

ESTUDIO DE DOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EN EL ÁREA MEDITERRÁNEA ESPAÑOLA

*Francisco Martín León, Mercedes Canalejo Mendaza,
Lucía de Esteban Jódar*

RESUMEN

Los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) son responsables de episodios de precipitaciones fuertes y, a veces, fenómenos severos. Desde 1989, todo SCM que se desarrolla en España y el Mediterráneo Occidental se estudia sistemáticamente en el Instituto Nacional de Meteorología (STAP/INM) utilizando las imágenes IR del Meteosat. A partir del otoño de 1992 estos estudios se han completado con datos de rayos (descargas Nube-Tierra, NT). Los días 8 y 9 de octubre de 1992 se desarrollaron dos SCM sobre el Mediterráneo Occidental. En este trabajo se estudian los entornos sinóptico y mesoescalar que permitieron la aparición de estos SCM y sus ciclos de vida a través de datos de satélite y de descargas. Se observa una buena correlación entre ambos tipos de datos. Esto puede servir de base para la predicción a corto y muy corto plazo de este tipo de fenómenos.

Palabras clave: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Mesoescala. Meteosat. Rayos. Mediterráneo Occidental.

ABSTRACT

Mesoscale Convective Systems (MCS) are responsible for heavy precipitation events and sometimes severe weather. Since 1989, every MCS developed in Spain and the Western Mediterranean area is systematically studied at the Spanish Meteorological Institute (INM/STAP) using Meteosat infrared imagery. From the fall of 1992 on, these studies have been completed with Cloud-to-Ground (CG) lightning data. Two MCS developed by 8-9 October 1992 over the Western Mediterranean sea. In this work we study the synoptic and mesoscale frameworks leading to MCS development and their life cycles through data from Meteosat IR imagery and CG lightning data. A close agreement between these two datasets is observed. This could provide some basis for nowcasting and very-short range forecasting about the evolution of this kind of systems.

Key words: Mesoscale Convective Systems. Mesoscale. Meteosat. Lightning. Western Mediterranean.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el otoño, en el área mediterránea española, se producen con frecuencia fuertes precipitaciones de tipo convectivo que muchas veces originan importantes desastres. Entre los factores que tradicionalmente se han señalado como favorables para la ocurrencia de estos fenómenos destacan, en primer lugar, el mar Mediterráneo, fuente de calor y humedad que genera sobre él una masa de aire cálido y húmedo potencialmente inestable. En segundo lugar, elementos de forzamiento sinóptico, como una depresión aislada en niveles altos o el paso de una onda o vaguada, que contribuirían a liberar esa inestabilidad. En tercer lugar, la influencia de factores orográficos en la configuración de los sistemas de presión.

En los últimos años, a partir del estudio de las imágenes de satélite, se ha comprobado que estas precipitaciones a menudo están asociadas a estructuras nubosas convectivas aisladas, compactas y de gran extensión, uno o dos órdenes de magnitud mayores que las tormentas. Gran parte de estas estructuras, conocidas como Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) son similares a las descritas como Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Maddox, 80), aunque, en general, de menor entidad. Maddox propuso unos umbrales para caracterizar los CCM basados en su duración, apariencia y tamaño a partir de la observación de las imágenes IR del GOES.

Los SCM, como los CCM, tienen un grado de organización y una estructura interna dentro de la mesoescala que les hace evolucionar con su propio ciclo de vida y pueden interactuar con el entorno sinóptico, llegando incluso a modificarlo (Fritsch, 81).

Para la predicción de estos fenómenos, los modelos numéricos proporcionan la evolución a escala sinóptica a corto plazo y resultan útiles para delimitar zonas donde es posible la formación de estos sistemas. Sin embargo es fundamental determinar qué elementos provocan que, en un momento dado, se produzca el salto cualitativo de pasar de una convección generalizada a otra focalizada y organizada. Debido a la inadecuada resolución y parametrización, los modelos operativos no permiten en la actualidad predecir estos fenómenos por lo que, a muy corto plazo, sólo la vigilancia y el uso de modelos conceptuales del ciclo de vida de estos sistemas pueden ayudar al predictor.

Para elaborar esos modelos conceptuales, que sirvan de base para el desarrollo de técnicas de predicción a corto y muy corto plazo, se debe profundizar en el conocimiento de estas estructuras. Durante los últimos cinco años, en el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP) del INM, se ha recopilado información acerca de todo SCM surgido en el área mediterránea en los meses de otoño (Campañas Previmet 89-93).

Inicialmente el estudio se ha realizado casi exclusivamente en base a un tratamiento cuantitativo de las imágenes IR de METEOSAT. Es evidente que la información que se puede extraer de las imágenes de satélite, aún siendo importante, refleja sólo aspectos

parciales de los SCM y es indispensable conocer otros aspectos, sobre todo los relacionados con su estructura interna.

A principios de 1992 entró en funcionamiento en el INM la Red de Detección de Rayos o Descargas Nube-Tierra que proporciona datos de gran importancia de cara a la descripción del ciclo de vida de los SCM.

Los días 8 y 9 de octubre de 1992 se desarrollaron dos SCM en el Mediterráneo español. Este caso fue el primero para el que, además de realizar el estudio sistemático de datos obtenidos de satélite, se analizaron los datos obtenidos de la red de descargas y, partiendo de éstos, se caracterizó el ciclo de vida de estos SCM desde el punto de vista eléctrico y se comparó con el obtenido desde el punto de vista de satélite.

En este estudio se van a tratar de determinar las condiciones sinópticas y mesoescalares que favorecieron la aparición y posterior evolución de los SCM. Posteriormente se carac-

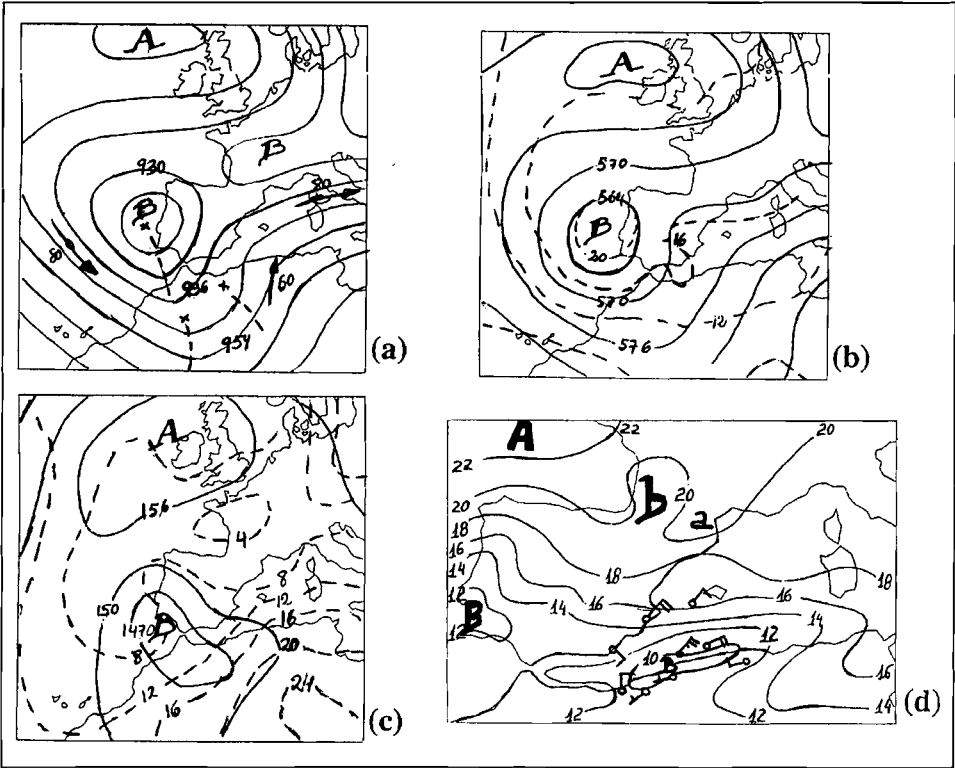


FIGURA 1. Análisis manual del día 8/Oct/92 a las 00 z. Geopotencial en línea continua, isoterma en discontinua. Vientos en superficie: barba larga 10 Kt, corta 5 Kt.

- a) Geopotencial, chorros y vaguadas en 300 Hpa.
- b) Geopotencial e isoterma en 500 Hpa.
- c) Geopotencial e isoterma en 850 Hpa.
- d) Superficie: presión y vientos significativos en Kt (nudos).

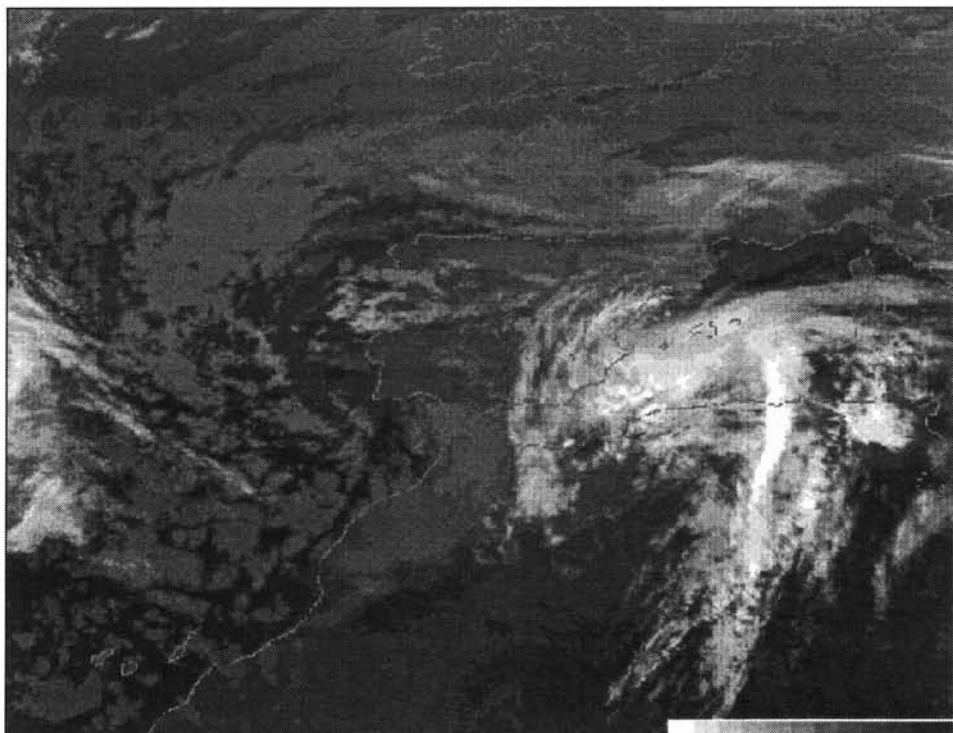


FIGURA 1.e) Imagen IR de Meteosat del día 8/Oct/92 a las 01:30 z.

terizan las fases de sus ciclos de vida según los datos de satélite y de la red de descargas que se comparan más adelante.

2. DESCRIPCIÓN DEL EPISODIO

2.1 Evolución sinóptica y mesoescalar

El marco sinóptico en el que se desarrollaron estos SCM se caracteriza por la presencia en altura (Fig 1.a) de una Baja fría centrada al NW de Lisboa rodeada al W por un máximo de viento de 80 KT del NW. Asociadas a ella, y de acuerdo con la imagen de satélite de la 01:30Z, Fig. 1.e (primera imagen disponible debido al eclipse de otoño), se distinguen una vaguada sobre el Golfo de Cádiz y dos ondas secundarias en el norte de África. La más oriental parece soportar la masa nubosa que afecta al área mediterránea y presenta una configuración que recuerda a la de «*oclusión-frente frío-frente cálido*» con forma de coma y una zona de giro anticiclónico. Esta perturbación es de tipo subtropical y fue captada por la Baja principal, hasta situarla en su borde oriental. Además la perturbación principal

posee su propia banda baroclina, que orientada de norte a sur esta afectando a Andalucía oriental y Comunidad de Valencia.

La estructura térmica en 500 Hpa (Fig. 1.b) muestra una vaguada asociada a la onda secundaria así como un núcleo frío asociado a la Baja. Respecto a la humedad, la Península, en general, se encuentra bastante seca salvo la costa S de Levante y Baleares. En 850 Hpa (Fig. 1.c) se aprecia baroclinidad en el Mediterráneo y queda patente la advección cálida sobre el SE español. En superficie se observa (Fig. 1.d) un centro de bajas presiones sobre la costa de Argelia y vientos que generan convergencia sobre la zona marítima al E Alborán. Por otro lado la zona marítima comprendida entre la costa de Valencia, Alicante y Murcia, N de África y S de Baleares presenta máximos de temperatura y humedad.

En horas posteriores las imágenes de satélite muestran el inicio de los SCM: el primero (SCM2), a las 03Z, en la zona de giro anticiclónico de la masa nubosa asociada a la onda secundaria que ha evolucionado hasta situarse en la vertical de la Baja en superficie, bastante estacionaria. Se aprecia actividad convectiva, no profunda y dispersa que, en principio (01:30Z), no tiene características de SCM pero posteriormente se producirá el crecimiento de un núcleo dominante que dará lugar al SCM2. En él, dominan los toques con temperaturas del orden de -48°C y algún punto aislado a temperatura menor. El núcleo se desplaza lentamente desde el Este de Palos hasta La Nao y, a las 04:30Z, experimenta un crecimiento rápido apareciendo un núcleo con -56°C , diferenciado y suficientemente extenso, que ya le confiere estructura de SCM.

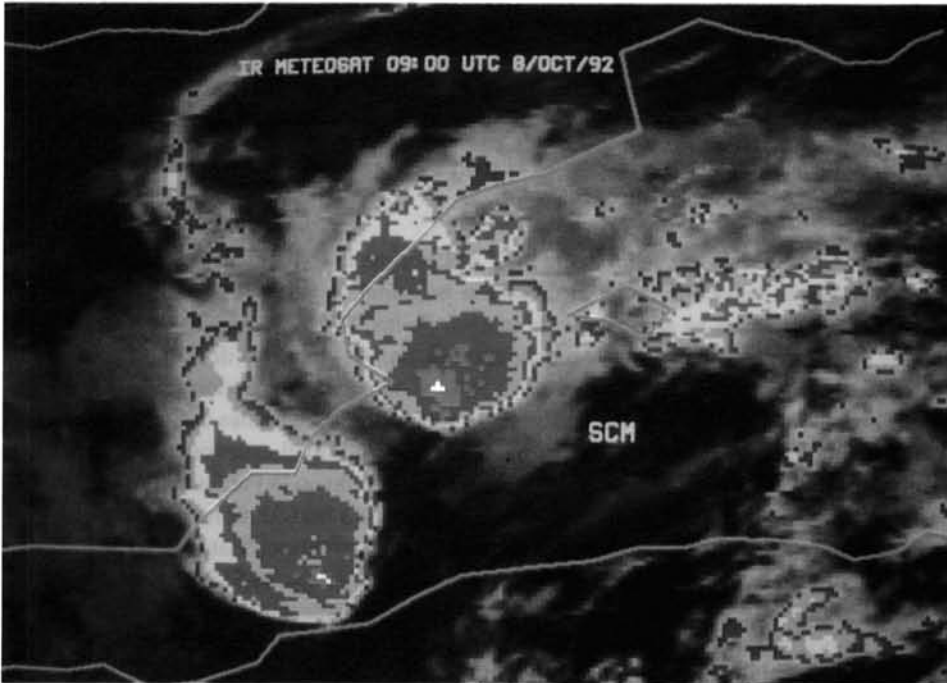
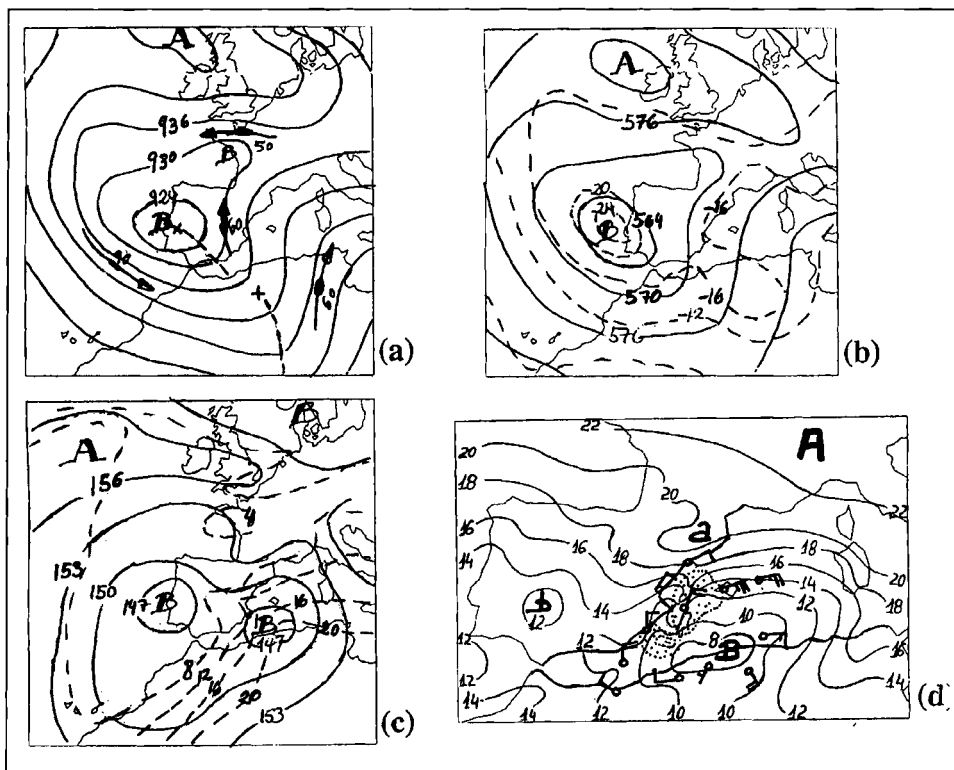


FIGURA 2. Imagen realizada de IR de las 09 z. Código de colores: Desde -32°C en intervalos de 4°C , con cambio de color por cada salto.



térmica en el Mediterráneo. La configuración térmica en 850 Hpa, que muestra una dorsal sobre la zona, unida a los vientos de componente E, aseguran el flujo marítimo cálido que realimenta a los SCM. En superficie se aprecian variaciones: la baja de Argel comienza a desplazarse hacia el norte, lo que origina una reestructuración de los vientos en su flanco N y NW: se intensifican los vientos del NE en Baleares (donde se alcanzan los 25 KT) y se acentúa la convergencia sobre la zona de los SCM.

Ambos sistemas convectivos tienden a desplazarse hacia las nuevas zonas de alimentación de forma que el SCM situado frente a las costas almerienses y murcianas tiende a desplazarse hacia el NE a la vez que el otro lo hace desplazándose hacia el SW aumentando de tamaño y actividad. La región hacia la que se desplazan los SCM coincide también con la asociada a las máximas caídas de presión, hecho que se repite a lo largo de todo el ciclo de vida de estas estructuras.

La convergencia en niveles bajos ha provocado que los dos SCM confluyan: en las imágenes se observa que el contacto entre los dos sistemas va en aumento y, finalmente, se fusionan entre las 13Z y 14Z, de forma que el situado más hacia el oeste, SCM1, pierde la alimentación a favor del situado al sur de Ibiza, SCM2. Hasta las 13:30Z los núcleos se mantienen bien diferenciados, aunque el del SCM1 cada vez menos activo, y finalmente a las 14Z es completamente absorbido por el SCM2, lo que provoca una reactivación del sistema resultante. En total la duración del SCM1 es de 10:30 horas. En la figura 4 se muestra el SCM a las 14:30Z, justo después de producirse la fusión de los dos SCM previos. A partir de la fusión la Baja en altura comienza a desplazarse hacia el norte a la vez que el sistema convectivo, que permanecía cuasiestacionario frente a las costas de Valencia y sur de Ibiza, se empieza a trasladar hacia el NE como consecuencia de que la baja en superficie (1.008 mb) se desplaza hacia el norte (Fig. 5), llegando a situar su centro entre Mallorca y Menorca a las 21Z del día 8. Durante este período de tiempo, el sistema convectivo sigue cercano a la zona de máxima convergencia en niveles bajos y se desplaza hacia la zona donde la caída de presión es mayor.

El sistema presenta máxima actividad a las 16:30Z con topes a $T \leq -64^{\circ}\text{C}$. A las 18:30Z empiezan a formarse una hendidura y un gancho en el borde sur del sistema (costa NW de Mallorca), lo que concuerda con el modelo de evolución observado en los SCM (Riosalido, 1991, Martín F. et al. 1992). A esta hora se observa la reactivación de una célula en el borde oriental del sistema que se separa del grupo principal y penetra en Menorca, donde posteriormente originará un tornado. Además en esta imagen, y en las sucesivas, se aprecia cómo la nubosidad estratiforme ligada al SCM2 (que cubre un área grande sobre el interior peninsular) adquiere un giro ciclónico. Esto se puede apreciar en la imagen de las 19:30Z (Fig. 6). En las horas siguientes continúa prosperando la hendidura y el núcleo frío ocupa una amplia zona con dos centros activos al N y NE de Mallorca que a las 21Z decaen a la vez que empieza a desarrollarse un apéndice en el borde S del SCM.

A partir de las 21:30z el sistema en conjunto empieza a perder actividad paulatinamente, aunque sus distintos núcleos presentan actividad pulsante con topes de hasta $T \leq -60^{\circ}\text{C}$. El SCM2 en conjunto parece presentar una trayectoria hacia el NW y la nubosidad afecta al N de Cataluña y se extiende sobre el Pirineo y Valle del Ebro hasta el País Vasco y Golfo de Vizcaya (sin embargo esta nubosidad nada tiene que ver con la asociada al sistema convectivo por su aspecto y estructura).

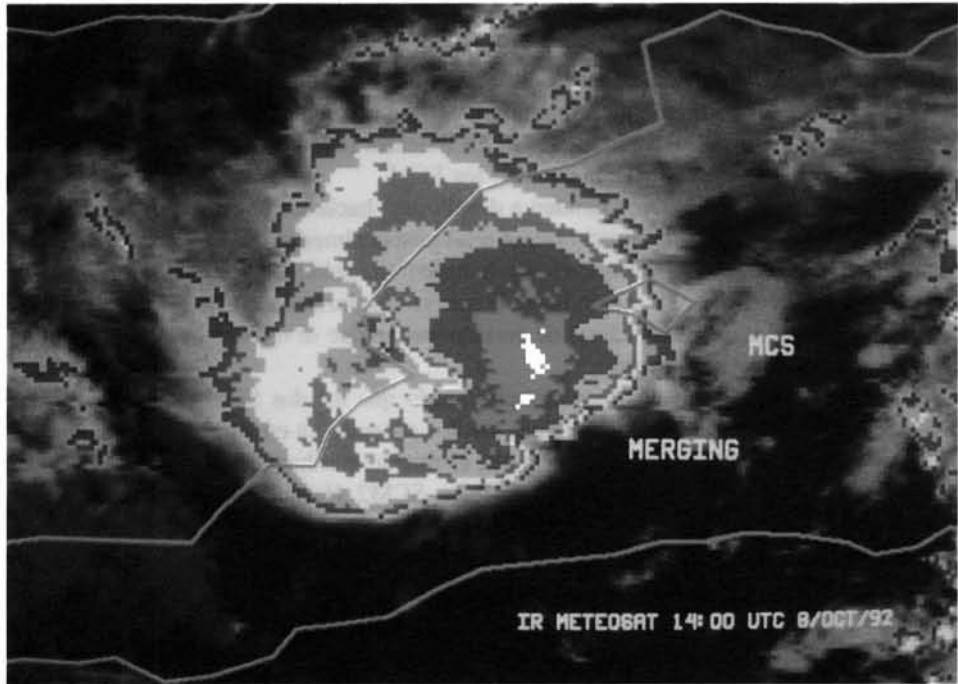


FIGURA 4. Imagen IR de Meteosat de las 14 z. Fusión de los SCM.

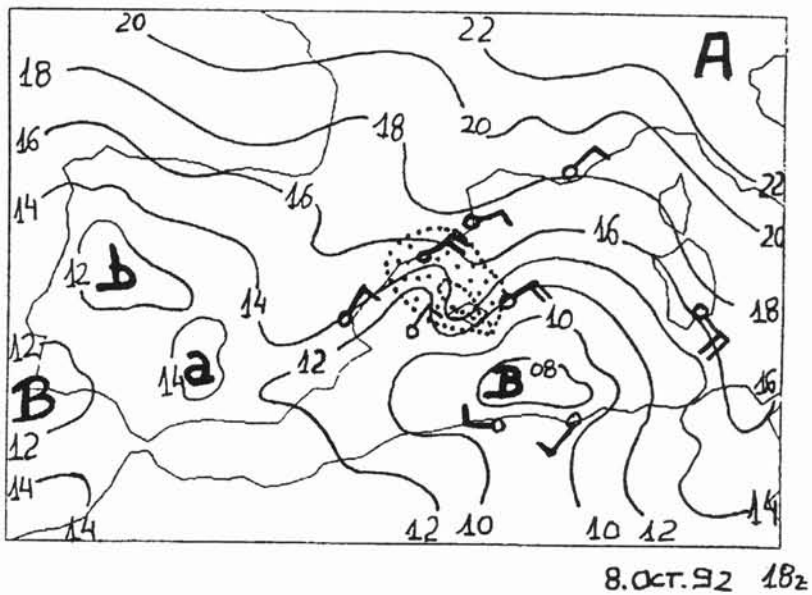


FIGURA 5. Análisis de superficie de las 18 z. Presión, vientos y posición del SCM (punteado).

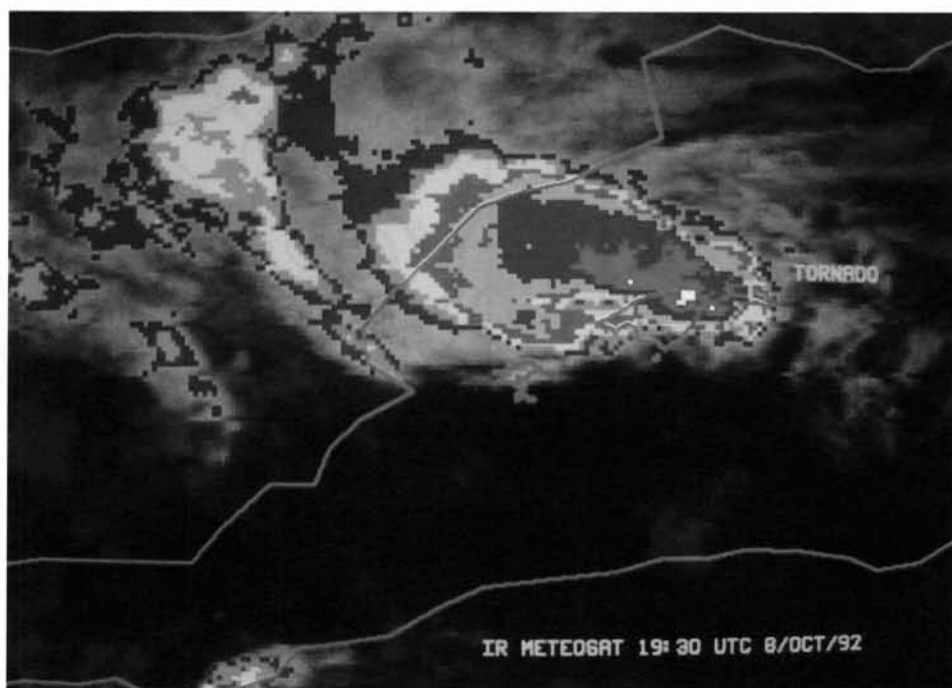


FIGURA 6. Imagen IR de las 19:30 z.

A las 00Z del día 9 (Fig. 7) el SCM se ha desplazado hacia las costas catalanas. Según el análisis de 300 Hpa y la imagen de WV, el centro de la Baja se ha movido hacia el E y asociada a ésta, se ven las dos vaguadas que han evolucionado hacia el NE desde la posición que tenían 12 horas antes. En 500 Hpa, la estructura del geopotencial es muy similar de modo que sobre la zona de interés hay flujo del SSW. En cuanto a la estructura térmica, el núcleo frío llega a dar los -20° y se mantiene la vaguada que afecta a la mitad oriental de la Península, más concretamente a la zona afectada por el sistema convectivo. Por otra parte del análisis de los datos se detecta una banda de humedad que abarca el cuadrante NE de la Península y se extiende por el Mediterráneo sobre Córcega y Cerdeña y hacia el S, lo que concuerda con lo que se aprecia en la imagen de satélite. En 850 Hpa la dorsal térmica tiene ahora su eje orientado casi de N a S. La dirección del flujo en este nivel sobre el sistema convectivo ha cambiado respecto a la que tenía 12 horas antes, siendo ahora más del SE.

En superficie las bajas presiones presentan valores de 1.010 mb. Las máximas temperaturas y mínimas depresiones del punto de rocío que han acompañado al sistema convectivo durante toda su existencia siguen estando presentes. Los vientos son de componente NE, de hasta 20 KT mientras que ya en Baleares y Valencia han cambiado de dirección (componente W) y han bajado mucho en intensidad (sólo Menorca marca 10 KT). Las presiones comienzan a subir sobre la zona que han dejado atrás el sistema convectivo y las máximas caídas de presión las registran, a esta hora, los observatorios de la costa catalana

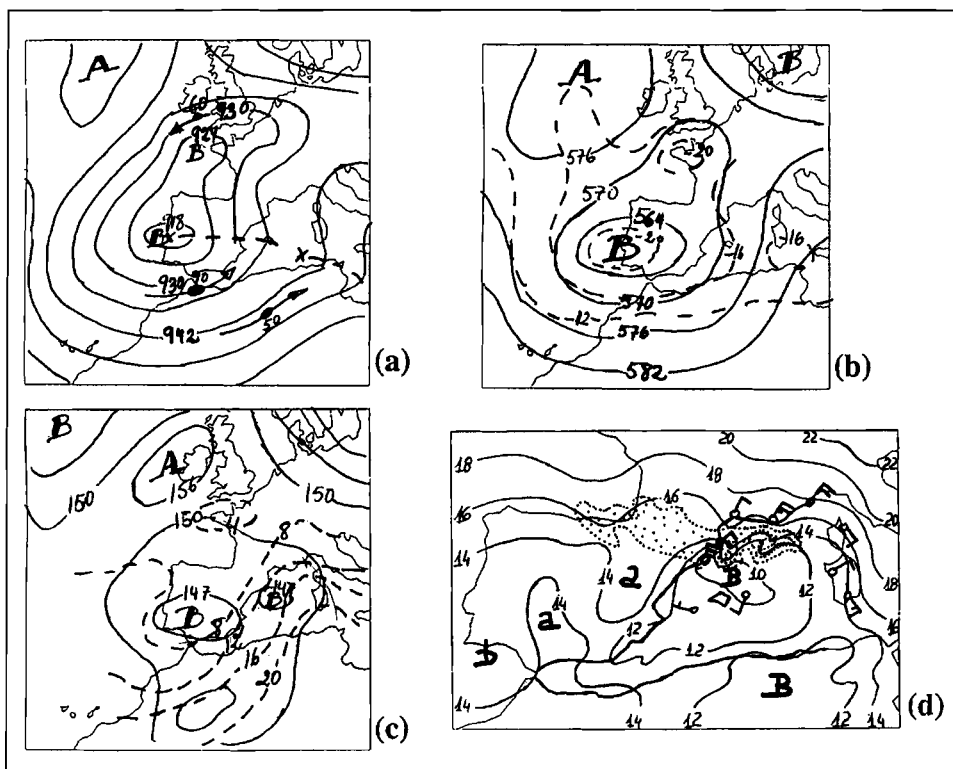


FIGURA 7. Idem que la Fig. 1 pero a las 00z del día 9/Oct/92.

y SE francés; se sigue observando la tendencia del SCM a propagarse hacia las zonas de mayor caída de presión y a situarse en zonas con convergencia.

En el período siguiente el SCM se debilita: A la 01:30Z presenta una disminución brusca de la actividad y vuelve a apreciarse la presencia de una nueva hendidura que parece seguir en las imágenes posteriores pero sin una estructura tan clara como la que tenía la tarde anterior. A las 02Z el sistema vuelve a sufrir una ligera reactivación y a partir de esa hora el sistema sigue evolucionando hacia el NW con cierta tendencia a girar ciclónicamente y su núcleo frío queda bastante estacionario en el Golfo de León. A las 03Z el núcleo frío se parte en dos: la parte más activa quedará estacionaria y la otra (más occidental) se moverá hacia el W sobre el Pirineo a la vez que pierde actividad rápidamente, de modo que a las 05Z se considera que ésta última deja de formar parte del SCM2. Los máximos de temperatura y temperatura del punto de rocío quedan ahora a la derecha de la zona del sistema convectivo, donde, por otro lado, los vientos son de componente E y con valores de hasta 20 KT (Fig. 8). La tendencia negativa de la presión afecta ahora más a la parte del SE de Francia, con los máximos valores en Reus y Perpignán. Y es hacia esa zona hacia donde se propaga, ya entrando en su fase de disipación entre las 06Z y 09Z una vez en territorio francés. Según las imágenes de satélite la actividad convectiva desaparece

3. EVOLUCIÓN DE LOS SCM

3.1 Ciclo de vida a partir de las imágenes de satélite

Puesto que el objeto de este estudio son los dos Sistemas Convectivos de Mesoescala que surgieron en la madrugada del 8 de octubre de 1992 y sus posteriores evoluciones e interacciones, se analizarán, para cada Sistema Convectivo, los resultados del tratamiento estadístico de los datos de satélite utilizando la capacidad interactiva del Sistema de Aprovechamiento Integral de Datos de Satélite del INM (SAIDAS), al igual que se viene haciendo en el STAP para la «Climatología de Sistemas Convectivos» durante estos últimos años (Riosalido, 1990 y 1991; Canalejo et al., 1992, 1993 y 1994). De las imágenes IR semihorarias del satélite se han calculado los siguientes parámetros de forma objetiva:

- Posición (LAT/LON) del centro de los toques más fríos en las imágenes IR.
- Longitud (en Km) de los ejes mayor y menor del SCM.
- Areas (en Km²) cubiertas por nubosidad con cimas a temperaturas inferiores a ciertos umbrales entre -32 y -68°C con un intervalo de 4 grados.
- Temperatura mínima de las cimas y algunos parámetros estadísticos tales como media, moda, mediana y desviación típica.

Sistema convectivo SCM

Con la información extraída de estos parámetros se han confeccionado las gráficas que se muestran a continuación. En la figura 9.a se ha representado la evolución temporal de las áreas cubiertas por cimas a las diferentes temperaturas anteriormente mencionadas. En ella puede verse que el SCMI alcanzó su máxima extensión a las 11:30Z, hora a la que las cimas a temperatura inferior a -32°C cubrían un área de 63.000 Km². A esa hora su eje mayor medía 341 Km y el SCM tenía una excentricidad de 0.7, es decir, su forma era bastante redondeada. Por otro lado, también puede verse que no alcanzó toques muy fríos: la última curva representada corresponde al área cubierta por la isoterma de -56°C que, como se ve, es muy pequeña.

Si se asimila el área cubierta por la isoterma de -48°C al área convectiva del SCM, se ve en la figura 9.a que la curva correspondiente presenta el máximo a las 10:30Z (27.000 Km²); atendiendo a este valor, según la clasificación que se hace de los SCM, el SCMI pertenece al Tipo II (área de T_≤-48°C comprendida entre 25.000 y 50.000 Km²). En este momento el eje mayor del SCM medía 322 Km y el SCM tenía una excentricidad de 0.8, es decir, cuando la actividad convectiva era máxima, el SCM era más redondo. Esto está de acuerdo con el modelo conceptual que se tiene sobre el ciclo de vida de los SCM.

A partir de las medidas de la posición del núcleo del SCMI cada media hora, se ha dibujado (figura 9.b) su trayectoria. En ella se ve que su desplazamiento, a grandes rasgos, era hacia el NE, según el flujo de niveles medios. Esto está de acuerdo con la idea que hasta ahora se tiene sobre el desplazamiento de los SCM. Asimismo encaja con las conclusiones extraídas del estudio realizado en el apartado anterior donde además se vio que este movimiento se modula con la existencia de una zona de convergencia y una frontera en niveles bajos.

Las figuras 9.c y 9.d ayudan a determinar de una manera objetiva las fases del ciclo de vida del SCM (Zipsper, 1981). En la primera de ellas (Gráfica de áreas) se representa a trazos la evolución de lo que se considera el «área convectiva» (área cubierta por cimas a temperatura inferior a -48°C) y en línea continua la evolución de lo que se considera «área estratiforme» (área total - área convectiva). A su vez, la gráfica mostrada en la figura 9.d (Índice Convectivo) representa la relación del área convectiva respecto del total. A partir de estas gráficas se determina que el SCM1 entra en fase de desarrollo alrededor de las 04Z y en fase de disipación sobre las 10:30Z. Esto último confirma lo que se había visto subjetivamente como una disminución de la actividad del núcleo frío del SCM1.

Sistema convectivo SCM2

En primer lugar, en la figura 10.a se representa la evolución temporal de las áreas

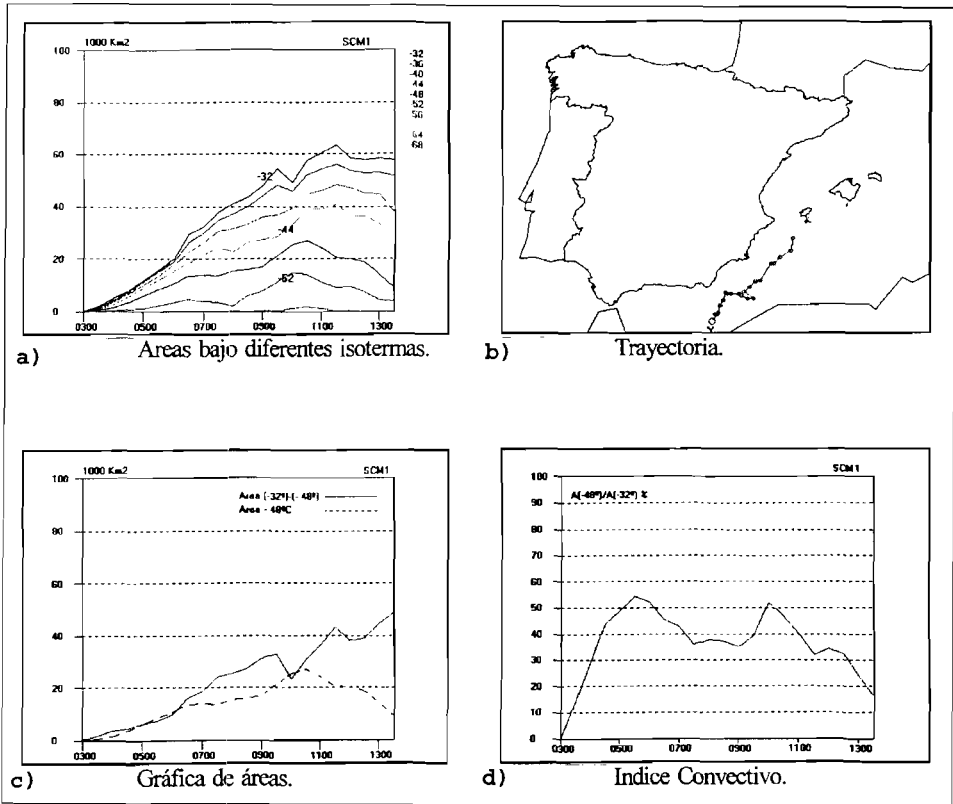


FIGURA 9. Algunas características del ciclo de vida del SCM1, según los datos de satélite.

- a) Evolución de las áreas de los topos nubosos.
- b) Trayectoria.
- c) Gráfica de áreas.
- d) Índice convectivo.

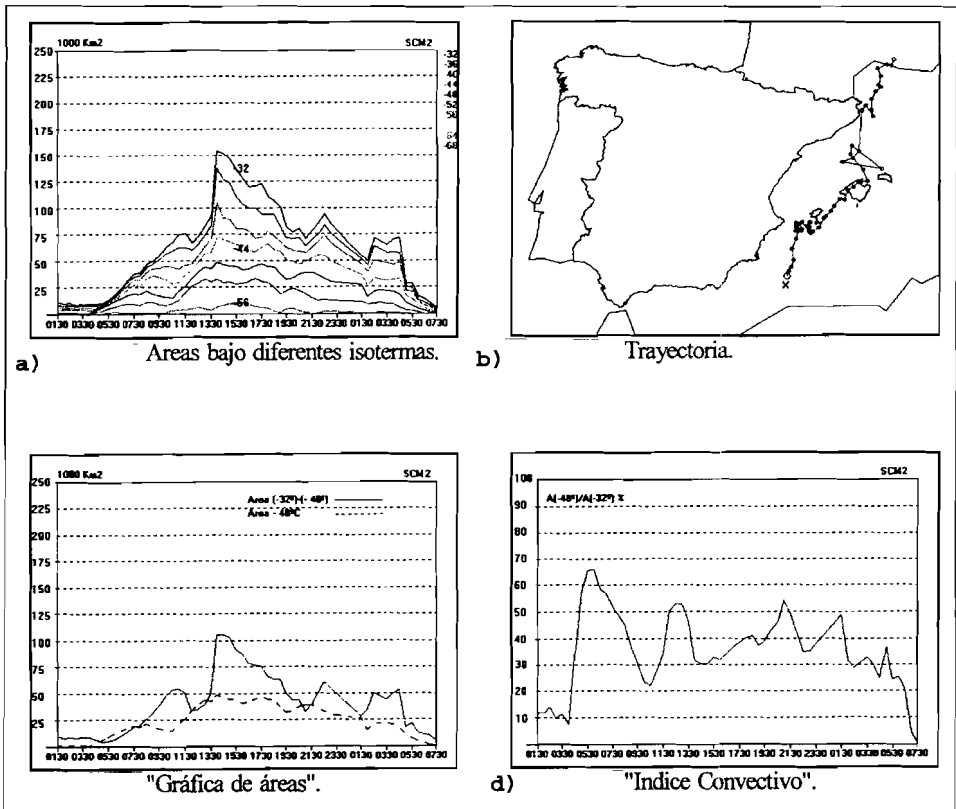


FIGURA 10. Idem que el caso anterior pero para el SCM2.

- Evolución de las áreas de los topes nubosos.
- Trayectoria.
- Gráfica de áreas.
- Índice convectivo.

cubiertas por cimas a diferentes temperaturas. En ella se ve que el SCM2 alcanzó su máxima extensión a las 14Z (el área de -32°C cubría 154.000 Km^2), justo después de haber absorbido al SCM1. A esa hora, su eje mayor llegó a medir 501 Km y el sistema presentaba una excentricidad de 0.8 , luego era muy redondeado. Al igual que el SCM1, este sistema no llegó a alcanzar topes muy fríos; de hecho el área cubierta por cimas a temperaturas menores que -56°C es pequeña y no aparece curva correspondiente a $T \leq -60^{\circ}\text{C}$. Esto concuerda con lo que ya se vió en el examen subjetivo de las imágenes de satélite en las que, cuando aparecían pixels a esta temperatura, éstos eran pocos, no los suficientes para formar un núcleo compacto y duradero. En lo que respecta al «área convectiva», la curva correspondiente a la isoterma de -48°C en la figura 10.a también presenta su máximo a las 14Z (48.000 Km^2). Atendiendo a este valor, el SCM2 pertenece también al Tipo II (área de $T \leq -48^{\circ}\text{C}$ comprendida entre 25.000 y 50.000 Km^2).

En la figura 10.b se representa la trayectoria seguida por el SCM2 a partir de la posición del centro del núcleo frío cada media hora. En general su trayectoria es del NNE.

Para terminar, de las figuras 10.c y 10.d se deduce que el SCM2 entra en fase de desarrollo alrededor de las 04Z y en fase de disipación sobre las 21:30Z del día 8, cuando el «área convectiva» disminuye frente al crecimiento del «área estratiforme». Sin embargo, en este caso es difícil determinar el paso de una fase a otra porque aparecen muchos máximos debidos a las múltiples interacciones y reactivaciones que sufre el sistema.

3.2. Ciclo de vida según los datos de la red de detección de rayos

Uno de los datos que más potencialidad encierran en la descripción del ciclo de vida de los SCM son los proporcionados por la red de detección de rayos o descargas Nube-Tierra (NT), que ha entrado recientemente en funcionamiento en el INM (ST, 1992). El objetivo de este apartado es caracterizar los ciclos de vida de los dos SCM del estudio y compararlo con los resultados obtenidos en otras latitudes.

Los SCM son una de las mayores fuentes generadoras de rayos (Goodman 1986, 1988). En EEUU se han estudiado sus ciclos de vida mediante redes de detección similares a la nuestra y se ha observado que poseen un modelo ideal de comportamiento con fases de formación, madurez y disipación caracterizadas por comportamientos eléctricos diferenciados.

La actividad eléctrica durante los días 8 y 9 de octubre fue muy marcada con más de 16.000 rayos entre las 00Z del día 8 y las 12Z del 9 como se puede observar en la figura 11. En ella se distinguen tres zonas: la primera sobre el golfo de Cádiz y zonas limítrofes asociada a la convección del núcleo frío; la segunda corresponde a actividad eléctrica generada por tormentas en el interior de la península agrupadas en forma de líneas arqueadas asociadas a bandas nubosas convectivas orientadas de W a SE. Por último, la tercera zona se identifica con la traza eléctrica de los dos SCM objetos de este estudio.

Al analizar los datos de SCM hay que definir el momento de comienzo, el de finalización y sobre todo fijar unos criterios de asignación de rayos en el caso de fusión con otros elementos tormentosos, ya que en este caso es difícil precisar cuando finaliza el «absorbido», desde el punto de vista eléctrico, y siempre lleva consigo cierta subjetividad.

Los criterios adoptados en este estudio para separar las distintas fases son:

I. Fase inicial. Momento en que aparecen los primeros rayos asociados a un SCM con continuidad en el tiempo y en el espacio. El fijar esta fase no presenta dificultad ya que los núcleos convectivos que van a formar el SCM suelen poseer gran actividad eléctrica y son fácilmente identificables por su aspecto compacto y celular.

II. Fase final. Cuando se detectan una o dos descargas por cada 10 minutos, y éstas han tenido una clara tendencia a la disminución en momentos precedentes, es entonces cuando se puede dar por finalizado el estudio del fenómeno.

III. Interacciones. En el caso de que exista una fusión con otro núcleo (que no sea SCM) se utilizarán las imágenes de satélite (IR) para considerar la hora de la fusión y atribuir las descargas al SCM resultante. Si se produce fusión de dos SCM, es habitual que dicha fusión se produzca por interacción entre sus flancos convectivos (aunque no siem-

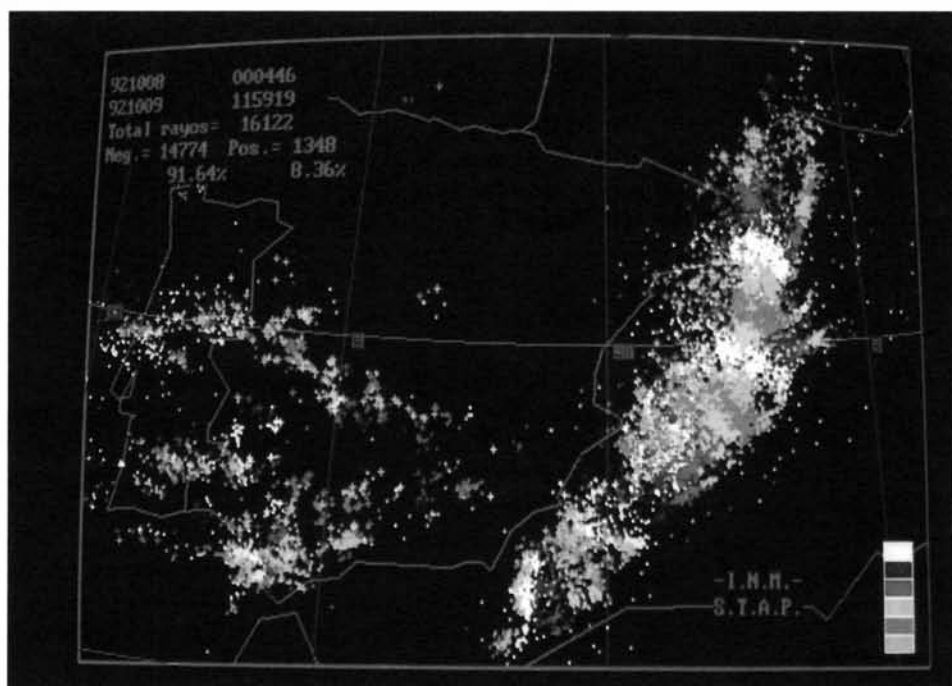


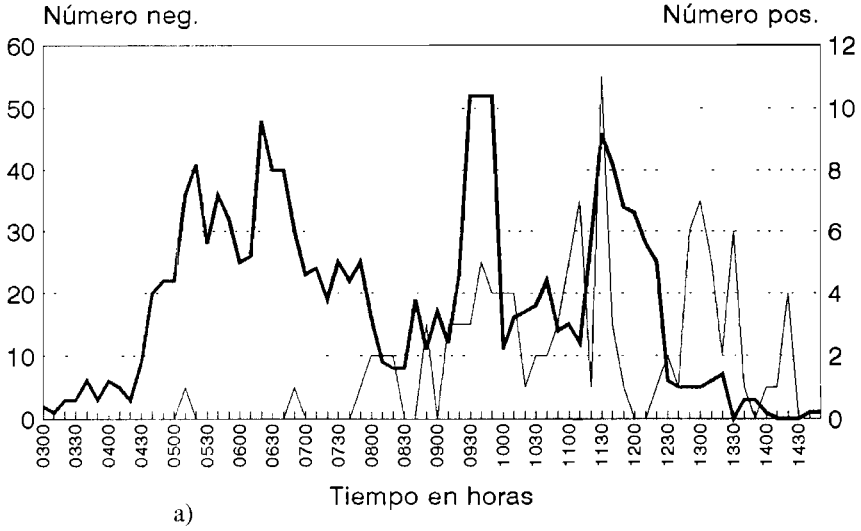
FIGURA 11. Distribución espacial de los rayos detectados por la red durante los días 8 y 9 de octubre de 1992. Cambios de color cada hora, según el código adjunto.

pre). Se podrían asignar las descargas resultantes de la fusión al «absorbente», pero puede ocurrir que se estén produciendo descargas en el que va a desaparecer en regiones alejadas de la propia zona de fusión y se puede considerar que éste último todavía posee un ciclo de vida eléctrico propio. De aquí que en la zona de la fusión se asignen las descargas al resultante final, pero en las zonas alejadas de la interacción, y siempre que el absorbido haya desarrollado una zona estratiforme, se sigan atribuyendo a este último.

Lo primero que se hizo fue separar los rayos del área mediterránea asociados a los SCM del resto. Para ello se definió una ventana espacial y temporal que recogiera su ciclo de vida. Por fortuna, en el lugar donde se produjo el episodio, las coberturas espacial y temporal de la red fueron buenas. Posteriormente se separaron los producidos por uno y otro sistema, teniendo especial cuidado en el momento de la fusión. Se les sometió a un tratamiento de datos para el cálculo, entre otras cosas, de la distribución espacial en la zona a partir de los rayos, negativos y positivos por separado, que cayeron dentro de una retícula predefinida y se agruparon los rayos, para cada SCM, en intervalos de 10, 20, 30 y 60 minutos a partir de una hora determinada para observar su distribución temporal y caracterizar sus ciclos de vida.

El SCM1 tuvo un ciclo de vida de unas 12 horas, Fig. 12.a, y generó más de 1.400 rayos (1.307 negativos, 92.17%, y 111 positivos, 7.83%). Presenta un ciclo de vida desde el punto de vista de las descargas típico del modelo conceptual ideal de los SCM de otras latitudes:

DISTRIBUCION TEMPORAL DESCARGAS NT SCM1 8/OCT/92 (10 MIN)



DISTRIBUCION TEMPORAL DESCARGAS NT SCM1 8/OCT/92 (30 MIN)

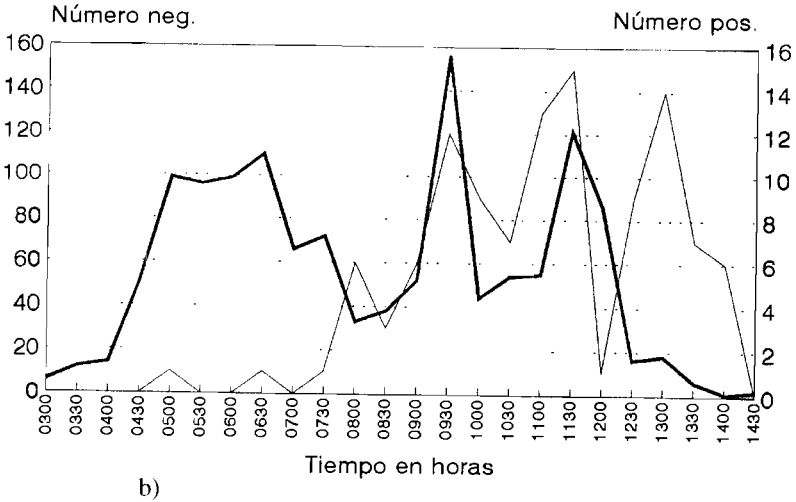


FIGURA 12. Ciclo de vida eléctrico del SCM1. En línea gruesa para los rayos negativos y línea fina para rayos positivos. a) Cada 10 minutos. b) Cada 30 minutos.

I. Fase pre-inicial del SCM: Aparecen las primeras tormentas aisladas con un número reducido de descargas negativas concentradas en sus zonas más activas y alguna positiva.

II. Fase inicial del SCM: Interacción de los núcleos convectivos que forman una sola entidad, se realzan las corrientes ascendentes y se incrementa súbitamente el número de descargas negativas.

III. Fase de madurez: Se desarrolla una zona estratiforme bien definida. Se mantiene el gran número de descargas negativas y comienzan a aparecer más positivas debido a la advección de cargas del mismo signo desde lo alto de los grandes desarrollos a la región estratiforme por el viento en niveles medios y altos.

IV. Fase de disipación. El sistema pierde su organización, aparecen núcleos convectivos aislados y queda nubosidad media alta de la antigua zona estratiforme. Desciende drásticamente el número de descargas negativas y persisten las positivas. La actividad eléctrica va decayendo paulatinamente hasta desaparecer.

La mayor cantidad de rayos negativos coincide con las fases de desarrollo y madurez, por el contrario, los positivos dominan en la fase de disipación.

El modelo conceptual ideal de un SCM, desde el punto de vista eléctrico (Goodman *et al.*, 1986), puede sufrir modificaciones importantes por las complejidades internas que los caracterizan: los propios procesos microfísicos, interacciones con otros elementos convectivos, reactivaciones, etc. Este es el caso del SCM2, que duró más de 24 horas durante las que se detectaron más de 12.300 rayos (11.468 negativos, 92.65%, y 910 positivos, 7.35%).

La fase inicial comienza sobre las 3Z del día 8 con núcleos aislados de convección, que comienzan a generar los primeros rayos negativos detectados por la red; su número es relativamente reducido y prácticamente aparecen a la vez los primeros positivos, Fig 13.a. Estos se sitúan entre las costas de Alicante-Valencia e Ibiza y alcanzan unas razones próximas a las que generaron el primero pero muy inferiores a las que se desarrollaron con posterioridad. Después de un descenso de la actividad entre las 08 y 09Z, el sistema se reactiva y aumenta súbitamente el número de descargas hasta alcanzar unos valores de hasta 240 rayos neg. en 10 minutos a las 14Z (fusión). Las positivas han aumentado a la par, pero en menor número y además no existe una coincidencia entre los máximos de negativos y positivos.

Tras este máximo la actividad decae continuamente hasta que a las 18Z experimenta otra reactivación muy marcada que dura hasta las 19:30Z. A partir de aquí el descenso es más suave que en la fase de crecimiento inicial. Ahora los máximos de positivos parece que van retrasados respecto a los negativos lo que coincide con una posible expansión de la zona estratiforme, que se produce en niveles altos después de una reactivación del sistema. Los máximos de intensidad de descargas positivas se alcanzan en estos momentos, que coinciden con el comienzo de la fase de disipación del sistema.

4. COMPARACIÓN DE DATOS DE SATÉLITE Y DESCARGAS

El sistema SAIDAS permite combinar datos de diferentes fuentes para su utilización subjetiva y objetiva. Para comparar la distribución espacial, se han combinado las Tempe-

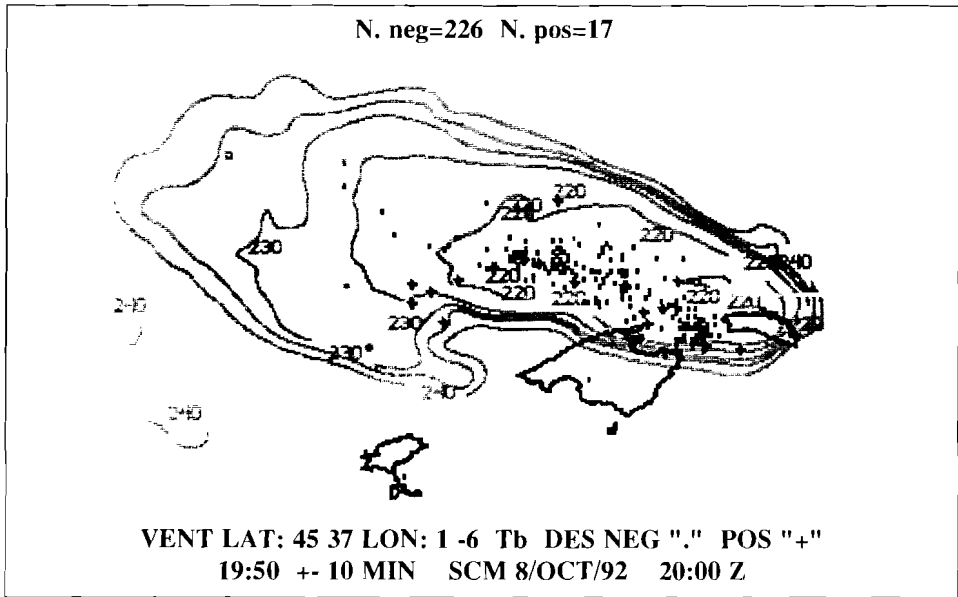


FIGURA 14. Combinación de datos de satélite y rayos a las 20 z.
 En líneas continuas, isotermas de la temperatura de brillo (°K) de la imagen IR.
 Rayos negativos «.», positivos «+».
 Los datos de rayos están centrados en una ventana temporal de ± 10 minutos, respecto a la hora de la exploración del sensor de Meteosat sobre la Península (19:50 z).

raturas de brillo de las de las imágenes IR-Meteosat inferiores a 240 °K con datos de descargas en una ventana temporal de ± 10 minutos referidos a la imagen de satélite: la mayoría de las descargas (negativas y positivas) se concentran en las zonas de los topes más fríos. Por ejemplo, a las 20Z (Fig. 14) el sistema afecta de lleno a las Islas Baleares con una zona estratiforme muy desarrollada y una zona convectiva, en línea, muy bien definida. El número de rayos negativos, superpuestos en una ventana de 20 minutos es elevado, y también el de positivos que se sitúan tanto en la zona convectiva como en la estratiforme.

La figura 15 muestra la comparación de las distribuciones temporales de las áreas cubiertas por topes fríos y las descargas positivas y negativas.

Lo más característico es que las primeras tormentas presentan una escasa actividad eléctrica pero a partir de un momento determinado, posiblemente ligado a los procesos de organización interna del paso de un grupo de tormentas al propio SCM, existe un aumento muy rápido de las descargas negativas y coberturas nubosas frías, contrastando con la fase de disipación donde el descenso es más suavizado. Después de llegar el sistema a su máxima extensión, el número de descargas negativas comienza a presentar una distribución temporal de estructura dentada, con momentos donde la actividad decae fuertemente y otros instantes en los que existe una reactivación temporal del sistema.

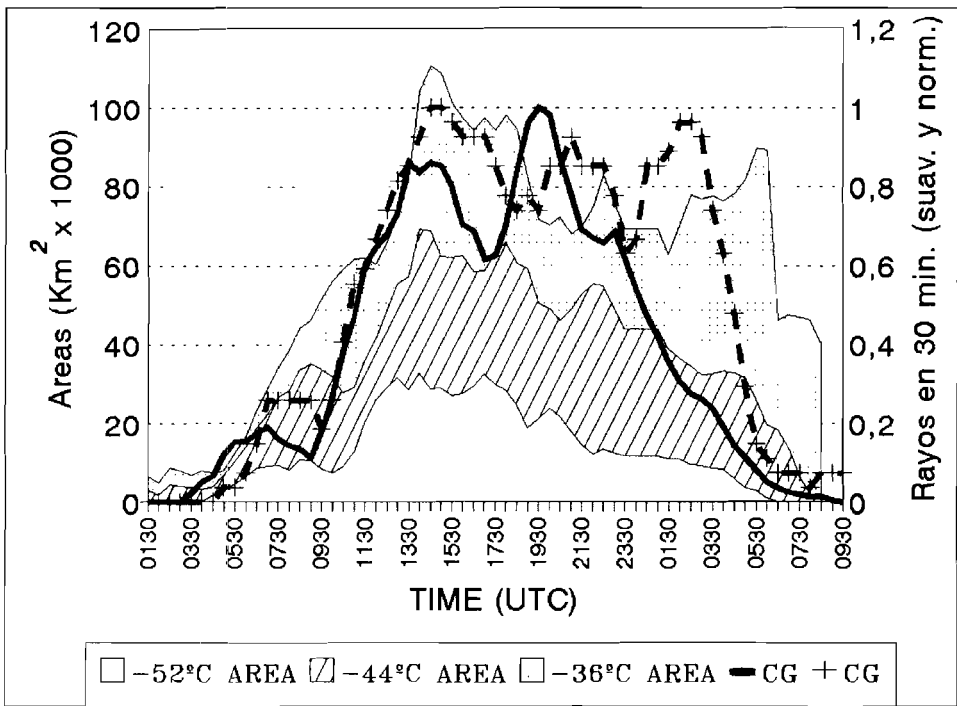


FIGURA 15. Ciclo de vida del SCM2 según datos de satélite y de la red de detección de rayos. Los datos de los rayos están agrupados cada 30 minutos, suavizados y normalizados respecto a los máximos de cada serie.

Por contra las descargas positivas presentan otro tipo de comportamiento: sus máximos parecen estar desfasados respecto a los de las negativas y su número aumenta en proporción en la fase de disipación y son las últimas en desaparecer, incluso cuando el sistema ha perdido toda su entidad (una o dos horas después de que las negativas casi han desaparecido).

5. CONCLUSIONES

Durante los últimos 5 años (1989-1993) se han estudiado, mediante el uso intensivo de imágenes de satélite, todos los SCM que se han formado en las cercanías de la península durante el período otoñal con objeto de conocer unos sistemas de mesoescala muy organizados y que generan fuertes precipitaciones, preferentemente en el área mediterránea. El objetivo final es conocer sus ciclos de vida y poder elaborar modelos conceptuales de comportamiento que puedan servir como ayuda en las predicciones de corto y muy corto plazo. Lógicamente estos modelos conceptuales deben ser mejorados continuamente, introduciendo otros elementos o pautas de comportamiento que tengan en cuenta otros

aspectos de estos sistemas. Desde 1992 se han comenzado a analizar otras de sus características: las descargas de nube a tierra que suelen producir. En este trabajo se han combinado, por primera vez, ambos tipos de datos.

En el estudio del episodio de los días 8 y 9 de octubre de 1992 se ha tratado, por un lado, de confirmar algunas características que ya se habían observado, en primer lugar, en cuanto al entorno sinóptico favorable para la aparición de SCM y cómo éste se ve modificado por la presencia de este tipo de fenómenos; en segundo lugar en la importancia del estudio en profundidad de las imágenes de satélite y del análisis de los datos obtenidos de éste para caracterizar las distintas fases de su ciclo de vida. Estas, por otro lado, se han caracterizado a partir de los datos obtenidos de la red de descargas, lo que ha puesto de manifiesto la utilidad de esta nueva herramienta sobre todo por la posibilidad que ofrece de utilización en tiempo real y la implicación que esto tiene en el corto y muy corto plazo. Por consiguiente, el conocimiento que previamente se tenía sobre estas estructuras unido a los resultados obtenidos para este caso particular permiten perfilar el modelo conceptual del ciclo de vida de estos sistemas.

La formación de los SCM requiere unas condiciones sinópticas y mesoescalares especiales que se repiten con cierta regularidad y que han aparecido en este caso. El entorno sinóptico que favorece la aparición de este tipo de estructuras se caracteriza, principalmente, por un forzamiento débil en niveles medios y altos, fuerte advección cálida con flujo de componente E en niveles bajos que gira al SW en niveles más altos, inestabilidad potencial concentrada en capas bajas que puede afectar a grandes zonas y que puede estar inhibida en niveles superiores, existencia de una frontera en niveles bajos orientada de SW a NE o de W-E y, en algunos casos, presencia de una baja en superficie que canalice el flujo de componente E hacia la costa y module las zonas de convergencia y/o frontera en niveles bajos. Si el forzamiento en niveles altos es débil la liberación de energía se producirá allí donde las zonas de convergencia mesoescalares sean más significativas. Por contra, si el forzamiento es más amplio y significativo, la convección será más generalizada, siempre y cuando se desarrolle.

Otra característica importante, que se ha observado en este caso y tiende a ser un elemento muy común entre ellos, es la configuración de vientos en niveles medios: cuasiparalelos y con débil cizalladura vertical. De esta forma los núcleos convectivos que se formen podrán mantenerse y moverse agrupados, existiendo mayor posibilidad de interacción entre ellos. Por contra, zonas de fuerte difluencia producirán entornos sinópticos con amplias zonas donde el forzamiento sea positivo y haga posible la existencia de desarrollos generalizados. La intensidad de los vientos en niveles medios puede jugar un papel importante después de la formación: si son débiles darán lugar a SCM cuasiestacionarios o de desplazamientos lentos lo que favorecerá las interacciones. Sin embargo, si son fuertes, producirán, en general, SCM móviles, a menos que la alimentación o la presencia de fronteras en niveles bajos los conviertan en autoregenerativos o cuasiestacionarios.

La disipación de los SCM está ligada a una disminución del flujo alimentador en niveles bajos capaz de mantener a dicha estructura, flujo húmedo en capas bajas, amplias zonas de inestabilidad, aumento del forzamiento sinóptico, etc. El primer sistema convectivo se disipó al evolucionar hacia una zona donde se encontraba otro mayor, siendo absorbido

por éste. El segundo se disipó al entrar en Francia por el Golfo de León, perdiendo el aporte de humedad que existía en niveles bajos.

Como vemos las condiciones en superficie y de ciertos elementos de la mesoescala son fundamentales a la hora de focalizar la formación, desplazamiento y disipación de estos SCM, sobre todo en los procesos de formación, donde el papel del forzamiento sinóptico es el de no oponerse o el de no generar forzamientos amplios y extensos.

El ciclo de vida de ambos SCM, a partir de datos de satélite y de descargas, ofrecen una muy buena relación y pueden ser de gran ayuda en las labores de vigilancia atmosférica. En particular los datos de la red de detección de rayos se reciben en tiempo real en el I.N.M., permitiendo analizar la distribución espacial y temporal de las tormentas en tiempo real, incluso es posible detectar las estructuras celulares que forman parte de estos SCM.

Su utilidad se amplifica cuando se combina con otros datos de teledetección. En este caso se ha hecho con los datos IR de Meteosat. Se ha observado que la mayoría de las descargas eléctricas se sitúan debajo de los topes más fríos, pudiéndose distinguir las estructuras convectivas más activas, que son ocultadas por la capa nubosa que suele formar dichos sistemas en niveles altos. Tan solo un número reducido de rayos se sitúan debajo de los topes más cálidos, coincidiendo con el crecimiento de la zona estratiforme del sistema.

Los ciclos de vida de ambos elementos muestran la traza de las posibles circulaciones mesoescalares que tienen lugar en ellos:

- Fase preinicial. En este período aparecen los primeros núcleos convectivos con unas temperaturas de brillo no muy frías y de poca extensión; el número de rayos es muy reducido. Las posibles corrientes ascendentes sólo pueden dar lugar a convección profunda de poca extensión horizontal.
- Fase de desarrollo. En esta fase la convección se organiza en SCM y se caracteriza por un aumento súbito en la extensión de los topes fríos a la vez que el número de rayos negativos y positivos aumenta con la misma rapidez. Posiblemente las corrientes ascendentes se han incrementado llegando a generar convección muy profunda y organizada, siendo esos elementos lo característico en este período.
- Fase de madurez. Los topes fríos se mantienen en extensión pero con una leve tendencia a decrecer. Este proceso se ve interrumpido por algunas reactivaciones del sistema. Los rayos negativos y positivos muestran una gran variabilidad temporal ligada a la estructura celular de los mismos y se concentran en los núcleos convectivos más activos. A la vez comienza a desarrollarse una zona estratiforme de precipitación, que se va ampliando con el tiempo y algunos de ellos se sitúan en dicha área, preferentemente los positivos. La existencia de estructuras en forma de «gancho» en la zona de los topes más cálidos es señal de que se ha desarrollado una circulación mesoescalar ciclónica en niveles medios que conforma dicha nubosidad. Además siguen existiendo circulaciones mesoescalares convectivas en su parte más activa.
- Fase de disipación. Existe una caída acusada y continua de los topes fríos, más suave que en la fase de desarrollo. El mismo comportamiento tienen los rayos negativos pero esta vez aparece un máximo relativo de positivos coincidiendo con el mantenimiento de la zona de topes más cálidos. La convección desaparece o tiende a desorganizarse en núcleos más pequeños y aislados, quedando una amplia zona nubosa con topes de nubes cálidas. El número de rayos tiende a desaparecer.

6. BIBLIOGRAFÍA

- CANALEJO M., CARRETERO O., RIOSALIDO R. (1993): Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-90. Nota Técnica del STAP N° 9. INM, Madrid.
- CANALEJO M., CARRETERO O., RIOSALIDO R. (1994): Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-92. Nota Técnica del STAP N° 14. INM, Madrid.
- CARRETERO O., CANALEJO M., RIOSALIDO R. (1993): Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-91. Nota Técnica del STAP N° 12. INM, Madrid.
- FRITSCH J. M., MADDOX E. A. (1981): Convectively driven Mesoscale Weather Systems Aloft. Part I: Observations. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 20.
- GOODMAN S. J., MACGORMAN D. R. (1986): Cloud-to-Ground Lightning Activity in Mesoscale Convective Complexes. *Monthly Weather Review*, Volume 114, pp. 2.320-2.328.
- GOODMAN S. J., BUECHLER D. E., MEYER P. J. (1989): Convective Tendency Images Derived from a Combination of Lightning and Satellite Data. *Weather and Forecasting*, Volume 3, N° 3, pp. 173-188.
- MADDOX, R. A. (1980): Mesoscale Convective Complexes. *Bull. Amer. Met. Soc.* Vol. 69, pp. 1.374-1.378.
- MARTÍN, F., DE ESTEBAN, L., CANALEJO, M., (1994): Estudio de los SCM del 8-9 de octubre de 1992. Nota Técnica N° 16 del S.T.A.P., INM.
- NT-8 (1992): Nota Técnica Previmet-92 N° 8. Estudios de las situaciones Previmet de los Grupos de Predicción y Vigilancia, 1992. INM, Madrid.
- RIOSALIDO, R. (1990): Satellite Characteristics of Mesoscale Convective Systems over Spain. *Proceeding of the 8th Meteosat Scientific Users Meeting*. Norrköping (Sweden), 28th-31st August (1990), pp. 127-130.
- RIOSALIDO, R. (1990): Caracterización mediante imágenes de satélite de los Sistemas Convectivos de Mesoescala durante la Campaña Previmet Mediterráneo-89. II Simposio Nacional de Predicción del I.N.M. Madrid, pp. 135-148.
- RIOSALIDO, R. (1991): Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-89. Nota Técnica del STAP N° 1. INM, Madrid.
- RUTLEDGE, S. A., MACGORMAN, D. R. (1988): Cloud-to-Ground Lightning Activity in the 10-11 June 1985 Mesoscale Convective System Observed during the Oklahoma-Kansas PRE-STORM Project. *Monthly Weather Review*, Volume 116, pp. 1.393-1.408.
- ST: Red de Detección de Rayos del INM, Servicio de Teledetección 1992. *La Meteorología en el Mundo Iberoamericano*. N° 10 Oct-Dic 1992, pp. 23-27. Publicación del INM.
- ZIPSER, E. J. (1981): Utilización de un modelo teórico de ciclo de vida de los Sistemas Convectivos de Mesoescala para mejorar las predicciones a muy corto plazo. *Predicción Inmediata (versión española de Nowcasting)*. Madrid 1990.