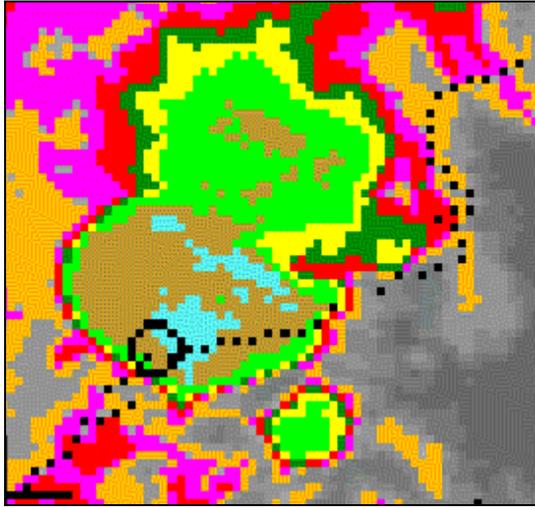
(d) 08:00h



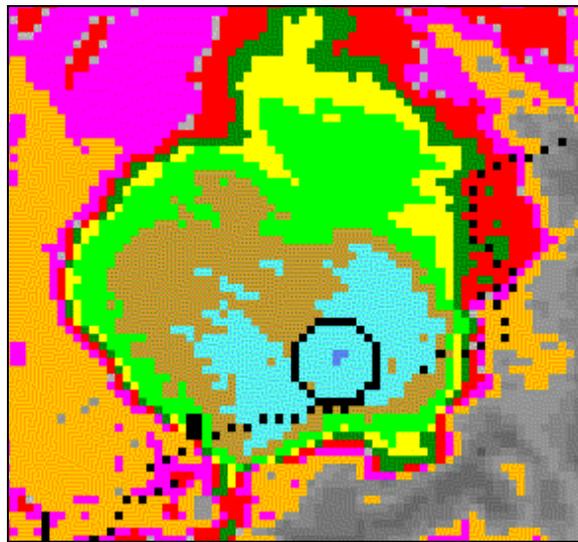
(e) 08:30h



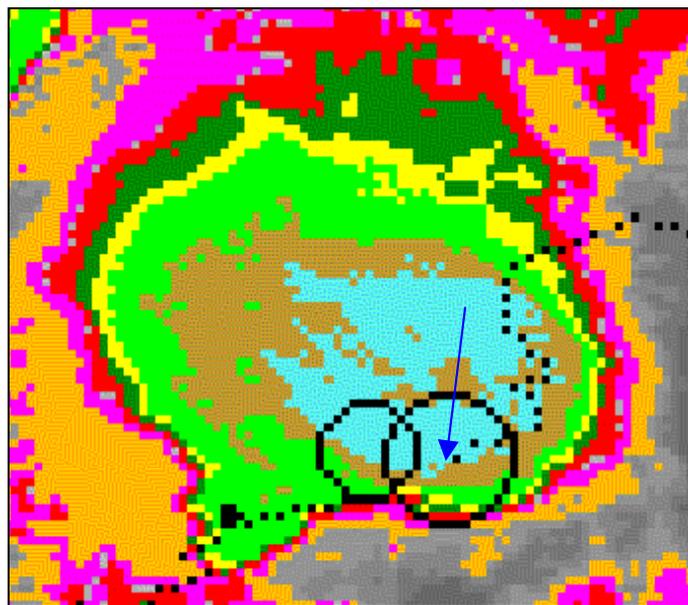
(f) 10:00h



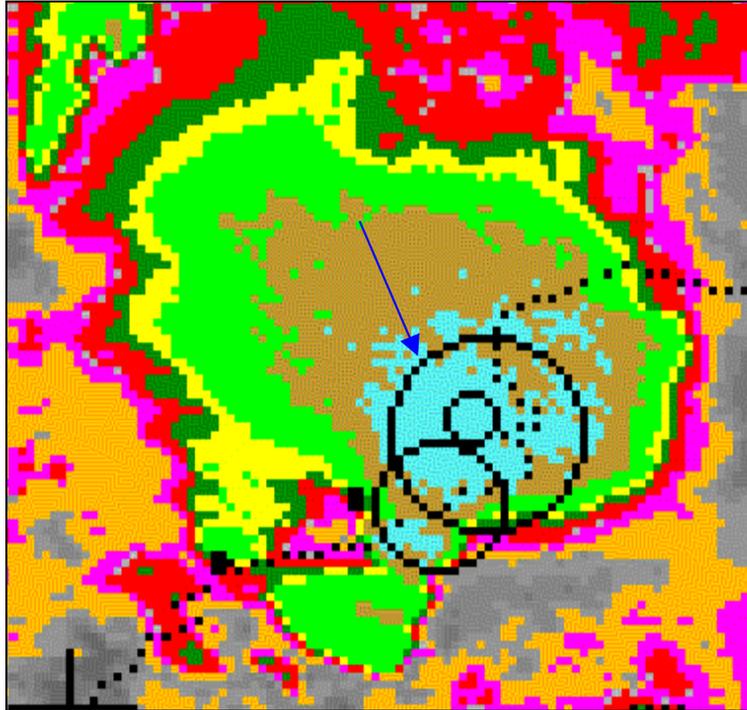
(g) 11:00h



(h) 12:00h



(i) 13:00h



(j) 14:00h

**Figura 6.94.-** Sistemas nubosos durante la mañana del día 25.09.91 en Cataluña (canal IR Meteosat).

En la tabla 6.35 se dan los resultados del análisis de cada uno de los factores de imagen correspondientes a las lluvias que han sido analizadas. Para este episodio, no se dispone de las imágenes en el canal WV que harían posible detectar los overshooting, por ello los resultados hay que considerarlos con reservas debido a que se trata de un episodio con intensa actividad convectiva y, por tanto, con entradas en la estratosfera que pueden enmascarar las temperaturas aparentes del canal IR, como ya se ha dicho.

La lluvia en Mas Bové, color rojo en la tabla, de 17.6mm/h (figura 6.95 e, zona indicada por el círculo), se produce con un núcleo de temperatura aparente en el canal IR de  $-59^{\circ}\text{C}$  a  $-62^{\circ}\text{C}$  que varía de 10km a 50km en una hora, es, por tanto, un crecimiento relativo alto (400%). Esto, unido a una permanencia de 1h de dicho núcleo en la zona y a la mezcla de sistemas, hace que la lluvia sea alta..

La lluvia en Malgrat de Mar, color rosa en la tabla y de 19.0mm/h, se produce en el seno de un núcleo más frío, de  $-63^{\circ}\text{C}$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ , con una permanencia anterior a la lluvia de 0.5h (figura 6.95 i, circunferencia indicada por la flecha),

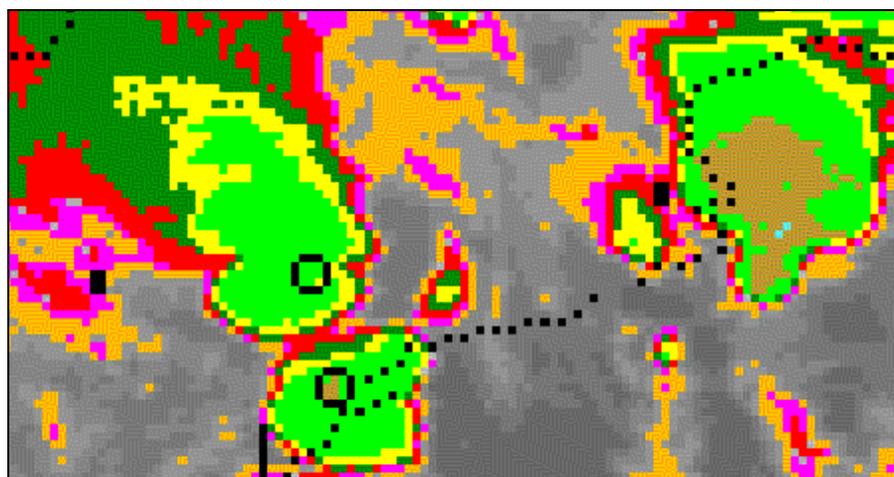
En la lluvia de Sant Pere Pescador, color azul en la tabla, lo único que se aprecia es el acercamiento del núcleo anterior sin variación apreciable de tamaño (figura 6.95 j, circunferencia indicada por la flecha).

**Tabla 6.35.-** Factores de imagen correspondientes al día 25.09.91 durante la mañana.

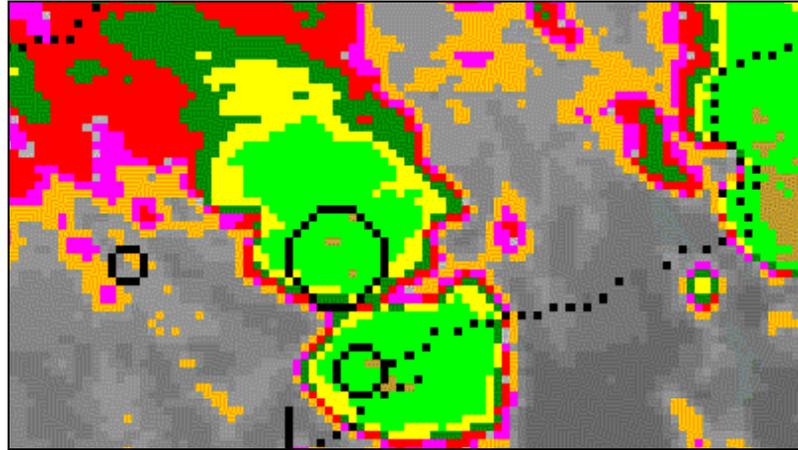
Factor 1: Incremento de diámetro aproximado en 0.5h		Factor 2: Entrada en la estratosfera	Factor 3: Mezcla de sistemas	Factor 4: Saturación		Factor 5: Humedad ambiental
(-59°C, -62°C)	20km	-	Sí No Sí	(-59°C, -62°C)	1h	HR= 75% PW=45mm
(-63°C, -70°C)	50km			(-63°C, -70°C)	0.5h 0.5h	

-: No disponible

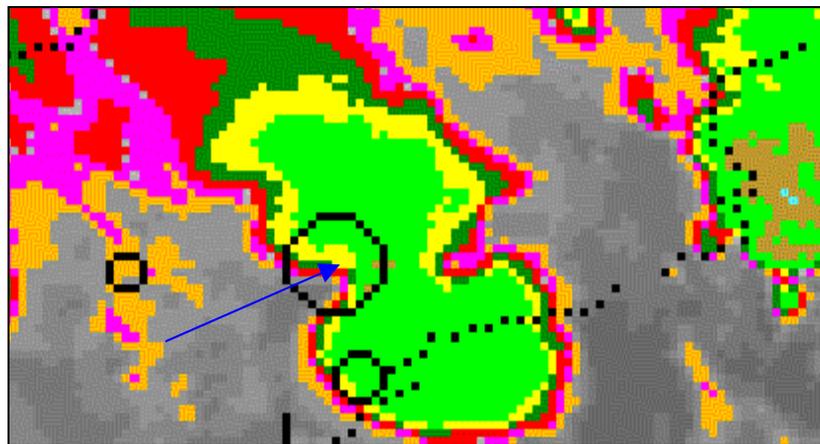
Por la tarde, se observan sistemas nubosos importantes desde las 19:00h hasta las 23:00h (figura 6.95). El único registro de lluvia disponible con intensidad superior a 10mm/h en este periodo es el correspondiente al observatorio de Raimat, donde cayeron 14.3mm desde las 20:00h hasta las 21:00h. La mezcla de sistemas que se produce entre las 20:30h y las 21:00h (figura 6.95c, zona indicada por la flecha) parece ser el factor principal que produce esta lluvia. En el momento de la mezcla se produce un aumento de la actividad convectiva en esa zona (la imagen del overshooting ayudaría probablemente a localizar con más exactitud la zona de actividad más intensa).



(a) 20:00h



(b) 20:30h



(c) 21:00h

**Figura 6.95.-** Sistemas nubosos del día 25.09.91 en Cataluña durante la tarde

En la tabla 6.36 se muestran los resultados para el seguimiento y localización de las lluvias intensas.

**Tabla 6.36.-** Factores de imagen correspondientes al día 25.09.91 durante la tarde.

<b>Factor 1: Incremento de diámetro aproximado en 0.5h</b>		<b>Factor 2: Entrada en la estratosfera</b>	<b>Factor 3: Mezcla de sistemas</b>	<b>Factor 4: Saturación</b>		<b>Factor 5: Humedad ambiental</b>
(-53°C, -58°C)	20km	-	Sí	(-53°C, -58°C)	1h	HR=80 PW=45

-: No disponible