

SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA: CLIMATOLOGÍA MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE

R. Riosalido y O. Carretero

RESUMEN

Las imágenes infrarrojas del satélite Meteosat se han utilizado para elaborar una primera climatología de sistemas convectivos de mesoescala en el entorno de la Península Ibérica. Estos sistemas, responsables en muchas ocasiones de precipitaciones torrenciales y de inundaciones en las zonas mediterráneas, presentan tamaños y trayectorias que hacen que solo mediante la utilización de datos de satélite (dada su cobertura) se pueda obtener una caracterización completa que incluya todo su ciclo de vida. Se han estudiado un total de 67 sistemas repartidos durante los meses de otoño entre los años 1989 y 1993. A partir de las imágenes infrarrojas digitales del Meteosat se ha calculado objetivamente un conjunto de propiedades que caracterizan sus tamaños, duraciones, trayectorias, movimiento, ciclo de vida y distribuciones temporal y geográfica. El estudio de su evolución ha permitido también elaborar un modelo conceptual de ciclo de vida de estos sistemas.

Palabras Clave: Climatología, Sistemas Convectivos de Mesoescala, Península Ibérica, Imágenes en infrarrojo, datos de satélite.

SUMMARY

Mesoscale Convective Systems: Climatology Through Satellite Images

The infrared images of the Meteosat satellite have been used to prepare for first time a climatology of mesoscale convective systems in the Iberic peninsula surroundings. These systems, responsible in many instances of torrential precipitations and of floods in the mediterranean zones, reflect sizes and trends that allow, only with the use of satellite data —given its coverage, the obtention of a complete characterization

* Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción I.N.M. Camino de las Moreras sn. Ciudad Universitaria. Madrid-28080

of its entire life cycle. A total of 67 systems throughout the autumn months of the years in between 1989 and 1993 have been studied. As a result of these digital infrared images of the Meteosat, a set of properties have been objectively identified that characterizes its sizes, durations, trends, movement, life cycle and its temporary and geographic distributions. Also, a study of its evolution have allowed the design and preparation of a conceptual model of life cycle of these systems.

KEY WORDS

Climatology, mesoscale convective systems, Iberic peninsula, infrared images, satellite data. years in between 1989 and 1993 have been studied. As a result of these digital infrared images of the Meteosat, a set of properties have been objectively identified that characterizes its sizes, durations, trends, movement, life cycle and its temporary and geographic distributions. Also, a study of its evolution have allowed the design and preparation of a conceptual model of life cycle of these systems.

Key Words: Climatology, mesoscale convective systems, Iberic peninsula, infrared images, satellite data.

1. INTRODUCCIÓN

Durante el otoño la cuenca mediterránea española se ve afectada frecuentemente por precipitaciones de carácter torrencial que causan importantes inundaciones produciendo enormes pérdidas económicas y, en ocasiones, de vidas humanas. Popularmente se han venido a denominar estas situaciones como "gotas frías", y aunque las depresiones aisladas en niveles altos juegan un papel fundamental, el uso intensivo de imágenes de satélite ha revelado que en muchas ocasiones las precipitaciones intensas están asociadas a potentes estructuras convectivas organizadas uno o dos ordenes de magnitud (en cuanto a tamaño y duración) superiores a las tormentas ordinarias. Estas estructuras, conocidas por el nombre de Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Maddox, 1980), o de una forma más general como Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) (Fritsch, 1986) han sido identificadas en España como causantes, entre otras, de las tristemente famosas inundaciones de Valencia en octubre de 1982 (Rivera and Riosalido, 1986), Gandía en 1987 (Riosalido et al., 1988) o Cataluña en 1987 (Ramis et al., 1994) así como en zonas próximas como la costa sur francesa (Benech, 1993).

La climatología mediante satélite de estas estructuras ha recibido considerable atención por parte de los investigadores como medio de conocer las características y comportamiento de tales sistemas. La utilización de datos de satélite para este fin viene justificado debido a la extensión y duración de estos sistemas que hacen difícil el seguimiento completo de los sistemas mediante otros medios de observación. Existen clima-

tologías satélite de SCM en EEUU (Maddox et al., 1982; Rodgers et al., 1983; Augustine and Howard, 1988, Tollerud and Augustine, 1992), América Central (Velasco and Fritsch, 1987), en el Pacífico (Miller and Fritsch, 1991), en la India (Laing and Fritsch, 1992) y en Africa (Laing and Fritsch, 1993). Todas ellas revelan elementos comunes y diferencias debidas a la zona geográfica concreta. En España, el I.N.M., con la puesta en marcha de los Planes PREVIMET Mediterráneo, enfocados a la previsión de precipitaciones intensas, facilitó la vigilancia y el estudio de estos sistemas y desde el año 1989 el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP) se ha dedicado a identificar, archivar y generar un banco de datos objetivos extraídos de las imágenes infrarrojas del Meteosat. A partir de estos datos objetivos se pretende lograr una caracterización, lo más completa posible de aspectos relevantes tales como: ciclo de vida, distribución geográfica, movimiento, tamaños, formas de evolución etc. Todos estos aspectos son fundamentales de cara a mejorar las técnicas de predicción, tanto a corto como a muy corto plazo de estas estructuras causantes de fuertes precipitaciones e inundaciones en el litoral Mediterráneo.

En este trabajo se presentan los resultados del análisis de este banco de datos y constituye la primera climatología, realizada mediante datos de satélite, de los sistemas convectivos de mesoescala en el entorno de la Península Ibérica. En el apartado segundo se explica la metodología utilizada para la extracción objetiva de datos de las imágenes de satélite y la constitución del banco de datos. Las características medias de los SCM (tamaño, duración, distribución temporal, etc.) se presentan en el apartado tercero junto con los resultados obtenidos sobre su distribución geográfica y movimiento. En el apartado cuarto se estudia la evolución de estas estructuras y se propone un modelo conceptual de ciclo de vida el cual puede proporcionar elementos y criterios para su predicción a muy corto plazo. Finalmente en el apartado quinto se resumen las conclusiones más importantes del estudio.

2. METODOLOGÍA

Para la realización de este estudio se ha dispuesto de las imágenes digitales semihorarias del satélite METEOSAT durante los meses de otoño de 1989 a 1993 ambos inclusive. Básicamente la metodología seguida ha consistido, en primer lugar, en una inspección visual de las imágenes del periodo considerado, lo cual ha permitido seleccionar un conjunto de situaciones caracterizadas por la presencia de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM). Estas situaciones han sido archivadas y posteriormente procesadas usando las facilidades interactivas del sistema SAIDAS (versión española del McIDAS / Man-computer Interactive Data Access System, Suomi, 1993). Como resultado se ha obtenido una base de datos de parámetros de SCM a partir de la cual se ha extraído información objetiva y cuantitativa de las características de los SCM en las proximidades de la Península Ibérica.

El criterio seguido para archivar o no una situación meteorológica era que aparecieran estructuras convectivas cuyo escudo nuboso (medido bajo la temperatura de brillo de -32°C en las imágenes IR) superara en algún momento de su ciclo de vida los 100 Kms. en alguna dirección, y que surgieran en una ventana amplia en los alrededores de la Península.

Este tipo de estructuras eran consideradas SCM. En la figura 1 se muestra un ejemplo de dos SCM, la imagen aparece realzada con objeto de destacar las temperaturas inferiores a -32°C , cambiando de tono de gris cada 4° .



Figura 1.- Ejemplo de dos SCM. Imagen IR realzada.

Dado que cada SCM debe ser estudiado como una estructura única, era necesario separar en la imagen original, la nubosidad que no pertenecía al sistema. Para ello se dibujaba un polígono que limitaba el área de estudio y posteriormente se extraían los datos digitales del interior asociados solamente a las temperaturas inferiores a -32°C . La delimitación del polígono de trabajo no planteaba mayores dificultades salvo en los casos de fusiones o fraccionamientos de SCM, en los cuales la separación se realizó de forma subjetiva. En los casos de fusiones entre dos o más sistemas se consideraba un solo SCM cuando se unían los núcleos fríos (figura 2), considerando estos los asociados a las temperaturas menores o iguales a -52°C . En el segundo caso, un SCM se dividía en dos o más sistemas cuando, la rotura de los núcleos más activos era evidente, o bien, si el sistema estaba en fase de disipación, cuando los restos de nubosidad estratiforme (temperaturas en torno a -32 ó -36°C) se separaban (figura 3).

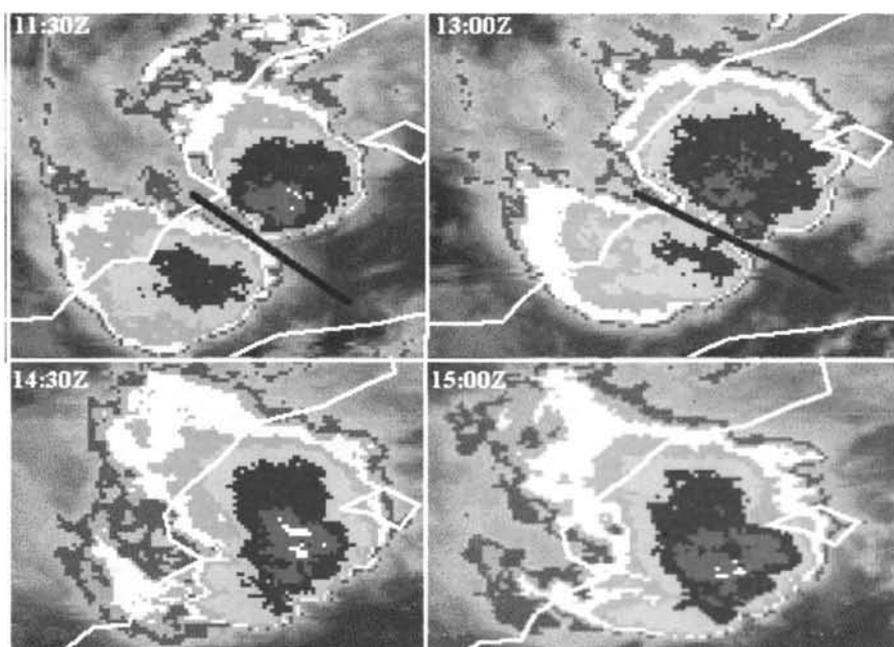


Figura 2.- Ejemplo de fusión de dos SCM.

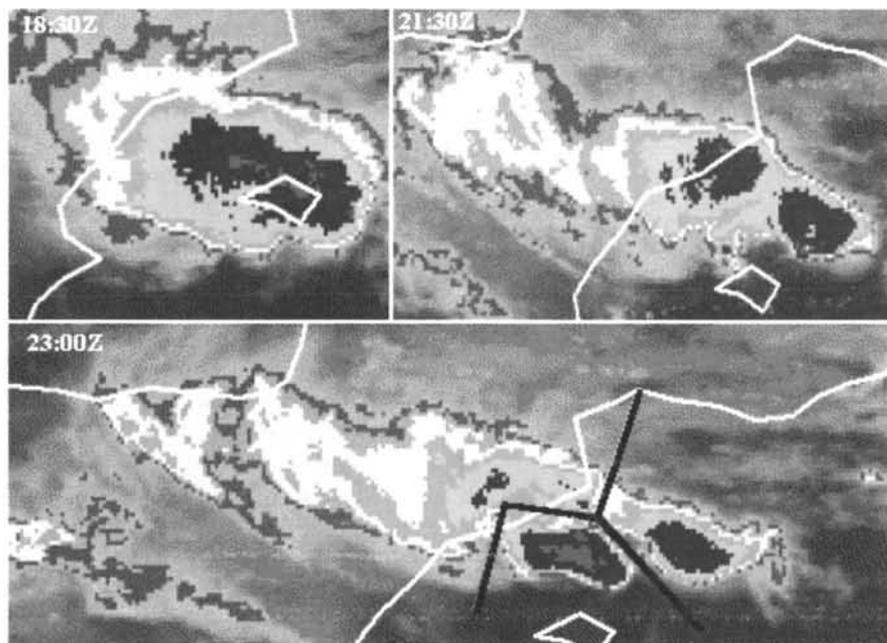


Figura 3.- Ejemplo de fraccionamiento de un SCM en varios núcleos.

Cada media hora, desde el inicio del SCM hasta su disipación, se calcularon las siguientes características: longitud, en Km, de los ejes mayor y menor medidos bajo la isoterma de -32°C , posición del centroide (latitud, longitud), temperatura mínima del escudo nuboso y áreas, en Km^2 , medidas bajo las isotermas de: -32 , -36 , -40 , -44 , -48 , -52 , -56 , -60 , -64 y -68°C . La figura 4 muestra un ejemplo de medida de los ejes mayor y menor y en la figura 5 aparecen las áreas bajo las isotermas anteriores (el dato superior de la imagen corresponde a la extensión de la isoterma de -32°C y el inferior a la de -68°C) y también la localización y valor de la temperatura mínima.



Figura 4.- Ejemplo de medida de los ejes mayor y menor.

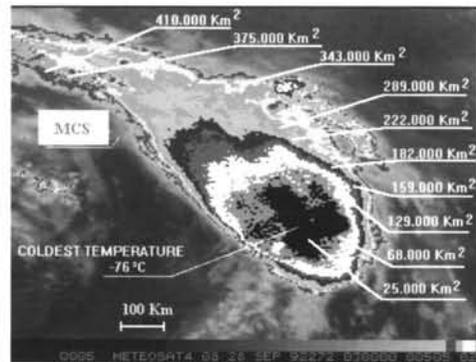


Figura 5.- Ejemplo de medida de áreas bajo diferentes isotermas y localización de la temperatura mínima.

La base de datos que se generó estaba compuesta por 119 SCM. Ahora bien, dado que el criterio que se utilizó para su selección es poco restrictivo, nos encontramos con un amplio espectro de sistemas convectivos (tanto en tamaño como en duración) donde tienen cabida sistemas muy pequeños, que pueden ser considerados como grandes tormentas, ó muy extensos, similares en tamaño a los Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM) (Maddox, 1980). Con objeto de tener una muestra más homogénea y centrada, en principio, en aquellos SCM que pudieran ser más significativos en el entorno Peninsular, se definió una serie de criterios de selección más restrictivos: se consideraron SCM solamente las estructuras convectivas cuya extensión, medida por el área de -52°C , fuese superior a 10.000 Km^2 al menos, durante tres horas y que, en algún momento de su ciclo de vida, penetrasen dentro de la ventana geográfica comprendida entre $35^{\circ}\text{N}/45^{\circ}\text{N}$ de latitud y $10^{\circ}\text{W}/5^{\circ}\text{E}$ de longitud. Se eligió la temperatura de -52°C , en lugar de la de -32°C , ya que el uso de esta última puede introducir errores (McAnelly and Cotton, 1986) al incluir en ocasiones nubosidad no directamente asociada al SCM, si bien, en el procedimiento manual que se ha utilizado para la obtención de los datos se ha extremado el cuidado en eliminar aquellas partes con topes inferiores a -32°C que no pertenecían al SCM, aunque esto implique cierto grado de subjetividad. Aplicando estos criterios la muestra de 119 casos quedó reducida a 67 SCM, a partir de los cuales se realizó el estudio climatológico cuyos resultados se presentan en los apartados siguientes.

CLIMATOLOGÍA

Utilizando los 67 SCM pertenecientes al período 1989-93 se ha realizado el estudio de la distribución temporal, tamaño, temperatura mínima, duración, ciclo diurno y movimiento. Para cada uno de estos parámetros se obtienen los valores medios y, en el caso de que existan grupos de SCM con comportamientos claramente diferentes, se estudia cada uno de los grupos por separado (por ejemplo: SCM móviles y cuasi-estacionarios). En cada uno de los apartados se ha intentado comparar los resultados con los obtenidos en otras climatologías de otras partes del mundo, pero no siempre ha sido posible ya que la mayoría estudian CCM, sistemas mucho mayores en tamaño y duración que los SCM objeto de esta climatología.

3.1.- Distribución temporal

El mes de septiembre, con el 65.7% (44 casos), es con gran diferencia el más favorable para la aparición de SCM, seguido a gran distancia por octubre con el 17.9% (12 casos) y por noviembre con el 11.9% (8 casos). Los 3 casos restantes hasta el total de 67 pertenecen al mes de agosto, pero, aunque sí se incluyeron en la muestra por su proximidad al mes de septiembre, no fue sistemático su archivo durante todo el mes, por lo que no se analiza su distribución temporal. En cuanto a la distribución anual, 1989 y 1893 son anómalos respecto al resultado anterior ya que los máximos se alcanzaron en noviembre y octubre respectivamente.

3.2.- Tamaño

Para caracterizar la dimensión horizontal de los SCM se utilizaron tres parámetros: el eje mayor en el momento de máxima extensión del área de -32°C (figura 6) y las áreas bajo las isotermas de -32°C y -52°C (figura 7). En cuanto al primero, el mayor número de casos se encuentra entre 200 y 500 Km. El valor medio es de 400 Km, aunque se pueden encontrar valores mucho mayores como, por ejemplo, el sistema F92 cuyo eje mayor llegó a medir 1.066 Km. La extensión media bajo la isoterma de -32°C es de 93.792 Km^2 , si bien el mayor número de casos se encuentra entre 40.000 y 100.000 Km^2 . Con respecto al área de -52°C la extensión media es de 41.443 Km^2 , superando solamente 8 casos los 60.000 Km^2 . Laing y Fritsch (1997), con una muestra de 714 CCM, obtuvieron una media de 350.000 Km^2 para el escudo nuboso con la temperatura $\leq -32^{\circ}\text{C}$. Aunque en la Península se llegaron a alcanzar los umbrales de 100.000 Km^2 ($T \leq -32^{\circ}\text{C}$) y 50.000 Km^2 ($T \leq -52^{\circ}\text{C}$) rara vez se mantuvieron más de 6 horas. En concreto solamente 6 sistemas de la muestra cumplieron las condiciones de Maddox (1980) en tamaño y duración, aunque no de excentricidad, uno en 1989, dos en 1990 y tres en 1992.

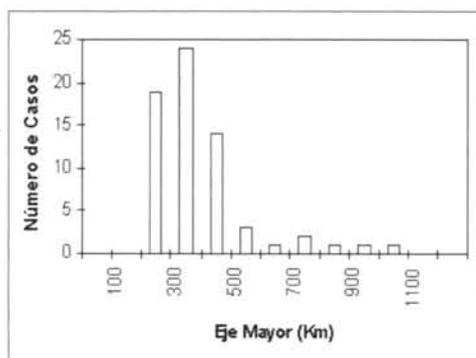


Figura 6.- Longitud del eje mayor medido cuando el área bajo la isoterma de -32°C es máxima.

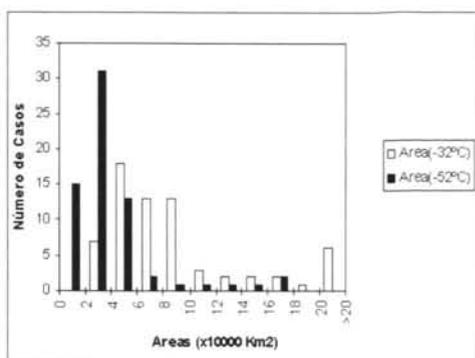


Figura 7.- Extensiones bajo las isotermas de -32°C y -52°C en el momento de máxima extensión.

3.3.- Temperatura mínima

Tomamos como tal, la temperatura más baja alcanzada por el escudo nuboso asociado a un SCM en cualquier momento de su ciclo de vida. El mayor número de casos se encuentra entre -64°C y -70°C y el valor medio es de -66°C . Solamente 9 casos tienen temperaturas menores o iguales a -70°C . De 50 SCM analizados por Tollerud, Augustine y Jamison (1992) durante el verano de 1986 en Norteamérica, casi un 10% alcanzaron la temperatura de -76°C . Se calculó también el coeficiente de correlación entre las temperaturas mínimas y la máxima extensión para las áreas de -32°C y -52°C y se obtuvo un valor de -0.51 y -0.65 respectivamente, por lo que existe una ligera tendencia a que cuanto mayor sea la dimensión en la horizontal de un SCM menor será la temperatura alcanzada y viceversa.

3.4.- Duración

En trabajos anteriores con la base de datos de 1989 a 1993 (Canalejo *et al*, 1993,1994; Carretero *et al*, 1993; Martín *et al*, 1994; Elvira *et al*, 1996) se calculó la duración de un SCM como el intervalo temporal entre la aparición de las primeras señales del área de -32°C hasta que estas desaparecían. Utilizando este criterio se ha obtenido un valor medio de 11:30 horas, aunque existen sistemas que pueden alargarse mas de 24 horas. La duración resultó un parámetro difícil de medir debido a la componente de subjetividad que tiene el método, sobre todo en la determinación del punto final donde se considera que el SCM desaparece. Gran parte de los SCM en su fase de disipación se fraccionan y a veces es difícil decidir con que parte continuar el estudio. Por otro lado también en esta fase de su ciclo de vida la única parte que permanece del SCM es nubosidad estratiforme con temperaturas relativamente altas (-32 ó -36°C), que puede perdurar gran número de horas. Decidir en estos casos en que momento “muere” el SCM puede afectar notablemente al

cálculo de las duraciones medias, ciclo de vida, trayectoria final, etc. Por este motivo se definieron 4 puntos de referencia en el ciclo de vida de los SCM, elegidos teniendo en cuenta únicamente el tamaño bajo la isoterma de -52°C con el siguiente criterio:

a) P1 ó primeras tormentas: Área (-52°C) $> 0 \text{ Km}^2$. Generalmente, en el momento que aparece la señal de esta temperatura en las imágenes de IR, la nubosidad suele crecer, tanto en extensión horizontal como en desarrollo vertical, de forma relativamente rápida. Al elegir el primer punto de esta forma evitamos la ambigüedad que se producía con la temperatura de -32°C , en la que la primera señal en las imágenes podía surgir horas antes que el resto de las temperaturas mas frías, creciendo y disminuyendo en tamaño de forma aleatoria.

b) P2 ó inicio: Área (-52°C) $\geq 10000 \text{ Km}^2$. Valor que se eligió como umbral a la hora de considerar un sistema nuboso como SCM en la base de datos.

c) P3 ó máxima extensión: Área (-52°C) máxima

d) P4 ó disipación: Área (-52°C) $< 10.000 \text{ km}^2$. Por debajo de este tamaño generalmente los SCM presentaban varios núcleos con esta temperatura y decidir con cual de ellos se continuaba el estudio introducía una gran componente de subjetividad.

Desde P1 hasta P3 se considera que los sistemas están en la fase de desarrollo ya que el área bajo la isoterma de -52°C crece hasta alcanzar el máximo en el punto P3 a partir del cual, y hasta alcanzar el punto P4, estarían en la fase de disipación. El tiempo medio invertido por los sistemas en cada una de las fases fue de 6 y 3 horas respectivamente. Para el ciclo de vida completo se obtiene pues una duración media de 9 horas. En otras climatologías como la de Laing y Fritsch (1997) se obtuvieron valores medios de 10 horas para los CCM, si bien los criterios que tomaron para calcular las duraciones fueron los de Maddox (1980). Al observar los resultados parece que la etapa de desarrollo es más larga que la de disipación, sin embargo este resultado es consecuencia de que la disipación la hemos truncado en el valor de 10000 Km^2 . Si se divide el intervalo de desarrollo por el punto P2 obtenemos 3:30 (desde P1 hasta P2) y 3:00 horas (desde P2 hasta P3), tiempos ya comparables al obtenido para la fase de disipación.

La correlación entre las áreas máximas y la duración total (P1 a P4), para -32°C , es bastante alta (0.7993), y va disminuyendo con la temperatura hasta un valor de tan solo 0.4521 para las áreas máximas de -52°C . Si, por el contrario, consideramos como duración el periodo comprendido entre los puntos P2 y P4, es el área de -44°C la que presenta una mejor correlación (0.7016). En este caso, el coeficiente de correlación con el área de -52°C es de 0.6266. En definitiva, parece que existe una cierta tendencia a que los SCM más grandes tengan una duración mayor. Este resultado fue también obtenido por Tollerud, Augustine y Jamison (1992) en el estudio de 1000 SCM en EEUU, midiendo la duración desde el inicio hasta la disipación (definieron el inicio y la disipación exactamente igual a como se ha hecho en nuestro estudio). También obtuvieron el mismo resultado Laing y Fritsch (1997) para los CCM con coeficientes de correlación, para el área de -32°C , de 0.385 para los meses de primavera/otoño y 0.57 para el verano.

3.5.- Ciclo Diurno

Con la distribución horaria del ciclo de vida de los SCM se trata de analizar si los sistemas tienen una evolución diurna o nocturna y el momento del día en el que suelen aparecer. Para ello se toman como referencia el punto en que surgen las primeras tormentas, P1, y el momento de máxima extensión, punto P3 y se calculan las distribuciones con respecto a la hora del día. Para el primer punto se ha obtenido que las primeras tormentas suelen surgir durante la tarde, con un máximo entre 12 y las 18 horas. En cuanto al momento de máxima extensión, presenta un máximo al final de la tarde, principalmente entre las 18 y las 21 horas (figura 8). Sin embargo, estos resultados no están de acuerdo con los obtenidos por otros autores para los CCM en todo el mundo (Laing and Fritsch, 1997), ya que estos tienen un ciclo de vida predominantemente nocturno. Localizan el momento de las primeras tormentas al final de la tarde, la iniciación a primeras horas de la noche, la máxima extensión pasada la media noche y se disipan poco después el amanecer, contrariamente a lo que se ha obtenido con nuestra muestra de SCM en la que el ciclo diurno parece estar relacionado de forma directa con el ciclo de radiación diurna.

Por último se separó la muestra de SCM por meses y se estudió la distribución del punto P1. Se vio que para los meses de agosto y septiembre el máximo estaba localizado entre las 12 y las 18 horas, igual al máximo obtenido en la muestra completa, mientras que para los meses de octubre y noviembre la distribución horaria era regular. Resultados que indican que la posible conexión con el ciclo de radiación diurna sería más acusado en los meses de agosto y septiembre que en octubre y noviembre (figura 9).

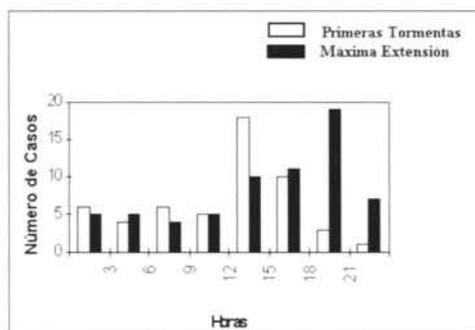


Figura 8.- Distribución horaria de las primeras tormentas y máxima extensión.

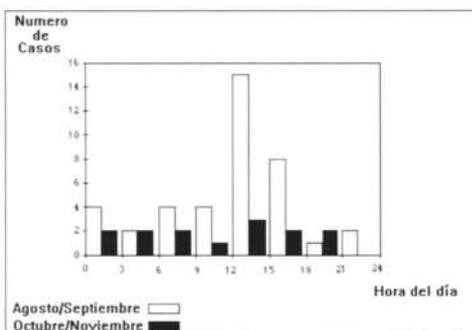


Figura 9.- Distribución horaria de las primeras tormentas por meses.

3.6.- Movimiento

El movimiento de los SCM se estudió a partir de la posición del núcleo más frío del sistema, que se reflejaba en la pantalla del ordenador gracias al realce al que eran sometidas las imágenes. La identificación es, pues, subjetiva, ya que manualmente se localizaba el cursor en el centro del color que reflejaba la temperatura más fría en cada momento. Es por ello que la medida no está exenta de cierto error, si bien se piensa que no es

demasiado elevado ya que el área más fría siempre es muy pequeña. Por otro lado, cuando aparecían distintos núcleos con igual color, siempre se intentó dar continuidad a la posición a partir de la imagen anterior, con objeto de evitar zigzags en la trayectoria irrelevantes a la hora de estudiar el movimiento global del sistema.

A partir de la evolución temporal de las posiciones anteriores se estudiaron la dirección y velocidad de cada uno de los sistemas. Para ello se dividió la trayectoria total en los tramos siguientes: crecimiento (tramo13), desde P1 hasta P3 y disipación, desde P3 hasta P4 (tramo34). Al ser el primer tramo muy largo se dividió, teniendo en cuenta el punto P2, en tramo12 y tramo23.

Como paso previo al estudio estadístico del movimiento se analizaron las posiciones de los puntos P1, P2, P3 y P4. Con respecto a la localización de las primeras tormentas es interesante señalar que el 28% (15 casos) de los SCM surgen sobre el mar, mientras que la mayoría, 64% (35 casos) surgen en tierra. El resto de los sistemas, 4 casos (8%), se han considerado como costeros. Este resultado coincide con el obtenido para los CCM en todo el globo estudiados por Laing and Fritsch (1997), si bien la proporción de sistemas terrestres en su caso fue mucho más elevada con un 91.6%. Por otro lado, al estudiar el ciclo diurno de los terrestres se observó que el máximo se producía durante la tarde, entre las 12 y las 18 horas, mientras que los marítimos no muestran un máximo claramente definido.

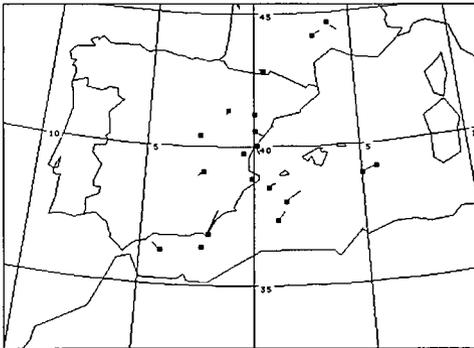


Figura 10.- Localización geográfica de los tramos cuasi-estacionarios.

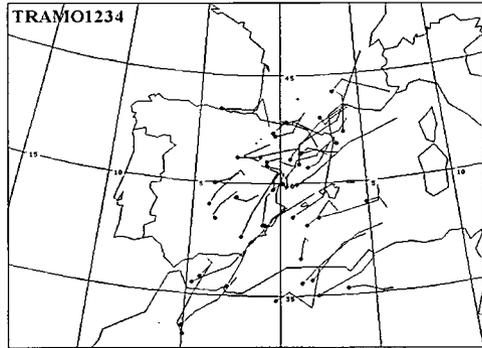


Figura 11.- Trayectorias desde P1 hasta P4, pasando por P2 y P3 para SCM móviles.

Para el estudio de las trayectorias se dividió la muestra teniendo en cuenta una velocidad umbral de 15 Km/h, por debajo del cual un SCM era considerado como cuasi-estacionario. Con este criterio se observó un predominio claro de los SCM móviles con el 88% (figura 12) frente al 12% de cuasi-estacionarios (figura 10). Hay que recordar que este estudio se está llevando a cabo por tramos de la trayectoria total de los SCM, por ello un sistema será cuasi-estacionario si el conjunto de sus tres tramos lo es. Realizando esta unión para cada SCM se ha obtenido que ningún sistema es cuasi-estacionario en todo su ciclo de vida.

Dentro del ciclo de vida de un SCM, la fase de crecimiento parece la más favorable para que el SCM sea cuasi-estacionario, con un 95% frente al 5% que representaría la fase

de disipación. Resultado que parece lógico ya que en la fase de disipación la nubosidad suele estar conducida por el viento en niveles medios-altos, en general viento fuerte que impediría que la nubosidad quede anclada en un mismo lugar. No así en la fase de crecimiento, en la que la alimentación en niveles bajos (y por lo tanto el viento en ese nivel) parece fundamental. Otras causas que podrían explicar el carácter cuasi-estacionario de los sistemas podrían ser, por ejemplo, los factores orográficos a través de la distribución tierra/mar. El resultado es que parece existir un ligero predominio de los terrestres (58%) frente a los marítimos (42%), sin embargo el reducido número de casos (20) hace que esta conclusión no pueda ser definitiva. Aunque los SCM cuasi-estacionarios representan una parte minoritaria de la muestra no por ello son menos importantes ya que al permanecer anclados durante mucho tiempo sobre una misma zona pueden llegar a producir grandes cantidades de precipitación acumulada.

Observando las localizaciones de los puntos en su conjunto se vio que a medida que se va pasando desde las primeras tormentas al inicio, máxima extensión y por último a la disipación, la nube de puntos se va desplazando hacia el mar en dirección NE, hecho que resulta mas evidente al observar la dirección más probable para cada uno de los tramos. La figura 11 muestra la trayectoria total para los SCM móviles, pasando por cada uno de los puntos definidos, y se aprecia claramente la desviación general hacia el este. Por otro lado, se observa que las trayectorias totales no son rectilíneas, por lo que queda justificado el estudio en varios tramos y no como una trayectoria única.

Con objeto de estudiar con más detalle la dirección más probable del movimiento, se contó el número de tramos que apuntaban hacia un intervalo angular determinado, de 30° en 30° y se calculó para cada uno de ellos la distancia recorrida y velocidad media (figura 12). Lo primero que llama la atención es que ningún sistema se mueve entre 180 y 270° y solamente el 8% de los sistemas se mueven hacia el oeste, todos ellos en el cuadrante noroeste, frente a la inmensa mayoría, 92%, que se desplazan hacia el este. Es por ello que a la propagación de los SCM hacia el oeste (entre 180 y 360°) la llamaremos dirección o propagación anómala. Todos los tramos con dirección anómala son terrestres, salvo uno que se puede clasificar como costero aunque su trayectoria se dirige claramente hacia tierra. Al calcular las velocidades medias en cada dirección para el conjunto de los tramos se observa que los que tienen dirección anómala tienen velocidades medias (28 Km/h) mucho más pequeñas que los de dirección E (48 Km./h).

Para cada uno de los tramos se ha realizado la misma distribución angular de velocidades y de número de casos que se hizo para el conjunto de los tramos. A partir de los resultados, se ha construido una trayectoria tipo (figura 13), excluyendo del cálculo las direcciones que hemos considerado como anómalas. Según esta trayectoria, los SCM se desplazarían hacia el noreste desde latitudes más bajas hacia las más altas, curvándose a la derecha y aumentando su velocidad de traslación a medida que avanzan.

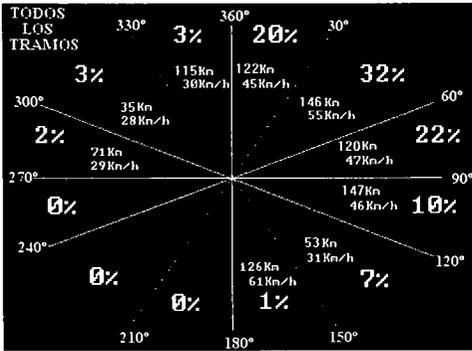


Figura 12. - Distribución de la frecuencia de los tramos móviles en direcciones de 30° en 30°, con distancias y velocidades medias.

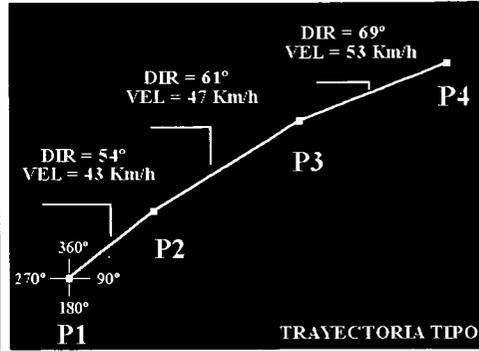


Figura 13. - Trayectoria tipo de SCM.

3.7. - Distribución geográfica

Con objeto de tener una idea de la distribución espacial de SCM, se ha contabilizado el número de veces que dentro de cada caja de 1°x1° se ha detectado la presencia de un SCM (en cualquiera de sus fases) en las imágenes semihorarias IR del Meteosat durante el periodo considerado. En la figura 14 se puede observar como el máximo (11 SCM) se presenta frente a las costas de Gerona, máximo que se extiende hacia el NE introduciéndose en el Golfo de León y hacia el SE con un máximo secundario (10 SCM) sobre el Golfo de Valencia. Al sur de este máximo secundario existe una zona de fuerte gradiente con un mínimo de SCM entre las Baleares y la costa africana.

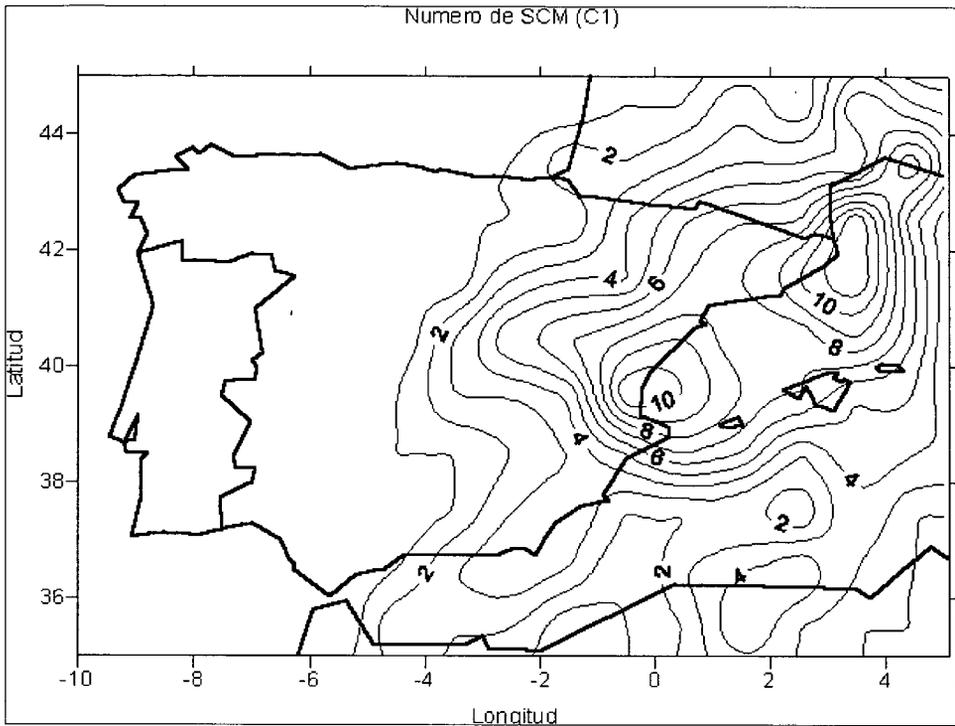


Figura 14.- Número de SCM detectados en cualquiera de sus fases.

4.- CICLO DE VIDA DE LOS SCM

De una manera tradicional el ciclo de vida de los SCM se ha venido representando por la evolución temporal de las áreas de toques nubosos contenidas bajo diferentes temperaturas de brillo (figura 15) y se han definido varias etapas de este ciclo de vida, la mayoría de ellas de una manera arbitraria. Así, Maddox (1980) distingue cuatro etapas en el ciclo de vida de los CCM: génesis, desarrollo, madurez y disipación; la transición de una fase a otra viene definida por la superación de ciertos umbrales arbitrarios en las áreas consideradas. En otros trabajos se consideran umbrales variables (también arbitrarios) dependiendo de la definición de CCM o SCM que se utilice, pero de manera general, y como denominador común, se suele distinguir al menos tres fases en el ciclo de vida: desarrollo o crecimiento, madurez y disipación.

En la etapa de crecimiento predominan los desarrollos convectivos fuertes (Zipser, 1982) y en las imágenes de satélite se observa un crecimiento más o menos rápido de todas las áreas (bajo diferentes isotermas). En la fase de madurez comienzan a declinar los toques más fríos y, aunque aún se registra convección profunda, se desarrolla un movimiento ascendente de mesoescala en niveles medios que contribuye a la expansión de la nubosidad estratiforme con toques más cálidos. Por último la etapa de disipación viene

marcada por el decaimiento de la convección activa al tiempo que el escudo nuboso de tipo estratiforme y con topes más cálidos aún puede persistir durante un cierto tiempo.

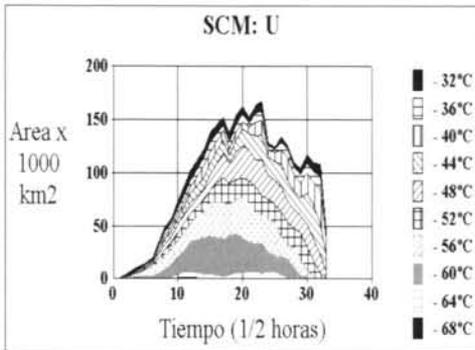


Figura 15.- Evolución temporal de las áreas bajo diferentes isoterms del SCM U/1991

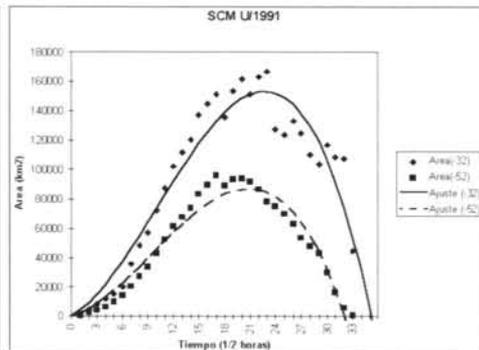


Figura 16.- Ajuste a un polinomio de tercer grado de la evolución temporal de las áreas bajo las isoterms de -32° y -52°C para el SCM U/1991.

La evolución de la variación temporal de las áreas bajo diferentes isoterms de los SCM estudiados se ajusta en general al esquema expuesto anteriormente salvo para el caso en que las interacciones entre SCM (fusiones, etc.) perturben este ciclo de vida. Con objeto de representar de una manera sencilla esta evolución temporal y obtener así un modelo simplificado, se ha procedido a ajustarlo a una curva teórica. Después de realizar varios intentos con distintos tipos de funciones se llegó a la conclusión de que un ajuste por mínimos cuadrados a una porción de un polinomio de tercer grado sin termino independiente puede ser suficiente para el caso de evolución de las áreas. El polinomio tendría la forma:

$$A(T)=a(T) t^3 + b(T) t^2 + c(T)$$

donde A(T) es el área en miles de km² bajo la isoterma T y t el tiempo (en 1/2 horas) desde el inicio del sistema. En la figura 16 se presentan estas curvas ajustadas para las áreas de -32°C y -52°C en el caso del SCM U/91. Para este caso particular los coeficientes de correlación obtenidos han sido de 0.9811 para el área de -32°C y 0.9828 para la de -52°C.

Se ha procedido a ajustar por el método de los mínimos cuadrados a polinomios de tercer grado la evolución de todos los SCM de la muestra salvo para aquellos casos en que esa evolución venía marcada por interacciones con otros SCM y en cuyo caso el ciclo de vida resultaba más complejo. Del total de 67 casos, 46 se han podido ajustar (69%) y en la mayoría de ellos el coeficiente de correlación entre las curvas reales y ajustadas era próximo o superior a 0.9.

Dadas las diferentes extensiones y duraciones de los SCM para la obtención de un modelo medio de evolución es necesario proceder a algún tipo de normalización. Para ello

hemos tomado como referencia la evolución del área de -52°C , de manera que haremos que el área máxima de -52°C $\{A_x (-52^{\circ})\}$ sea igual a la unidad (para ello basta con dividir todas las áreas por $A_x (-52^{\circ}\text{C})$) y que la duración del SCM referida al área de -52°C sea también la unidad (dividiendo el tiempo por la duración de la evolución del área de -52°C : t_n). De esta manera podemos representar todos los SCM en un marco de referencia común. Así, si en la ecuación anterior hacemos el cambio de variable $t^* = t / t_n$ (donde t_n es la duración del SCM) y dividimos ambos miembros por A_x (área máxima de -52°C del SCM), obtendremos una ecuación del tipo:

$$A^*(T) = a^*(T) t^{*3} + b^*(T) t^{*2} + c^*(T) t$$

que representa la ecuación de ajuste normalizada y cuyos coeficientes vienen dados por:

$$a^*(T) = a(T) (A_x / t_n^3) \quad b^*(T) = b(T) (A_x / t_n^2) \quad c^*(T) = c(T) (A_x / t_n)$$

Se procedió a normalizar todos los ajustes calculados y se promediaron los coeficientes a^* , b^* y c^* , obteniéndose así las ecuaciones de un modelo de evolución normalizado. Utilizando los valores medios de la muestra de A_x y t_n se puede obtener ahora el modelo medio absoluto de evolución.

El valor medio de $A_x (-52^{\circ}\text{C})$ para la muestra con que se ha confeccionado el modelo es de 39.544 km^2 mientras que para la muestra total era de 41.443 km^2 , por tanto, a efectos del modelo tomaremos un área de referencia de 40.000 km^2 . Como duración media tomaremos la de la muestra utilizada en el ajuste con un valor de 9 horas (para el área de -52°C). Utilizando estos dos valores podemos calcular los valores absolutos para el modelo medio de evolución que se presentan en la Tabla I y que se ha representado en la figura 17.

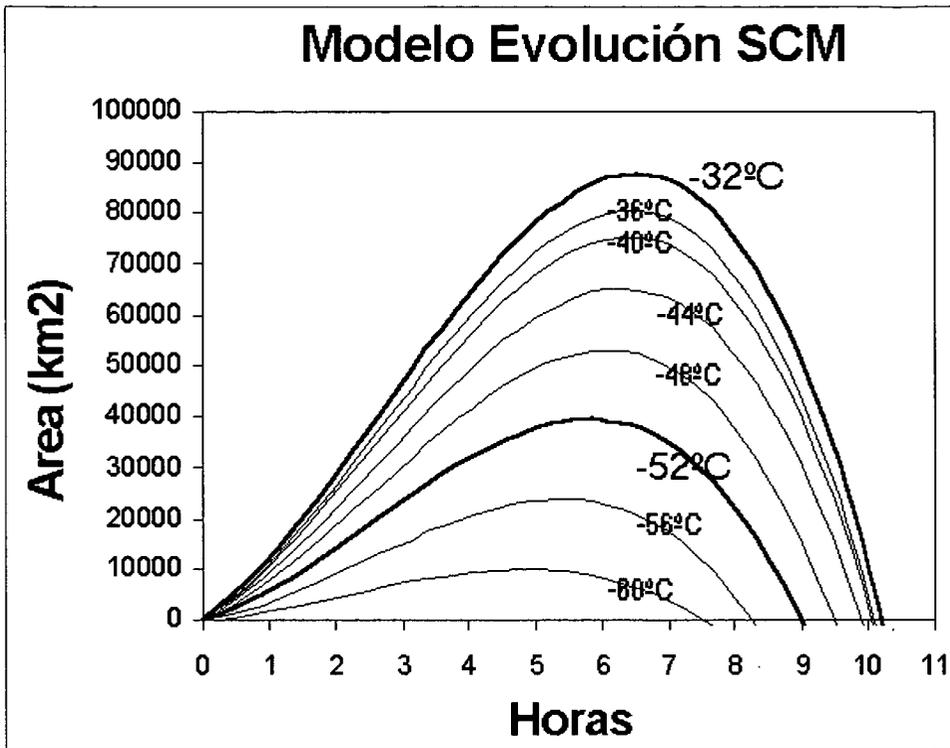


Figura 17.- Modelo medio de evolución de los SCM

Este modelo simplificado recoge las características más importantes del ciclo de vida que se han observado en el estudio de la muestra de SCM: crecimiento de todas las áreas hasta alcanzar su valor máximo seguido de un decrecimiento más rápido y además, se puede observar el desfase existente entre los distintos momentos en que se alcanza el área máxima según las diferentes temperaturas. Las áreas correspondientes a las temperaturas más frías alcanzan antes su máxima extensión y cuando estas comienzan a decrecer, las áreas cálidas aún siguen creciendo durante un cierto tiempo, así por ejemplo, una vez que el área más fría (-60°C) ya empieza a decrecer, el área de -32°C todavía continúa creciendo durante una hora y media más. Este comportamiento está de acuerdo con el modelo conceptual de ciclo de vida en el que durante la fase inicial de crecimiento el SCM está dominado por los fuertes desarrollos convectivos y que posteriormente la circulación de mesoescala que se desarrolla contribuye al mantenimiento y expansión de la nubosidad estratiforme, apareciendo por tanto un desfase entre las áreas frías y más cálidas.

Temperatura (°C)	Area Máxima (Km ²)	Duración (horas)	Hora Máximo
-32	87.600	10.2	6.5
-36	80.400	10.1	6.5
-40	75.200	10.1	6.4
-44	65.200	9.9	6.3
-48	53.200	9.5	6.0
-52	40.000	9.0	5.9
-56	24.000	8.3	5.4
-60	10.000	7.6	4.9

Tabla I

Una forma alternativa de representar el ciclo de vida de los SCM es mediante el denominado índice de volumen (Szejwach and Desbois, 1978) definido de la siguiente manera:

$$V = \sum_{i>i_0} V_i = \sum_{i>i_0} \frac{\Delta T_i}{\Gamma_i} N_i S$$

donde: V_i representa el volumen de una nube por encima del nivel i_0 (correspondiente a una temperatura T_0), T_i la diferencia de temperaturas entre los niveles i e $i+1$, Γ_i el gradiente térmico vertical en el nivel i , N_i el número de pixeles de la clase i , S el área de un pixel e i_0 el nivel seleccionado como base.

Básicamente este índice representa el volumen de la nube por encima de una determinada isoterma y por tanto, en principio, debería de aportar algo más de información puesto que resulta función tanto de la superficie del sistema como de su desarrollo vertical. Si suponemos que el gradiente térmico vertical es constante, la ecuación anterior se puede escribir como:

$$V = \sum_{i>i_0} V_i = \frac{1}{\Gamma} \sum_{i>i_0} N_i \Delta T_i S = Cte. \sum_{i>i_0} N_i S$$

ya que en nuestro caso hemos utilizado un intervalo constante entre temperaturas de 4°. Por último utilizaremos como índice de volumen:

$$I_v = \frac{V}{Cte.} = \sum_{i>i_0} N_i S$$

el cual vendrá expresado en km². Este índice se calcula fácilmente sin más que sumar las áreas bajo las distintas isotermas a partir de un nivel de temperatura dado T_0 .

Utilizando el valor de -52°C para T_0 , los valores medios del índice de volumen máximo y área máxima son muy similares (40.000 y 41.000 km²). El mayor número de casos para el I_v se presenta entre 10.000 y 20.000 km² disminuyendo posteriormente de manera acusada, por el contrario, el área máxima (-52°C) tiene su máximo entre 20.000 y

30.000 km². Los valores máximos de ambas variables presentan una alta correlación, con un coeficiente de correlación lineal de 0.9489.

El cociente entre el Iv y el área (R=Iv/A) representa una medida relativa del grado de desarrollo vertical del SCM respecto de su extensión horizontal. El valor medio obtenido de este cociente (solo para cuando A>10.000) es de 0.71 pero se observa, en general, como este cociente es mayor en la fase de crecimiento (valor medio de 0.84) que en la de decrecimiento (valor medio de 0.60), aspecto este que ya había sido puesto de manifiesto por Arnaud et al., 1992. La relación entre los valores máximos (R_x=Iv máx/A máx) oscila entre 0.15 (desarrollo débil) hasta 1.8 (fuerte desarrollo), con un valor medio de 0.81. La mayoría de los valores se dan entre 0.6 y 1.0.

Se ha procedido a obtener un nuevo ajuste por mínimos cuadrados a polinomios de tercer grado de las dos variables que nos interesan, el área con temperaturas inferiores a -52°C y el índice de volumen, tomado este como la suma de las áreas con temperaturas inferiores a -52°C. En esta ocasión además se ha optado por realizar este ajuste sólo para el período del ciclo de vida en que el área de -52°C es igual o superior a 10.000 km² con objeto de evitar en lo posible las incertidumbres en las series de datos en los instantes iniciales y finales del ciclo de vida de los SCM. Utilizando la misma metodología, esto es, procediendo a normalizar las ecuaciones de ajuste, se obtiene como modelo medio de evolución el expresado por las siguientes ecuaciones:

$$A^* = 3.08 t^* - 1.34 t^{*2} - 1.74 t^{*3}$$

$$Iv^* = 4.84 t^* - 6.63 t^{*2} + 1.81 t^{*3}$$

donde A* es el área normalizada de -52°C (por encima de 10000 km²), t* es el tiempo normalizado (t en 1/2 horas dividido por la duración P2-P4) e Iv* el índice de volumen normalizado. Para transformar el modelo normalizado en absoluto basta con transformar de nuevo los coeficientes teniendo en cuenta los valores medios obtenidos de t_n, A_x e Iv_x (13.7, 40.000 y 39.000), modelo medio que se muestra en la figura 18.

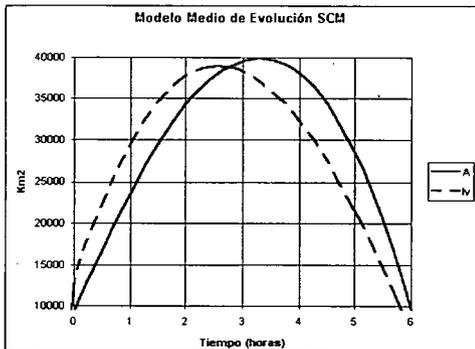


Fig.18.- Modelo medio de evolución formulado mediante la evolución del área e índice de volumen en función del tiempo.

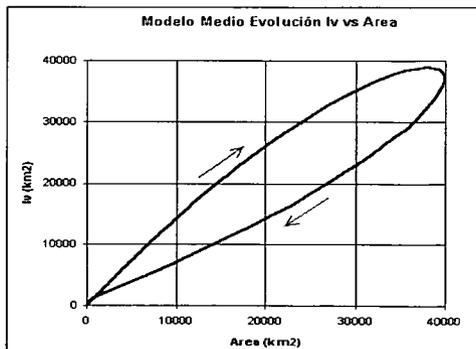


Fig.19.- Modelo medio de evolución del índice de volumen frente al Área.

Como se puede observar, el modelo basado en la evolución temporal del área bajo una isoterma de referencia (en nuestro caso -52°C) y del índice de volumen es muy similar y recoge los aspectos más destacados del formulado en función de la evolución temporal de áreas bajo diferentes isotermas. En particular recoge también el desfase existente entre ambos elementos (áreas frías/áreas cálidas o índice de volumen/área de referencia) y que viene a confirmar la mayor preponderancia de la convección o la convección profunda en la fase de desarrollo de los SCM.

Representando la evolución del índice de volumen frente al área de la superficie utilizada como referencia base (ver figura 19) se obtiene una representación del ciclo de vida del SCM que se asemeja a un proceso de histéresis (Arnaud et al., 1992), caracterizado por una fase de crecimiento en que tanto la superficie como el volumen del sistema crecen (convección activa), posteriormente el volumen deja de crecer aunque la superficie puede continuar creciendo (decaimiento de la convección) y finalmente ambos decrecen (disipación).

La formulación del modelo conceptual usando el índice de volumen presenta mayores facilidades de cara al desarrollo de sistemas de identificación automática y seguimiento de SCM en las imágenes de satélite ya que las áreas con temperaturas más cálidas (-32°C) suelen encontrarse fundidas con otras estructuras nubosas no pertenecientes al SCM en sí. En un seguimiento manual es posible delimitar estas estructuras y eliminarlas del ciclo de vida del SCM, en cambio, en procedimientos automáticos esto resulta extremadamente difícil por lo que hay que recurrir a umbrales de temperatura más bajos.

5.- CONCLUSIONES

Aunque existen climatologías satélite de SCM (ó CCM) para muchas partes del mundo, no existía hasta ahora ninguna centrada en la Península Ibérica, ni siquiera sobre otra parte del continente europeo con la resolución espacial y temporal como la que se ha obtenido en este proyecto. Para la generación de la base de datos, de características únicas en Europa, ha sido necesario visualizar, archivar y procesar cientos de imágenes digitales de satélite, además el procedimiento utilizado, con gran parte de intervención manual, ha supuesto un esfuerzo continuado de las personas que durante los años 1989 a 1993 han realizado dicha labor en el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción.

Aunque ya existían análisis parciales para cada una de las campañas (Riosalido, 1991; Canalejo et al., 1993, 1994; Carretero et al., 1993), se hacía necesario realizar un análisis global que abarcase todo el periodo considerado (5 años) y que diese como resultado un conocimiento más profundo de las características de este tipo de sistemas contribuyendo así a la elaboración de un modelo conceptual regional de SCM, destacaremos aquí las conclusiones más relevantes que se han obtenido del estudio estadístico de la muestra de SCM:

—En primer lugar hay que destacar que este tipo de estructuras convectivas son habituales en el Mediterráneo occidental. El análisis realizado de sus tamaños nos demuestra claramente como se trata de sistemas organizados en la mesoescala, de un orden de magnitud mayor que las tormentas ordinarias, pero menores que los llamados Complejos Con-

vectivos de Mesoescala (como lo demuestra el bajo porcentaje de sistemas que cumplen las condiciones de Maddox). No obstante hay que destacar que estos sistemas alcanzan tamaños máximos (área de -32°C) del orden de 90.000 km^2 (o ejes de 400 Km) y duraciones en torno a las 9 horas.

—En cuanto a su distribución temporal, septiembre es el mes más propicio para la formación de SCM. Geográficamente existe un área muy localizada donde la frecuencia de SCM es mayor, se trata de toda la costa este mediterránea de la Península, con el máximo situado frente a las costas gerundenses y con un máximo secundario focalizado sobre el golfo de Valencia.

—Por lo que se refiere a su ciclo diurno puede decirse que las primeras tormentas suelen aparecer entre las 12 y las 18z alcanzando su máxima extensión a últimas horas de la tarde entre las 18 y las 21z. Los SCM surgen preferentemente sobre tierra y zonas costeras (64%), por lo que se puede pensar que el forzamiento orográfico debe jugar un papel importante en el inicio de las primeras tormentas, pero aún existe un porcentaje bastante alto que nacen en el mar donde hay que pensar en la existencia de otros mecanismos de forzamiento inicial en capas bajas (convergencias locales etc.).

—Una vez formados los SCM tienden a moverse en dirección NE con velocidades entre 40 y 50 km/h curvándose progresivamente más hacia el este a medida que se desplazan. Solo un porcentaje muy pequeño presenta características cuasiestacionarias en algún momento de su ciclo de vida, no obstante hay que reseñar que son precisamente los SCM cuasiestacionarios los que son susceptibles de producir grandes cantidades de precipitación sobre una misma zona por lo que son los que resultan potencialmente más peligrosos.

—El ciclo de vida de los SCM estudiados se caracteriza por una etapa de crecimiento hasta alcanzar un máximo, seguido de una etapa de decrecimiento algo más rápida. El elemento más significativo encontrado es el desfase existente entre el momento en que se alcanzan el máximo las áreas correspondientes a temperaturas de brillo más bajas (topes más elevados) y el resto de áreas (alcanzándose primero los máximos en las áreas más frías). Este desfase viene a confirmar cómo la convección profunda domina durante las fases iniciales del sistema mientras que en la madurez, aún existiendo todavía convección profunda, empieza a desarrollarse un área de topes algo más cálidos soportados por el ascenso a mesoescala, fruto de la circulación interna generada por el propio SCM. No obstante hay que señalar que este ciclo de vida puede verse alterado por la existencia de interacciones y fusiones entre sistemas convectivos.

—Se ha elaborado un modelo normalizado de ciclo de vida de los SCM formulado mediante la evolución temporal de las áreas de dos temperaturas de referencia (-32°C y -52°C) o bien utilizando el denominado índice de volumen. La relación entre este índice y el área de referencia viene a representar la relación entre los desarrollos horizontal y ver-

tical del sistema y se ha probado que el modelo formulado de esta manera retiene las características más importantes del modelo anterior, especialmente el desfase temporal de los máximos que ahora se manifiesta entre el índice de volumen y el área de referencia. Esta característica resulta de suma importancia ya que puede permitir diagnosticar el estado en que se encuentra el SCM y abre una posibilidad para su uso en la predicción inmediata.

En la actualidad el procesado de imágenes y extracción de parámetros de SCM se encuentra totalmente automatizado y los resultados de este estudio, junto con el estudio de otros aspectos referentes a los entornos sinópticos y mesoescales favorables al desarrollo de estos sistemas, están siendo utilizados por el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción para el desarrollo de herramientas y técnicas de predicción inmediata específicamente enfocadas a estas estructuras.

REFERENCIAS

- Arnaud, Y., M. Desbois and J. Maizi. 1992: Automatic tracking and characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures. *J. Appl. Meteor.*, Vol 31, pp. 443-453.
- Augustine J.A. and Howard K.W., 1988: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1985. *Monthly Weather Rev.*, Vol 116, pp. 685-701.
- Benech, B., H. Brunet, V. Jacq, M. Payen, J.C. Rivrain et P. Santurette, 1993: La catastrophe de Vaison-La-Romain et les violentes précipitations de septembre 1992: Aspects Meteorologiques. *La Météorologie 8e série Num. 1*, pp. 72-90.
- Canalejo, M., O. Carretero y R. Riosalido. 1993: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-90. Nota Técnica STAP N°9. INM
- Canalejo, M., O. Carretero y R. Riosalido. 1994: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-92. Nota Técnica STAP N°14. INM
- Carretero, O., M. Canalejo y R. Riosalido. 1993: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-91. Nota Técnica STAP N°12. INM
- Elvira, B., O. Carretero y R. Riosalido. 1996: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-94. Nota Técnica STAP N°24. INM
- Fritsch, J.M., R. J. Kane and C. R. Chelius, 1986: The contribution of mesoscale convective weather systems to the warm season precipitation in the United States. *J. Climate Appl. Meteor.*, 25, 1333-1345.
- Laing, A. and J. M. Fritsch, 1992: Mesoscale convective complexes over the Indian subcontinent. Preprints Fifth Conf. on Mesoscale Processes. Atlanta, Georgia. AMS pp.371-376.
- Laing, A. G. and J. M. Fritsch, 1993: Mesoscale Convective Complexes in Africa. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2254-2263
- Maddox, R., 1980: Mesoscale Convective Complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1374-1387.
- Laing, A. and J. M. Fritsch, 1997: The global population of Mesoscale Convective Complexes. *Q.J.R. Meteorol. soc.* Vol 123, pp. 389-405.
- Maddox, R. A., 1980: An objective technique for separating macroscale and mesoscale features in meteorological data. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1108-1121.

- Maddox R.A., D.M. Rodgers and K.W. Howard, 1982: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1981-Annual Summary. *Monthly Weather Rev.*, Vol 110, pp. 1501-1514.
- McAnelly R.L. and Cotton W.R., 1986: Meso-Beta-Scale characteristics of an episode of Meso-Alfa-Scale Convective Complexes. *Monthly Weather Rev.*, Vol 114, pp.1740-1770
- Martín F., F. Elizaga, O. Carretero y R. Riosalido. 1994: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-93. Nota Técnica STAP Nº15. INM
- Miller, D. and J. M. Fritsch, 1991: Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, 119, 2978-2992.
- Ramis, C., M. Llasat, A. Genovés y A. Jansá, 1994: The october 1987 floods in Catalonia: synoptic and mesoscale mechanisms. *Met. Apps.*, 1, 337-350.
- Rivera A. and R. Riosalido, 1986: Mediterranean Convective Systems as viewed by Meteosat. A Case Study. Proc. 6th Meteosat Scientific Users' Meeting. Amsterdam 25-27 Nov. 1986. EUM P 01, Vol.1
- Riosalido R., A. Rivera and F. Martin, 1988: Development of a mesoscale convective system in the Spanish Mediterranean Area. Proc. 7th Meteosat Scientific Users' Meeting. Madrid 27-30 Sept. 1988. EUM P 04, pp.375-378.
- Rodgers D.M., K. W. Howard and E. C. Johnston, 1983: Annual Summary: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1982. *Monthly Weather Rev.*, Vol 111, pp. 2363-2369.
- Suomi V. E., Fox R., Limaye S.S. and Smith W.L., 1993: McIDAS III: A Modern Interactive Data Access and Analysis System. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, Vol. 22, pp 766-778.
- Szejwach, G. and M. Desbois. 1978: Dynamic Clasification of Mesoscale Cloud Patterns. *J.Appl.Meteor.*, Vol 17, pp.1406-1411
- Tollerud E. I., Augustine J. A. and Jamison B.D., 1992: Cloud top characteristics of Mesoscale Convective Systems in 1986. Preprints Symposium on Weather Forecasting, January 5-10, 1992, Atlanta, Georgia. AMS, pp J3- J7.
- Velasco I. and Fritsch J.M. 1987: Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, Vol 92, pp. 9591-9613.
- Zipser, E.J., 1982: Use of a conceptual model of the life-cycle of mesoscales convective systems to improve very-short-range forecast. in *Nowcasting*, K. Browning (Ed.), Academic Press, New York, 191-204.
- Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, a través del Proyecto CICYT CLI95-1776.