Comunicación AII-11

CONVECCIÓN ESTIVAL EN CATALUÑA. UN ANÁLISIS MEDIANTE IMÁGENES IR DE METEOSAT

Ramón Pascual

CMT de Cataluña (INM)

RESUMEN

Durante la primavera y el verano es habitual la aparición de nubes y chubascos de origen convectivo asociados principalmente a las zonas montañosas. Como se muestra en esta comunicación, las imágenes IR de Meteosat son una buena herramienta para la detección y el seguimiento de las estructuras convectivas, tanto cualitativa como cuantitativamente: se definen ciclos de vida, tipos de estructuras, trayectorias recurrentes, etc. Para su mejor interpretación se utilizan datos de radiosondeos y de la red de detección de descargas eléctricas. Tras realizar el estudio sobre Cataluña queda patente el importante papel que juega el Pirineo en el desarrollo de la convección.

1. Introducción

Durante los meses de la campaña se han ido almacenando imágenes del Meteosat con el objeto de tratarlas y obtener de ellas una serie de parámetros relacionados con las nubes de origen convectivo y con las características particulares de la convección en Cataluña.

Generadas unas bases de datos a partir de estos parámetros y otros derivados, se ha procedido a caracterizar, desde el punto de vista de la teledetección satelitaria, la convección de este período estival. Además de esta caracterización básica se ha ensayado una posible clasificación de las células convectivas, relacionándola con el número de rayos diario.

A la hora de estimar las alturas de los topes nubosos se ha utilizado una base de datos de sondeos.

2. Bases de datos disponibles

2.1 Imágenes de satélite

Se dispone de imágenes IR de 57 días de los meses de junio, julio y agosto. Estos 57 días han pasado una nueva selección quedando reducido el número de días de los que se obtienen parámetros nubosos.

2.2 Datos de la red de descargas eléctricas

Se contabilizan y localizan los rayos en una ventana centrada en (41,5°, –2°) y de dimensiones 3° de latitud y 4° de longitud. La variable NRAYOS, número de rayos diario, es la única que se utiliza aquí para caracterizar la actividad eléctrica de un determinado día.

2.3 Datos de sondeos

Los sondeos más cercanos de que se dispone son el de Zaragoza y el de Palma de Mallorca. En el caso de que se disponga de los dos utilizamos el primero, por ser el más utilizado en el GPV, al igual que ocurre si se dispone del sondeo de las 00:00 Z y del de las 12:00 Z.

3. Análisis básico de parámetros nubosos

Teniendo en cuenta una cierta sobrevaloración de las TMINMIN se observa que las más frecuentes están comprendidas entre –42 °C y –50 °C y esta frecuencia disminuye rápidamente a medida que TMINMIN disminuye.

Las TMINMIN absolutas se dan en el mes de agosto y además el valor modal de agosto es el más bajo de los tres. La gráfica de junio es bimodal, con el valor más frecuente para temperaturas entre –36 °C y –40 °C, ligeramente superior al de TMINMIN comprendidas entre –44 °C y –48 °C, que es el intervalo modal de julio.

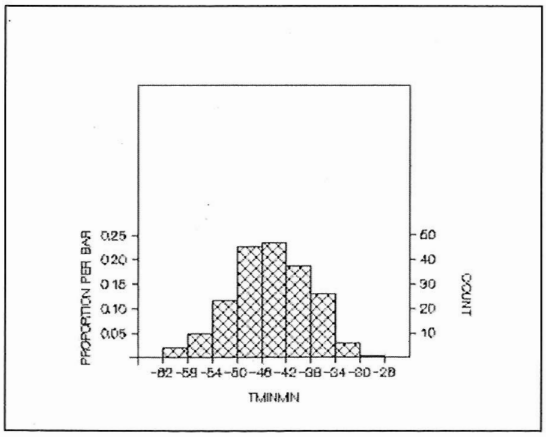

Fig. 1. Distribución de temperaturas mínimas de brillo

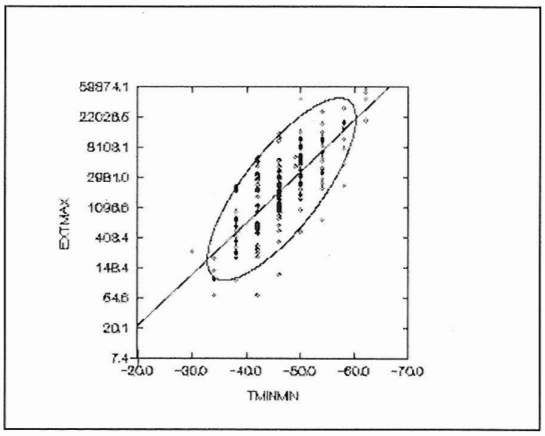

Fig. 2. EXTMAX frente a temperatura mínima de brillo

Si se representa EXTMAX en una escala logarítmica se ve que existe una relación aproximadamente lineal entre estas dos variables, de manera que a TMINMIN menores corresponden extensiones máximas mayores. En la gráfica está la elipse que contiene el 90% de los casos. Hay 9 casos con una EXTMAX menor de la esperada por su temperatura. Estos casos se podrían corresponder con situaciones con relativamente poco viento en altura con lo cual el yunque cirroso se extendería poco.

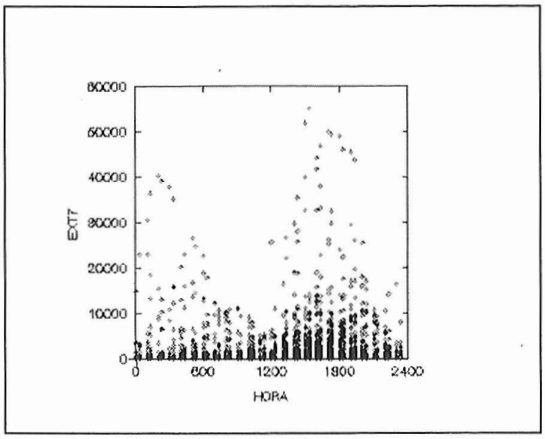

Fig. 3. EXT7 para todas las células y todas las horas

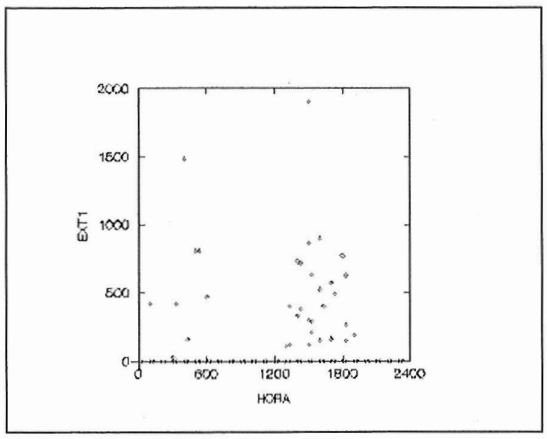

Fig. 4. EXT1 para todas las células y todas las horas

Estas gráficas no muestran a qué hora se produce la EXTMAX (1 ó 7) para cada célula sino, a una hora determinada, qué tamaño tienen las células presentes. Las células mayores se concentran en dos intervalos horarios bien diferenciados: Entre las 00:00 Z y las 07:00 Z y entre las 13:00 Z y las 21:00 Z aprox., para la primera gráfica, y entre las 00:00 Z y las 06:00 Z y entre las 13:00 Z y las 19:00 Z para la segunda.

Entre las 06:00 Z y las 12:00 Z nunca se encuentran células con EXT1 no nulo y EXT7 no supera nunca los 20 000 km^2. Entre las 07:00 Z y las 12:00 Z ninguna célula sobrepasa los 10 000 km^2 mientras que las únicas que superan los 40 000 km^2 se detectan entre las 14:30 Z y las 19:30 Z.

Las TMINMIN comprendidas entre –38 °C y –50 °C se producen a cualquier hora y es por debajo de –50 °C en donde se observa la distribución bimodal de las gráficas anteriores.

De los 31 casos con TMINMIN por debajo de –50 °C sólo 3 se encuentran entre las 06:00 Z y las 12:00 Z, y un único caso entre las 07:30 Z y las 12:00 Z, como hora más temprana.

Se detectan por primera vez células a todas las horas, pero el máximo aparece entre las 12:00 Z y las 18:00 Z, claramente asociado al ciclo diurno de la radiación solar.

Entre las 00:00 Z y las 06:00 Z, se registra el mínimo de primeras detecciones, de lo cual se puede deducir que la mayoría de las tormentas que se registran a estas horas se han originado en horas muy anteriores. El máximo entre 00:00 Z y 01:00 Z se corresponde con la primera detección para una fecha determinada de células originadas el día anterior.

El intervalo horario entre 06:00 Z y 12:00 Z, que correspondía a un mínimo tanto para EXT1 como para EXT7, se puede asociar ahora a una fase de inicio de convección que alcanza su apogeo en la fase siguiente.

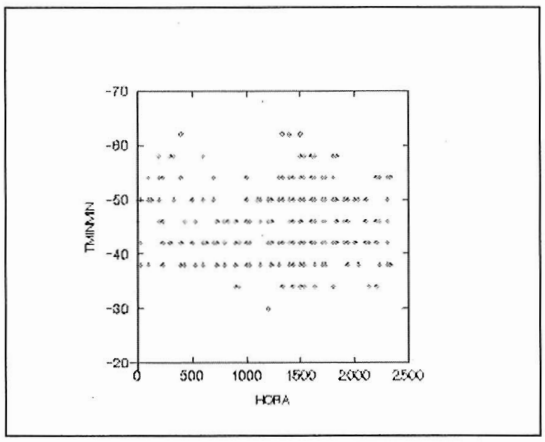

Fig. 5. Hora más temprana en la que se registra una TMINMIN

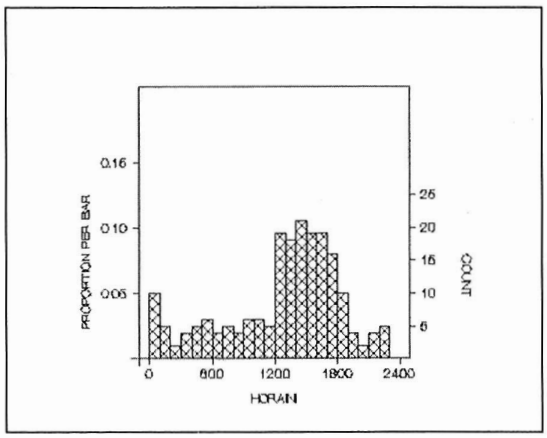

Fig. 6. Distribución de horas de primera detección

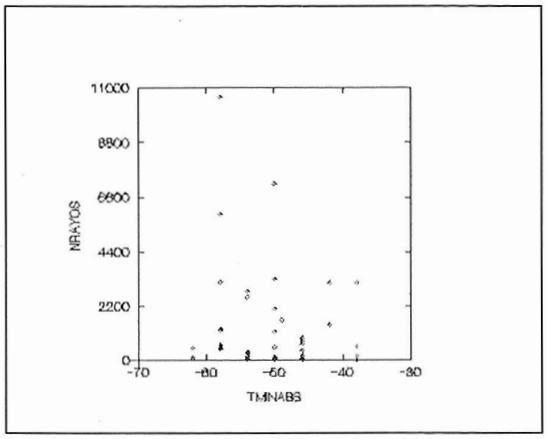

Fig. 7. Número de rayos diario frente a TMINABS

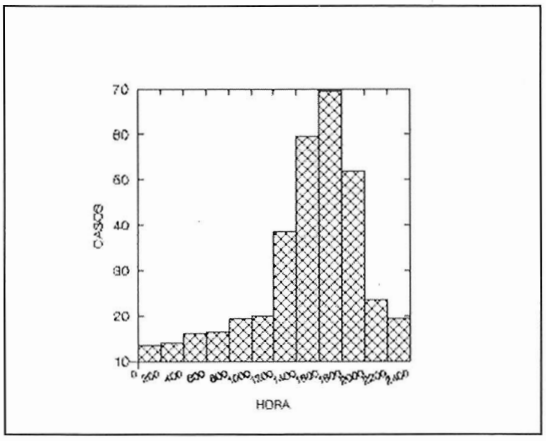

Fig. 8. Distribución temporal de las células

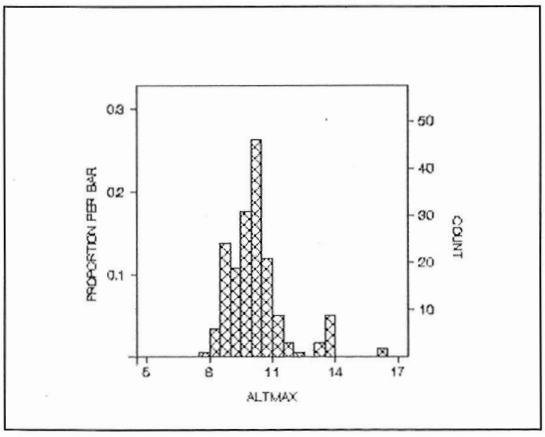

Fig. 9. Distribución de alturas de topes nubosos

Entre 12:00 Z y 18:00 Z hay un máximo destacado de primeras detecciones que llevaría a pensar que el máximo de EXT7 estaría desplazado hacia el siguiente intervalo, sin embargo, no ocurre exactamente así. Más allá de las 21:00 Z sólo hay 3 casos con EXT7 superior a 10 000 km^2. Este hecho daría cuenta bien de una evolución relativamente rápida más que una traslación relativamente lenta o bien de que las células surgidas en las últimas tres horas de este período alcanzan menor extensión (y menor profundidad), por ejemplo, por menor calentamiento solar.

Se han detectado rayos a partir de temperaturas iguales o inferiores a –38 °C. En general, y por razones que se comentarán en otro lugar, no parece que exista una buena correlación entre estas dos variables.

El mayor número de células se registra entre las 16:00 Z y las 18:00 Z para todos los meses.

Entre las 12:00 Z y las 20:00 Z se detectan la mayoría de las células, mostrando claramente que la convección está asociada principalmente al ciclo diurno. Agosto es el mes que aporta casos al intervalo 12:00 Z - 14:00 Z, señalando quizás un adelanto de la convección en este mes. Entre las 00:00 Z y las 07:00 Z las relativamente pocas células que se detectan son de gran tamaño, lo cual lleva a concluir que se trata de tormentas ya maduras surgidas en horas muy anteriores.

Los topes comprendidos entre los 8 km y 11 km de altura se alcanzan, durante los meses estudiados, a cualquier hora.

Los valores modales son:

- Junio: 8,5 km - 9 km (19%)
- Julio: 9,5 km - 10 km (17%)
- Agosto: 10 km - 10,5 km (37%)

Durante el mes de junio solamente en dos ocasiones se superan los 11 km de altura mientras que en julio ocurre en 8 células. En el mes de agosto es cuando se produce la convección más profunda sobrepasándose en 25 casos los 11 km de altura, y llegándose en dos casos hasta los 16 km.

4. Clasificación de células convectivas

Los parámetros que se tienen en cuenta para hacer esta clasificación son la TMINMIN observada durante el ciclo de vida y el valor máximo de las variables RAREAS y RAREAS2.

El código de identificación de cada tipo viene dado por tres caracteres.

El primero puede adaptar los siguientes valores:

1. TMINMIN inferior o igual a –46 °C. Tipo A.
2. TMINMIN inferior o igual a –50 °C. Tipo B.
3. TMINMIN inferior o igual a –54 °C. Tipo C.
4. TMINMIN inferior o igual a –58 °C. Tipo D.
5. TMINMIN superior a –46 °C. Tipo 0.

El segundo:

1. Si máx(AF2/AC2) < 1. Tipo 0.
2. Si máx(AF2/AC2) es igual o mayor que 1. Tipo 1.

El tercero:

1. Si máx(AF1/AC1) < 1. Tipo 0.
2. Si máx(AF1/AC1) es igual o mayor que 1. Tipo 1.

En la clasificación de 108 células se han obtenido los siguientes resultados:

casos de 000	7 casos
casos de A00	23 casos
casos de A10	2 casos
casos de B00	23 casos
casos de B10	22 casos
casos de B11	1 casos
casos de C10	7 casos
casos de C11	11 casos
casos de D11	12 casos

Los tipos C00, D00 y D10 no aparecen. En estos casos ocurre que dada una temperatura mínima (en el primer caso comprendida entre –54 °C y –58 °C y en el segundo caso inferior a –58 °C) es poco probable que, al menos durante una fase del ciclo de vida de la tormenta, el área bajo –46 °C o bajo –50 °C no sea significativa (RAREAS O RAREAS2 mayor que la unidad).

Los tipos A10 y B11 tienen también muy pocos casos. El caso A10 tiende casi siempre al B10, es decir, si el área bajo –46 °C se hace suficientemente grande acaban por aparecer temperaturas iguales o inferiores a –50 °C. El segundo tipo tiende al C11 por una razón parecida.

Los 30 casos de los tipos C10, C11 y D11 se distribuyen solamente en 16 días, lo cual muestra que es más fácil que aparezcan varias células potentes un mismo día a que surjan en días con relativamente pocos factores que favorezcan la convección. En junio no se da ningún caso de tipo D11 y el tipo más abundante es el A00. Julio tiene como valor modal B10 y tiene tres casos de D11. Agosto también tiene como valor modal B10 y hasta 9 casos de D11 mostrando la mayor profundidad de la convección en este mes.

4.1 Relación entre el número de rayos diario y los tipos de células

Se tienen 43 días con rayos de esta campaña. De los 15 días con mayor número de rayos en 11 se dan células de tipo D ó C, y para uno de ellos no se dispone de imágenes de satélite. En los tres restantes solamente llegan a aparecer células de tipo B10.

Hay que señalar que existen varios días con convección potente que dan un número relativamente pequeño de rayos. Además de la potencia de la convección entran en juego muchos otros factores como la extensión total cubierta por la convección, el número de células convectivas, la duración de la convección, el estado eléctrico de la atmósfera, etc.

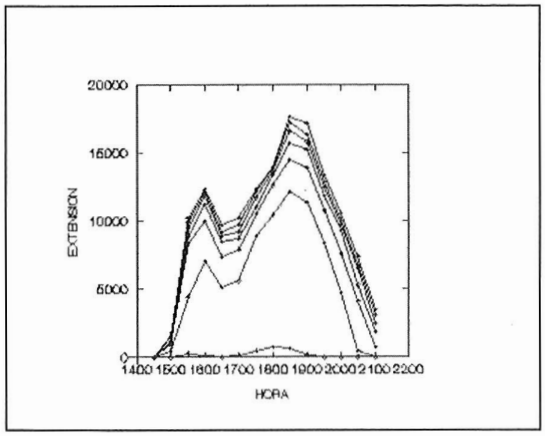

Fig. 10. Evolución temporal de las extensiones (ejemplo)

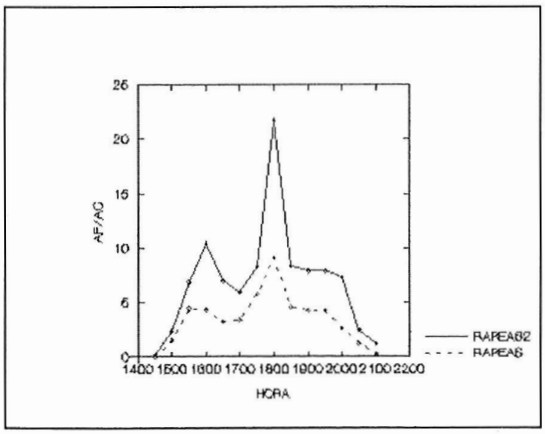

Fig. 11. Evolución temporal de RAREAS y RAREAS2 (ejemplo)

5. Ciclo de vida de células convectivas

Para caracterizar los ciclos de vida mediante las gráficas se puede utilizar la definición clásica para una célula ordinaria: una fase de crecimiento, una fase de madurez, y una fase de disipación, gobernada por corrientes descendentes y por la evaporación de las nubes residuales.

A partir del momento inicial (HORAINI), se produce un aumento rápido de todas las extensiones. El máximo para las temperaturas más bajas se produce antes que el máximo de extensión de la estructura debido a que el yunque, bajo la inversión, aún se extiende con los vientos, generalmente importantes, de su nivel.

En la mayoría de los casos el período de tiempo entre la HORAINI y el máximo de extensión de la isoterma más baja está comprendido entre 30 min y 1h (siempre para lo que se consideran células ordinarias).

Las gráficas 11 son más ilustrativas del ciclo de vida, ya que hacen una función de filtro separando células que inicialmente estaban contempladas como una sola.

El ciclo de vida de una célula se puede describir así a partir de estas gráficas:

- Fase de aumento de RAREAS y RAREAS2, cuando las corrientes ascendentes se extienden a un ritmo mayor que el conjunto de la célula.

- Una vez se ha alcanzado la madurez (máximo de RAREAS y RAREAS2), en la que el área fría puede llegar a ser significativa, estas dos variables comienzan a disminuir rápidamente por el efecto combinado de la disminución de las corrientes ascendentes y la extensión del yunque.

- Finalmente el yunque también se evapora, lo que puede hacer que se aminore algo el ritmo de disminución de RAREAS y RAREAS2.

El efecto de fusión completa de células, es decir, de sus zonas más activas, lleva generalmente a la reactivación de una de las dos; sin embargo, la mayoría de las veces lo que se produce es una fusión de los to-

pes cirrosos sin más consecuencia que el aumento de las extensiones máximas y el enmascaramiento de los desarrollos inferiores.

Merecen mencionarse aparte las superestructuras, con dimensiones máximas muy grandes, mayores que 10 000 km^2, con un ciclo de vida muy largo y atípico, en el cual la máxima potencia de la estructura (EXTMAX de la isoterma más fría) se alcanza después de varias horas. Es en el seno de estas superestructuras donde se alcanzan las TMINMIN más bajas.

Excepto en algún caso concreto, como sistemas convectivos de mesoescala, estas células responden más a la metodología utilizada que a una realidad meteorológica. Es decir, están compuestas por varios núcleos convectivos independientes cuyo ciclo de vida es similar al definido anteriormente. Sin embargo, al menos desde el punto de vista del canal IR del satélite METEOSAT, se puede afirmar que guardan una cierta unidad estructural.

Algunas de estas superestructuras surgen en el Pirineo en situaciones muy favorables a la convección orográfica llegando a configurarse áreas muy extensas con temperaturas de brillo muy bajas. En otros casos se trata realmente de sistemas convectivos surgidos a partir de un único núcleo inicial.

Ambos tipos de superestructuras se pueden llegar a distinguir con ayuda de los datos de rayos. En el primer caso se producirán descargas en diferentes centros simultáneamente llegando a la larga a solaparse éstos. En el segundo caso se trata más bien de un único centro aunque extenso.

6. Movimiento de tormentas

Se dispone de las coordenadas del centro del cursor que engloba a cada célula, el cual no coincide en muchos casos con el centro geométrico de la célula convectiva ni con la posición del núcleo más frío de la célula. Sin embargo, a grandes rasgos y tras una cuidadosa interpretación, el movimiento de estos centros da una visión del movimiento de la estructura convectiva. Para corregir este mapa de trayectorias se han utilizado los datos de la red de detección de descargas eléctricas.

Otra fuente de error en la determinación del movimiento de las células convectivas es el rápido desplazamiento de las cimas cirrosas de los cumulonimbos con el viento en niveles altos, desviando sistemáticamente los centros en la dirección de estos vientos. También hay que tener en cuenta el error de paralaje.

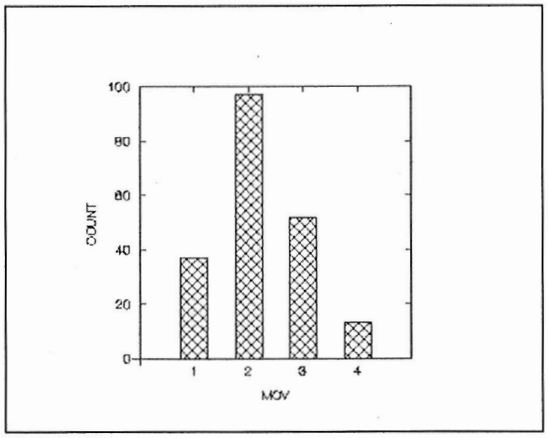

Fig. 12. Distribución de movilidades

Debido a estas impresiciones en la determinación de las trayectorias se ha dado más credibilidad a la tabla de las direcciones preferentes de desplazamiento que a la trayectoria propiamente dicha.

También se ha calculado un Parámetro de Movilidad (VDES) de las estructuras convectivas, a partir de la duración de su ciclo de vida y de la distancia aproximada recorrida por la célula durante este período de tiempo. Se han agrupado las estructuras según su grado de movilidad.

Se ha dividido el total de células convectivas en cuatro clases según el valor de su parámetro de movilidad. Van desde las células prácticamente estacionarias hasta las que tienen un desplazamiento muy rápido.

Concretamente, las clases definidas, después de hacer varias pruebas de agrupamiento, son:

- clase 1: VDES entre 0 y 1,9. Células cuasiestacionarias. (MOV = 1)

- clase 2: VDES entre 2 y 4,9. Células poco móviles. (MOV = 2)
- clase 3: VDES entre 5 y 8,9. Células móviles. (MOV = 3)
- clase 4: VDES mayor o igual 9. Células de gran movilidad. (MOV = 4)

Una vez se ha calculado el coeficiente VDES para cada célula y se ha estudiado cada mapa de trayectorias por separado se ha visto que de los doce casos del grupo 4, 6 tiene una duración de solamente 30 min lo cual dispara el valor del coeficiente a pesar de que las distancias recorridas también son muy cortas. En estos casos es erróneo considerar que se trata de células de desplazamiento muy rápido. Cuando se intenta definir el grado de movilidad de una célula se ha de tener en cuenta tanto el coeficiente VDES como la distancia recorrida. En la gran mayoría de los días hay tormentas que se desplazan hacia el primer o segundo cuadrantes, lo cual no sorprende en absoluto dada la situación en latitudes medias de Cataluña.

6.1 Mapas de trayectorias

Después del análisis de cada fecha se han extraído algunas conclusiones:

- Se puede distinguir entre células cuyo lugar de origen y posterior desplazamiento está directamente ligado a una estructura sinóptica o mesoescalar en altura y células desarrolladas en un marco indefinido y cuyo origen y movimiento está determinado por la orografía y los flujos en niveles bajos.

- Así como las células «conducidas desde arriba» tienen unas trayectorias más o menos recurrentes en función de la recurrencia de la situación sinóptica, el otro tipo tendrá unas trayectorias determinadas por la orientación de los valles, cadenas montañosas, distribución de masas de agua y de vegetación, etc.

- El movimiento aparente de las células vistas desde el satélite está muy influido por el viento a 300 hPa y niveles superiores, por el arrastre del yunque corriente abajo. Este efecto se puede corregir delimitando la zona donde se han producido descargas eléctricas asociadas a dicha célula.

- En la ventana utilizada se han llegado a dar simultáneamente 2 zonas con características del flujo en niveles medios y altos bien diferenciadas. Por ejemplo, flujo del SW fuerte sobre el mar y calmas sobre el extremo noroccidental, lo que implica dos tipos diferenciados de tormentas: de gran movilidad y cuasiestacionarias, respectivamente.

- Mar adentro, donde no existen factores orográficos que puedan focalizar o dirigir la convección, las trayectorias son generalmente más regulares y, por tanto, mejor predecibles, sobre todo si existe un marco sinóptico bien definido.

Mediante el análisis realizado se ha podido asignar la convección a rasgos geográficos generales: Pirineos, Serralada Prelitoral, litoral, etc.

Como ejemplo parece insinuarse un camino preferente de traslación de tormentas: avance de tormentas originadas en el Pirineo oriental *(Garrotxa, Ripollès, Cerdanya)* hacia el sur y sureste por el Prepirineo y la Cordillera Transversal, afectando a las cuencas del Llobregat y del Ter, y llegando en algunas ocasiones hasta la Costa Brava.

7. Conclusiones

La convección se muestra especialmente profunda en el mes de agosto y a lo largo del día se distribuye muy claramente en dos intervalos: por la noche y horas de la madrugada y sobre todo después del mediodía hasta anochecer. En el primer caso, la convección está asociada a estructuras en fase avanzada nacidas el día anterior.

Existe una buena correlación entre la altura del tope nuboso (o su TMINMIN) y la extensión del yunque, debido a que a mayor altura sobre el nivel de los cirros más se intercepta el flujo y mayor divergencia al nivel del yunque. Sin embargo, es difícil relacionar el número de rayos diario con la información extraida de las imágenes IR directamente. Las estructuras más potentes (potencia que viene definida a partir de las áreas encerradas bajo determinadas isotermas) aparecen en días con un alto número de rayos diario. Determinando el número de descargas asociado a una estructura en concreto se podría precisar esta correlación.

En los Pirineos aparecen a menudo superestructuras que, aun siendo claramente resultado de la fusión de muchas células individuales, parecen tener una evolución de conjunto. En un estudio más avanzado se debería determinar cuáles son las interrelaciones entre las células surgidas en los diferentes macizos.

Una trayectoria es el resultado final de componer el movimiento asociado a las estructuras sinópticas en niveles medios y altos y los flujos de calor y humedad de niveles bajos, regidos estos últimos por el relieve. Debido a esto, las trayectorias sobre el mar aparecen casi rectilíneas. En situaciones sinópticas poco definidas las tormentas tienden a desplazarse siguiendo formas del relieve: valles, cordales, hondonadas, etc. La llegada a la Costa Brava de algunas tormentas se podría explicar por este tipo de trayectorias.

Abreviaturas, siglas o unidades

TMINMIN: Temperatura de brillo mínima alcanzada por una estructura en su ciclo de vida.

TMINABS: Temperatura de brillo mínima absoluta diaria.

EXTENSIÓN: Área, para una determinada célula, cuya temperatura de brillo a una hora dada es igual o inferior a –34 °C (EXT7), –38 °C (EXT6), –42 °C (EXT5), –46 °C (EXT4), –50 °C (EXT3), –54 °C (EXT2), –58 °C (EXT1).

ALTMAX: Altura máxima alcanzada por una estructura en su ciclo de vida.

EXTMAX: Extensión máxima alcanzada durante el ciclo de vida de la estructura por el área con temperaturas inferiores a –34 °C.

HORAINI: Hora en que aparece individualizada por primera vez, para un día fijado, una célula convectiva, bien por nacimiento en el campo de la imagen bien por penetración desde el exterior.

AF: Área, para una determinada célula, cuya temperatura de brillo a una determinada hora (TMIN) es inferior a –46 °C (AF2) o a –50 °C (AF1).

AC: Área, para una determinada célula, cuya temperatura de brillo está comprendida entre –34 °C y –46 °C (AC2) o entre –34 °C y –50 °C (AC1).

RAREAS: AF1/AC1; RAREAS2: AF2/AC2.

Se entiende por **ciclo de vida** el proceso que sigue la célula convectiva desde la HORAINI hasta la HORAFIN, u hora última en que se considera que aparece la célula perfectamente individualizada en el campo de la imagen.

Referencias

Heymsfield, Gerald M.; Roy H. Blackmer Jr., 1988. Satellite-Observed Characteristics of Midwest Severe Thunderstorm Anvils. Monthly Weather Review.

Martín, F.; L. de Esteban; R. Riosalido, 1993. Caracterización de la convección estival en la zona centro. Campaña 1992. Nota técnica núm. 13 STAP. INM.

Riosalido, R.; A. Rivera; F. Martín, 1989. Desarrollo de un sistema convectivo de mesoescala durante la campaña PREVIMET Mediterráneo-87. Primer Simposio Nacional de Predictores del INM.