



Ministerio de Medio Ambiente
Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología

NOTA TÉCNICA S.T.A.P. nº 32

**PREDICCIÓN INMEDIATA DE
SISTEMAS CONVECTIVOS DE
MESOESCALA**

**Campaña Experimental
Otoño - 1998**

*Nota Técnica del
Servicio de Técnicas
de Análisis y Predicción (STAP)*

La maquetación de este documento se ha realizado
en el Centro de Documentación Meteorológica del I.N.M.

Edita: Centro de Publicaciones
Secretaría General Técnica
Ministerio de Medio Ambiente ©

NIPO: 310-99-019-4
Depósito Legal: M-14487-1999

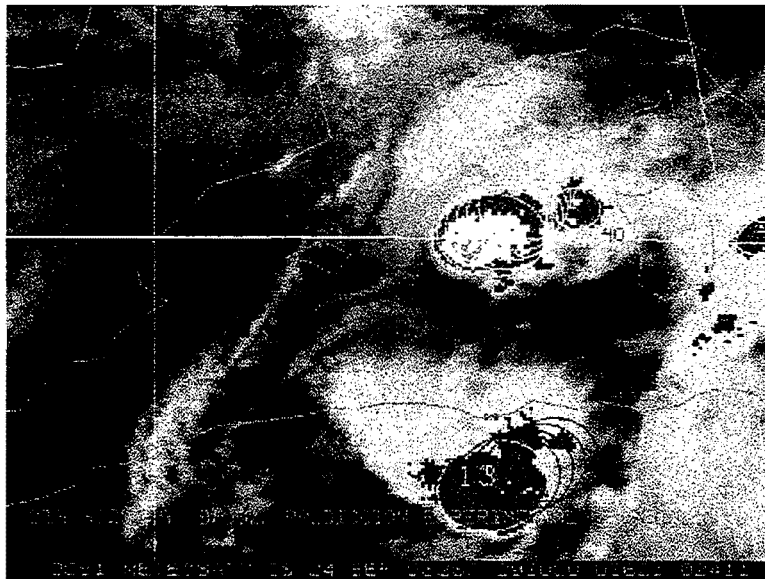
Imprime: Centro de Publicaciones

Impreso en papel reciclado

PREDICCIÓN INMEDIATA DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA

Campaña Experimental Otoño-1998

NOTA TÉCNICA S.T.A.P. N° 32



Ricardo Riosalido Alonso
Olinda Carretero Porris
Fermín Elizaga Rodríguez
Francisco Martín León

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (S.T.A.P.)

Area de Predicción y Aplicaciones
Subdirección General de Redes, Sistemas y Producción Meteorológica



7 8 JUN 1999

NOTA TÉCNICA S.T.A.P. N° 32

PREDICCIÓN INMEDIATA DE SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA. Campaña Experimental Otoño-1998

I.- INTRODUCCIÓN

II.- MODELO DE PREDICCIÓN

- II.1.- Modelo conceptual del ciclo de vida de un SCM
- II.2.- Descripción general del procedimiento
- II.3.- Identificación de SCM
- II.4.- Seguimiento automático de SCM
- II.5.- Extrapolación de SCM

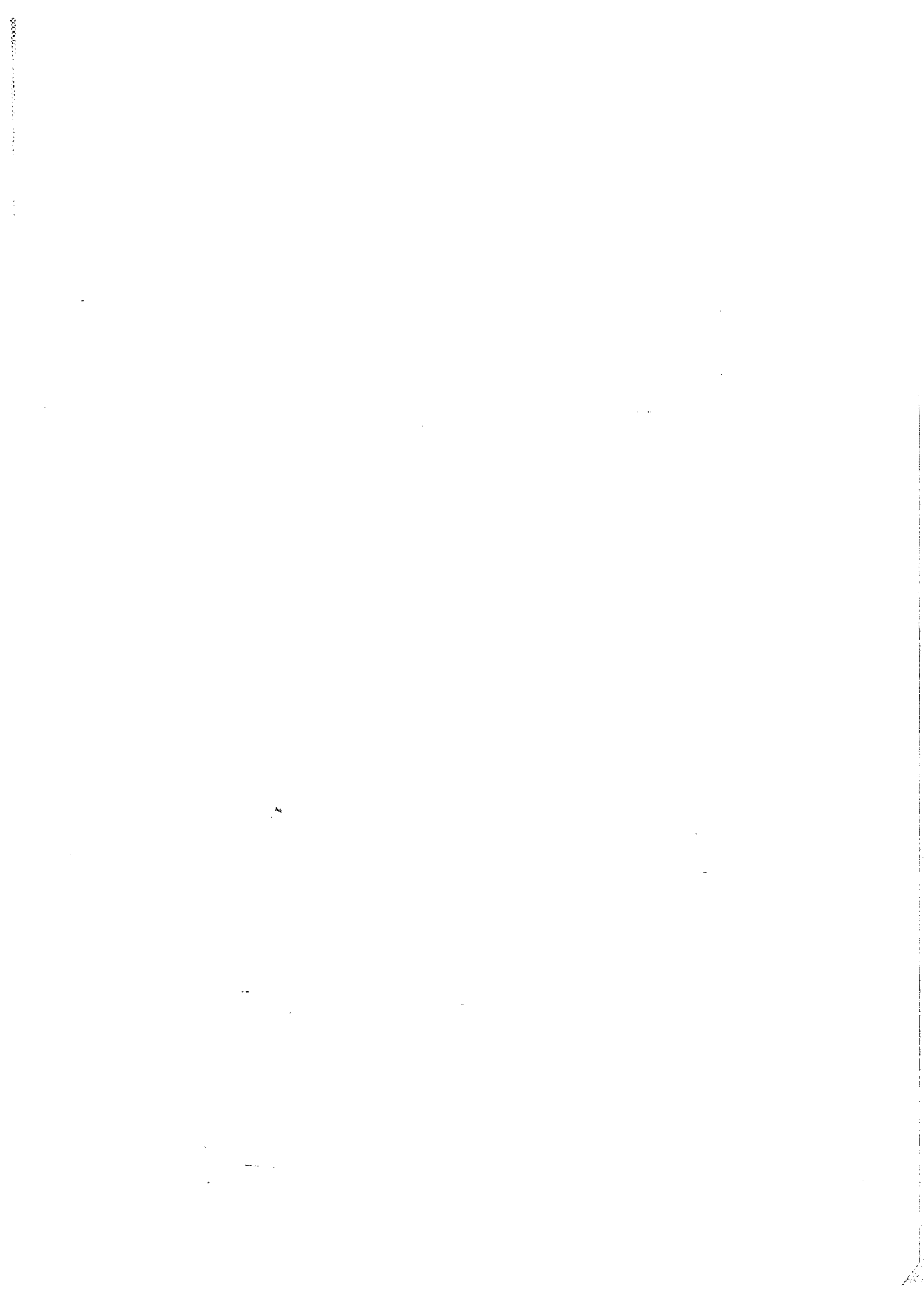
III.- APLICACIÓN A LA CAMPAÑA DE 1998

- III.1.- Descripción de la Campaña Experimental
- III.2.- Evaluación de la Campaña
- III.3.- Problemas identificados y desarrollos futuros

BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I.- Sistemas Convectivos de Mesoescala durante la Campaña 1998

ANEXO II.- Esquemas MD utilizados en el procedimiento.



I.- Introducción

Desde el año 1989 el S.T.A.P. ha venido estudiando de manera sistemática las características satélite de los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) que se producían en otoño en las proximidades de la Península Ibérica y que con frecuencia suelen estar asociados a precipitaciones intensas. Los resultados de estos estudios se han venido recogiendo, más o menos ininterrumpidamente, en sucesivas notas técnicas del STAP. Desde el principio, el objetivo que se marcó fue el de conocer en detalle las características y el comportamiento de este tipo de estructuras con la finalidad de extraer y desarrollar modelos conceptuales que fuesen de utilidad en la predicción a corto y muy corto plazo, es decir, mejorar nuestro conocimiento del fenómeno como medio para mejorar la predicción del mismo.

Una primera fase de este trabajo culminó con una climatología de cinco años (1989-1993) (véase Nota Técnica STAP N°29), en la que el estudio de más de 67 casos ha permitido extraer un conjunto de consecuencias de aplicación práctica. Además, desde 1993 en adelante se ha ido mejorando la metodología utilizada, inicialmente con un alto componente manual, hasta lograr una casi total automatización.

El siguiente paso ha sido el desarrollo de una aplicación práctica basada en los resultados de esta climatología. Se presenta aquí la metodología desarrollada para la predicción inmediata ("Nowcasting") de SCM. El objetivo ha sido desarrollar un procedimiento automático que proporcione predicciones, hasta un plazo de 2 horas, de la evolución (trayectoria y desarrollo) de los SCM detectados en las imágenes IR de satélite.

La particularidad del procedimiento desarrollado estriba en que hace uso de los resultados de la climatología previa mediante la introducción de un "*modelo conceptual de ciclo de vida*" de los SCM, siendo, por tanto, un procedimiento de extrapolación "*no lineal*" en contraposición con las técnicas lineales que se suelen usar en el "*nowcasting*". El reto evidentemente consiste en demostrar que es posible mejorar la pura extrapolación lineal mediante el uso de modelos conceptuales del fenómeno a predecir, aspecto este muy tratado en la literatura meteorológica pero poco aplicado en la práctica. En esta nota técnica se describen los fundamentos del modelo conceptual aplicado así como del procedimiento desarrollado.

Desde el 1 de Septiembre y hasta el 30 de Noviembre se puso en marcha una Campaña Experimental durante la cual se comprobó la posible utilidad del procedimiento automático de seguimiento y predicción inmediata de SCM. Durante este periodo los usuarios (predictores operativos) pudieron utilizar los productos generados a través de sus estaciones de trabajo en tiempo real.

Junto con el procedimiento se desarrolló también una metodología para la verificación objetiva de las predicciones. Los resultados de esta verificación, como se verá en esta nota técnica, demuestran que el modelo de predicción desarrollado proporciona mejores resultados que los obtenidos mediante extrapolación lineal. Asimismo, la valoración subjetiva realizada por los

predictores de la utilidad de los productos en entornos operativos ha sido fundamental para detectar problemas y diseñar la introducción de posibles mejoras.

El modelo de predicción desarrollado se describe a lo largo del capítulo II. Se comienza explicando el modelo conceptual de ciclo de vida de un SCM obtenido en la climatología previa, señalando los aspectos más relevantes que posteriormente serán usados en el modelo de predicción. Se ha prestado especial atención en este capítulo a la descripción de aquellas partes más relevantes del procedimiento, tales como la identificación automática de SCM en las imágenes IR, el cálculo de sus propiedades, el procedimiento de seguimiento automático y por último el modelo de extrapolación.

El capítulo III está dedicado a los resultados obtenidos durante la Campaña Experimental. Se describen brevemente las herramientas McIDAS desarrolladas para la visualización en tiempo real de las predicciones y se analizan los resultados, tanto de la verificación objetiva como de la evaluación subjetiva por parte de los predictores. Por último se señalan los principales problemas encontrados y se apuntan algunas posibles vías de mejora del procedimiento.

En el Anexo I se ha recogido un breve resumen de las características y evolución de todos los SCM registrados durante la Campaña, así como los resultados de las verificaciones individuales.

II.- Modelo de Predicción

II.1.- Modelo conceptual del ciclo de vida de un SCM

II.2.- Descripción general del procedimiento

II.3.- Identificación de SCM

II.3.1.- Algoritmo de identificación

II.3.2.- Cálculo del tamaño de los objetos

II.3.3.- Criterios de tamaño: células

II.3.4.- Representación de cada célula. Elipses

II.4.- Seguimiento automático de SCM

II.4.1.- Preproceso

II.4.2.- Método de seguimiento

II.4.2.1.- Planteamiento del problema

II.4.2.2.- Definición del conjunto de tests

II.4.2.3.- Algoritmo de seguimiento

II.4.3.- Postproceso: Diagnósis

II.4.3.1.- Asignación de etiquetas

II.4.3.2.- Cálculo de propiedades de los SCM

II.5.- Extrapolación de SCM

II.5.1.- Diagnóstico de la fase del SCM

II.5.2.- Modelo de predicción de áreas

II.5.3.- Modelo de predicción del movimiento



II.1.- Modelo conceptual del ciclo de vida de un SCM

El establecimiento de un modelo conceptual de evolución o de ciclo de vida de los SCM, a partir de las imágenes de satélite, es un aspecto importante para poder realizar extrapolaciones tanto objetivas como subjetivas a muy corto plazo. Es evidente que este modelo proporcionará sólo una visión parcial (la del satélite) puesto que no tiene en cuenta otros elementos como pueden ser su estructura interna, precipitación asociada, etc., para lo cual sería necesario acudir a otras fuentes de datos (por ejemplo radar)

De una manera tradicional este ciclo de vida se ha venido representando por la evolución temporal de las áreas de los topes nubosos más fríos. 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 Complejos Convectivos de Mesoescala (CCM): génesis, desarrollo, madurez y disipación. La transición de una fase a otra viene definida por la superación de ciertos umbrales subjetivos en las áreas consideradas. Cotton et al., (1989) también utiliza un ciclo de vida para los CCM marcado por tres puntos predeterminados de antemano para su estudio. 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 suelen distinguir al menos tres fases en el ciclo de vida: desarrollo o crecimiento, madurez y disipación.

Particularizando a los estudios de nuestra zona, en la Fig. II.1.1 se representa el modelo de evolución obtenido a partir del estudio climatológico de los SCM que se desarrollaron en las cercanías de la Península durante el periodo 1989-1993. En la Fig. II.1.1.a se han representado las curvas medias de evolución de las áreas bajo diferentes temperaturas de brillo asociadas a los topes nubosos frente a la duración (normalizadas tomando como referencia el área y la duración de la isoterma de $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$). De esta forma es posible comparar la extensión y duración relativa respecto a la isoterma de $-52\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se pueden observar los desfases existentes entre las curvas medias de evolución de los topes nubosos asociados a diferentes temperaturas. Esta característica es, principalmente, consecuencia de los procesos internos asociados al SCM. Dos hechos destacan de forma llamativa:

- Los máximos alcanzados por las áreas asociadas a diferentes isotermas están desplazados temporalmente, alcanzándose primero para las temperaturas más frías y, posteriormente, para las más cálidas: desfase temporal.
- La fase de disipación es de menor duración que la de crecimiento.

Aunque el modelo conceptual de la Fig. II.1.1.a. recoge ciertas características importantes del ciclo de vida medio de los SCM, resulta más útil combinarlo con el llamado Índice de volumen, Iv, del sistema. Este índice fue introducido por Szejwach and Desbois (1978) y está definido de la siguiente manera:

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

Siendo V_i el volumen de la nube entre los niveles i e $i+1$ definidos por dos temperaturas de brillo, ΔT_i la diferencia de temperatura entre esos dos niveles, N_i el número de pixels en el nivel i , S el área media del pixel y Γ_i el gradiente vertical medio en el nivel i .

El I_v representa el volumen de la nube sobre un nivel de referencia base, i_0 , definido por una temperatura umbral. Si suponemos constante la diferencia de temperatura entre niveles (en nuestro caso -4°C) y Γ_i , se llega a que el I_v toma la expresión:

$$I_v = V \frac{\Gamma}{\Delta T} = \sum_{i>i_0} N_i S$$

De esta forma el I_v se puede calcular sumando las áreas bajo diferentes isotermas a partir de un nivel de referencia. Tomando dicho nivel en -52°C es posible obtener el ciclo de vida medio normalizado del área de -52°C y del I_v , Fig. II.1.1.b.

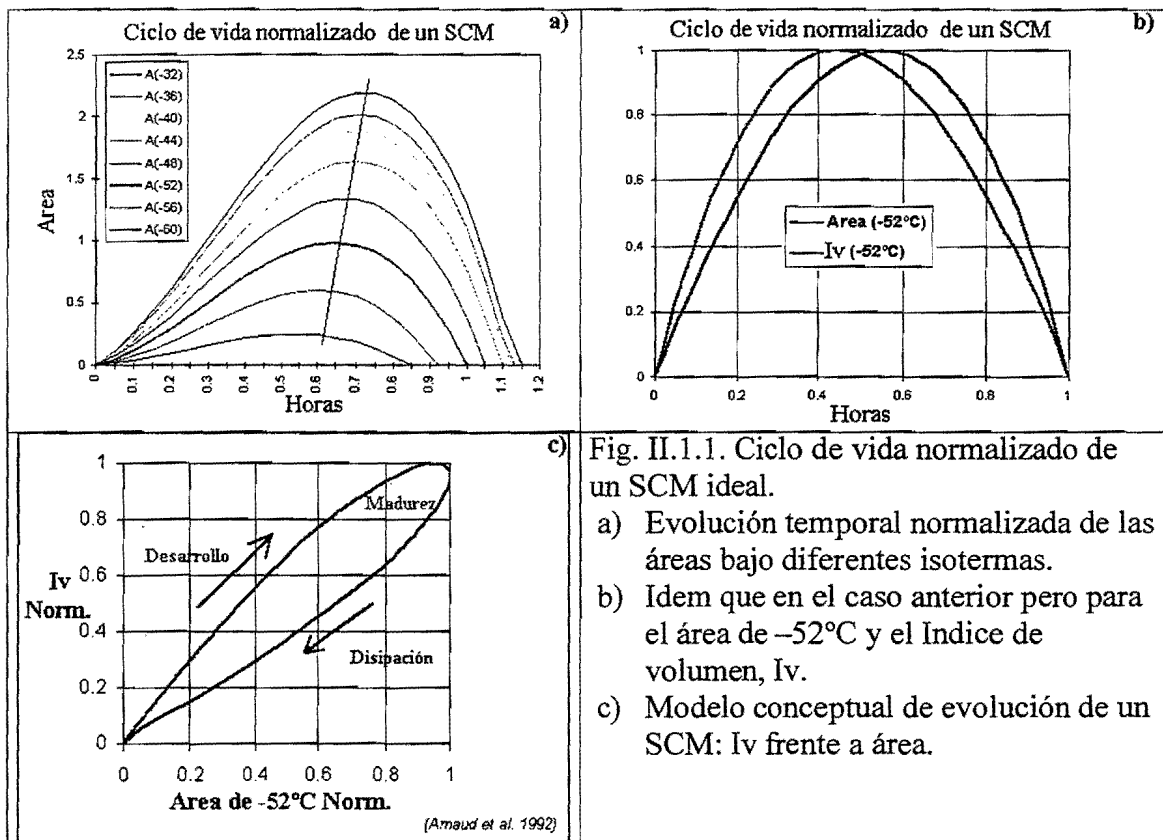


Fig. II.1.1. Ciclo de vida normalizado de un SCM ideal.

- a) Evolución temporal normalizada de las áreas bajo diferentes isotermas.
- b) Idem que en el caso anterior pero para el área de -52°C y el Índice de volumen, I_v .
- c) Modelo conceptual de evolución de un SCM: I_v frente a área.

También podemos observar el desfase temporal existente entre los toques más fríos, mediante el Iv, y la evolución de la isoterma de -52°C . Nótese que en esta última figura, Fig. II.1.1.b, cada curva esta normalizada respecto a cada uno de sus valores máximos. Otra forma de presentar este modelo conceptual es mediante la gráfica de Iv frente al área, tomando como referencia la temperatura de brillo de -52°C , Fig. II.1.1.c. Este ciclo de vida recuerda a un proceso de histéresis, tal y como señalaron Arnaud et al (1992).

De estas figuras parece desprenderse que se puede representar el ciclo de vida usando un umbral de temperatura lo suficientemente bajo, mediante la combinación del área base y el índice de volumen.

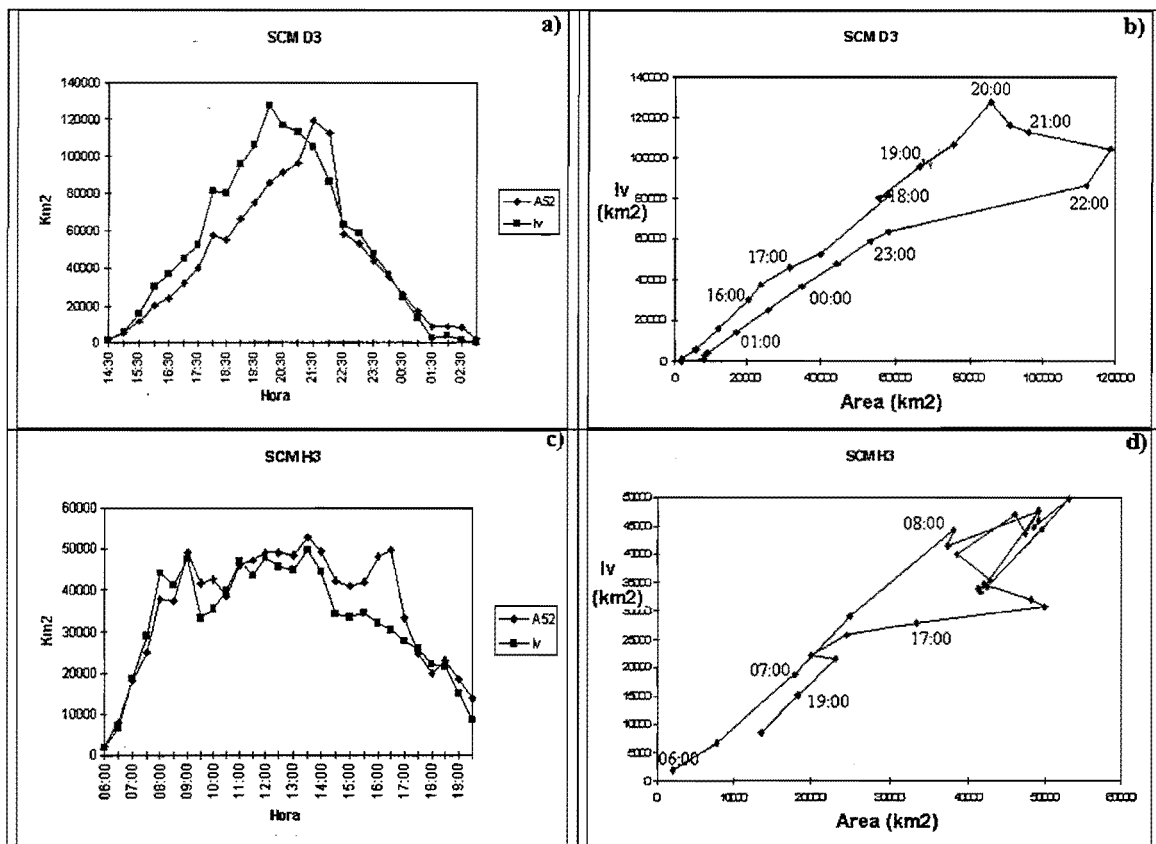


Fig. II.1.2 Ciclo de vida de dos SCM reales
 a) Evolución temporal de A(-52°C) y del Iv b) representación del Iv frente a A para un SCM que se ajusta al modelo conceptual.
 c) Evolución temporal de A(-52°C) y del Iv d) representación del Iv frente a A para un SCM que no se ajusta al modelo conceptual..

Además es posible definir tres fases del ciclo de vida del sistema en función de la evolución del área, A, y el índice de volumen, Iv. De esta forma tenemos:

- Fase de desarrollo. Ambos aumentan con el tiempo
- Fase de madurez. El área crece pero no el Iv.
- Fase de disipación. Ambos decrecen

En la Fig. II.1.2 observamos el ciclo de vida para dos SCM reales. El primero se ajusta, a grosso modo, al modelo conceptual descrito con anterioridad, Fig.II.1.2.a y b. Desgraciadamente las interacciones (fusiones, divisiones, etc.), entre los focos convectivos y su entorno, hacen que ciertas evoluciones reales se alejen del modelo conceptual, como se puede ver en la Fig. II.1.2.c y d.

Así pues, las características más relevantes del modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM que se van a emplear en el procedimiento de predicción son:

- Distinción de la fase en la que se encuentra el SCM (crecimiento, madurez o disipación) a partir de la velocidad de crecimiento del área e Iv.
- Desfase temporal, de aproximadamente de una hora, entre el máximo del Iv y del área.
- Razón de crecimiento que decrece con el tiempo.

II.2.- Descripción general del procedimiento

Pasaremos a describir brevemente y de forma general el procedimiento desarrollado para la predicción a muy corto plazo de SCM. Este es completamente automático y se ejecuta cada 30 minutos. A grandes rasgos los procesos a realizar se pueden observar en el diagrama de flujo de la Fig. II.2.1 y son los siguientes:

- a) Inicialización (creación MD's, etc.)
- b) Lectura y control de calidad de la imagen IR.
- c) Identificación de SCM
- d) Seguimiento de SCM
- e) Extrapolación de SCM

a) La inicialización del procedimiento tiene por objeto preparar un conjunto de variables, áreas, ficheros, MDs (ver los esquemas utilizados en el Anexo II), etc., que serán utilizados por los subsiguientes procesos.

b) La imagen IR del Meteosat es analizada cada media hora en una ventana geográfica determinada, Fig. II.2.2.a, pero en el procedimiento sólo se tienen en cuenta los SCM que caen dentro de la zona geográfica 30°N/50°N de latitud y 10°W/10°E de longitud, Fig. II.2.2. b. En principio se lee la imagen del formato **B** a hh:05:00 y media hora después, hh:35:00.

Una línea es considerada como defectuosa, o "mala", si cumple una de estas dos condiciones:

- El número de veces que aparecen los valores de brillo de 0 ó 255 es igual o mayor que el de un valor umbral predeterminado en nuestras latitudes. Para la campaña de 1998 se fijó en 20. Si todos los elementos de una línea son 0 ó 255 se tendrá una línea en negro o blanco, respectivamente.
- Cuando la diferencia entre los valores de brillo medios entre dos líneas consecutivas, que no estén en blanco o negro, sea superior a un umbral dado que esta fijado en 40.

El programa lee línea por línea la imagen fuente y controla el número de líneas defectuosas que son contiguas y las totales. La imagen es rechazada si posee cinco líneas consecutivas defectuosas o diez erróneas no consecutivas.

Cuando la imagen no tiene la calidad suficiente (líneas blancas, negras y/o desplazadas) o no existe, el programa será lanzado de nuevo 12 minutos más tarde, a hh:17:00 y hh:47:00, usando el formato **A**. En caso de que este formato tampoco supere el nivel de calidad requerido no se generarán productos para esta hora. Hay que señalar que el procedimiento está preparado para corregir las imágenes defectuosas, pero siempre dentro de unos límites predefinidos.

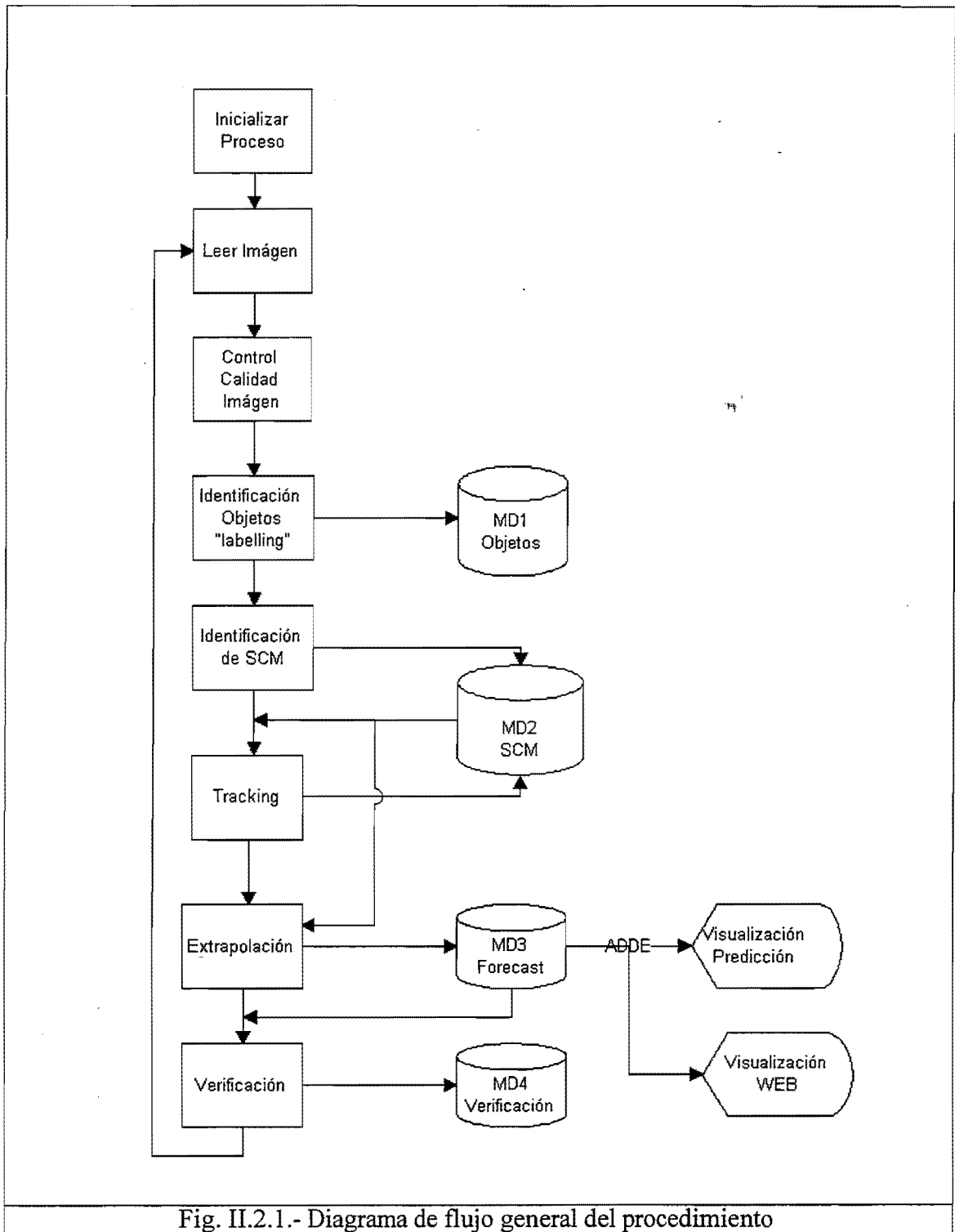


Fig. II.2.1.- Diagrama de flujo general del procedimiento

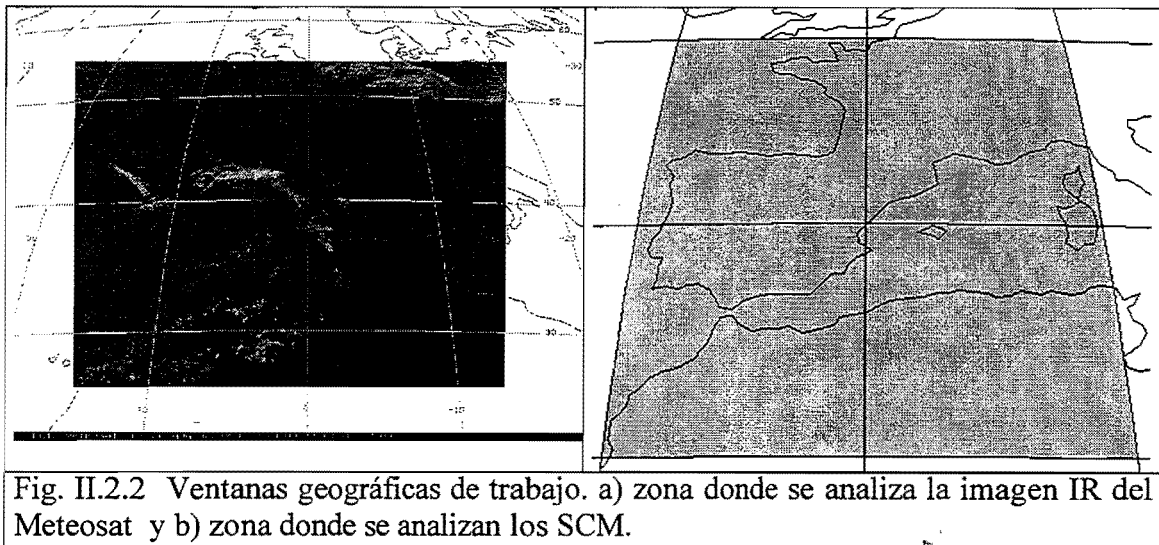


Fig. II.2.2 Ventanas geográficas de trabajo. a) zona donde se analiza la imagen IR del Meteosat y b) zona donde se analizan los SCM.

c) En el análisis de la imagen se detectan todos los pixels con valores de temperatura de brillo iguales o inferiores a -52°C . Formarán parte del mismo 'objeto' los pixels que estén conectados, es decir, pixels que se "toquen" por cualquiera de los lados, pero no por las esquinas. Los objetos se representarán mediante elipses, a través de los parámetros que caracterizan a éstas: área, centroide, excentricidad y orientación. También se extraen otros parámetros significativos como, por ejemplo, la temperatura mínima. Este proceso se detalla en el apartado II.3

d) El seguimiento de los SCM consiste en identificar un mismo sistema en dos imágenes sucesivas. Para ello se utiliza un método basado en la distancia mínima entre los centros de los sistemas detectados en las dos imágenes, y se aplican un conjunto de 'tests' para identificar si el SCM es nuevo, se ha disipado, han existido fusiones, divisiones o, por el contrario, presenta continuidad. El seguimiento se realiza entre imágenes consecutivas (cada media hora). Si falta una imagen el procedimiento utilizará la de la hora anterior. En el caso de que falte más de una imagen intermedia los SCM serán tratados como nuevos, ya que no es posible dar continuidad a los sistemas. Esta parte del procedimiento permite obtener también la velocidad y dirección del movimiento de cada uno de los sistemas que tienen continuidad en más de una imagen. Más detalles en el apartado II.4.

e) La extrapolación del SCM se realiza teniendo en cuenta la fase del sistema y la velocidad con que se está moviendo el centroide. El diagnóstico del SCM se efectúa analizando la evolución en la última media hora (o en la última hora en caso de que haya fallado una imagen) del área bajo la isoterma de -52°C y del IV, obteniéndose la fase en la que se encuentra el SCM. Para la predicción de la trayectoria se aplica, en todas las fases, la velocidad promediada entre la velocidad de la última media hora y la velocidad media a lo largo de todo el ciclo de vida anterior, salvo que el SCM provenga de una fusión o de una división. En estos dos casos no se tiene la velocidad de la última media hora y se utiliza solamente la velocidad media. Por lo que respecta a la predicción del área del SCM, el procedimiento es diferente según la fase en la que se encuentre el SCM. Este punto será ampliado en el apartado II.5.



II.3.- Identificación de SCM

- II.3.1.- Algoritmo de identificación.
- II.3.2.- Cálculo del tamaño de los objetos.
- II.3.3.- Criterios de tamaño: células.
- II.3.4.- Representación de cada célula. Elipses.

En esta parte del procedimiento se analizan las imágenes IR del Meteosat y se identifican objetos que caigan dentro de la ventana de trabajo cuyas temperaturas de brillo sean menores o iguales a -52°C . Del conjunto de objetos se extraen lo que hemos denominado células (objetos cuyo tamaño se encuentra entre dos valores de área determinados, 10.000 y 250.000 Km^2) y posteriormente son representadas mediante elipses. Finalmente las características asociadas a cada una de las elipses, junto con otras asociadas a las células, son almacenadas en un fichero McIDAS de tipo MD (ver Anexo II).

II.3.1.- Algoritmo de identificación.

Las imágenes Meteosat son matrices de datos digitales formadas por una secuencia de líneas numeradas de arriba hacia abajo (norte a sur). Cada línea a su vez esta formada por una secuencia de elementos numerados de izquierda a derecha. Cada pareja (línea, elemento) se denomina pixel y lleva asociado un valor de radiancia o temperatura de brillo y unas coordenadas geográficas. De esta forma el primer paso consistirá en generar una matriz de $n \times m$ ($n = \text{n}^{\circ}$ de líneas de la imagen y $m = \text{n}^{\circ}$ de elementos) con los valores de temperatura de brillo de cada pixel. Para ello se explora la imagen por líneas, de arriba a abajo, y para cada línea se leen los elementos de izquierda a derecha. Supongamos, por ejemplo, que se dispone de una imagen como en la Fig.II.3.1., de 7 filas x 10 columnas. El programa identificará los pixels con temperatura menor o igual de -52°C y separará los objetos que aparecen con diferente color (en blanco aparecen los pixels que no superan el umbral de temperatura elegido).

-52	-65	-48	-50	-51	-52	-51	-60	-52	-49
-50	-53	-46	-50	-53	-49	-65	-56	-52	-43
-50	-48	-65	-69	-65	-62	-69	-52	-53	-50
-60	-50	-68	-72	-70	-71	-62	-53	-53	-49
-52	-54	-63	-48	-53	-52	-70	-51	-56	-51
-48	-50	-52	-48	-53	-50	-67	-69	-52	-51
-51	-50	-48	-50	-49	-47	-48	-49	-51	-50

Fig.II.3.1.- Ejemplo de matriz con temperaturas de brillo en $^{\circ}\text{C}$.

Antes de proceder a una exposición mas detallada del algoritmo es conveniente establecer unas definiciones de trabajo de conceptos básicos sobre las que nos apoyaremos. El concepto de "conexión" o "conectividad" entre pixels (que superen un umbral de temperatura de brillo dado) se introduce haciendo uso del concepto de "vecindad" (véase por ejemplo González and Woods, 1992; Fisher et al., 1996). Se consideran "vecinos" los pixels que se tocan por cualquiera de los cuatro lados y se excluyen los que se tocan por las esquinas, que formarán un objeto diferente. Apoyándonos en esta definición básica, llamaremos objeto (según las imágenes de satélite) a un conjunto de pixels conectados cuya temperatura de brillo es igual o inferior a -52°C .

El algoritmo utilizado para la identificación automática de estos objetos en las imágenes IR se basa en una variante de la técnica conocida como "de etiquetado de componentes conectados" (labelling technique). Consiste básicamente en asignar una "etiqueta" a cada componente conectado identificado y que ya ha sido ampliamente aplicada para la identificación automáticas de células radar (Wiener and Yuter, 1992; Witt and Jhonson, 1993; Riosalido, 1996). El resultado sería una matriz con una etiqueta (numeración correlativa) para cada objeto identificado y con valores de cero para los pixels que no superan la temperatura umbral. En la Fig.II.3.2 se observa el resultado para el ejemplo, donde se han identificado 3 objetos. Obsérvese que, aunque estos se tocan por las esquinas, se considera que no están conectados y se identifican como objetos diferentes.

1	1	0	0	0	2	0	3	3	0
0	1	0	0	3	0	3	3	3	0
0	0	3	3	3	3	3	3	3	0
3	0	3	3	3	3	3	3	3	0
3	3	3	0	3	3	3	0	3	0
0	0	3	0	3	0	3	3	3	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig.II.3.2.- Objetos identificados en el procedimiento de "labelling".

II.3.2.- Cálculo del tamaño de los objetos.

El área para cada objeto se calcula multiplicando el número de pixels por el tamaño del pixel medio ya que se considera que cada objeto está formado por pixels del mismo tamaño (pixel-medio). El cálculo se realiza tomando un rectángulo que contiene al objeto, se miden las longitudes de las dos bases y las dos alturas (en Km), se promedian y se dividen por el número de pixels del lado correspondiente. Por ejemplo para el objeto "3" de la Fig.II.3.2 las bases tienen 9 pixels y las alturas 6. Multiplicando la base por la altura obtenemos el tamaño del pixel medio,

en Km², y multiplicando por el número total de pixels del objeto (33 para el objeto "3" del ejemplo) se obtiene el área.

Para el cálculo de las distancias (longitudes de los lados) se ha utilizado la ecuación:

$$D = 2 \arcsen \left(\frac{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}{2} \right) R$$

$$A = \cos(lat2)\cos(lon2) - \cos(lat1)\cos(lon1)$$

$$B = \cos(lat2)\sen(lon2) - \cos(lat1)\sen(lon1)$$

$$C = \sen(lat2) - \sen(lat1)$$

donde (lat1, lon1) y (lat2, lon2) hacen referencia a las coordenadas terrestres de los pixels inicial y final y R es el radio de la tierra considerado como constante (R=6371 Km).

Se han hecho, pues, dos aproximaciones en el cálculo del tamaño del pixels de cada objeto:

- a) considerar que todo el objeto tiene los pixels del mismo tamaño.
- b) considerar el radio de la tierra como constante.

II.3.3.- Criterios de tamaño: células.

El número de objetos que han podido ser detectados en la imagen puede ser muy grande y no todos ellos son relevantes a la hora de identificar SCM, es por ello que se hace una primera selección por tamaños. Se establecen dos umbrales de área, uno mínimo y otro máximo. En este proyecto el área mínima se establece en 10.000 Km², con el fin de eliminar pequeños objetos que por lo general se vienen abajo antes de superar este tamaño, y el área máxima en 250.000 Km². Este valor se ha escogido teniendo en cuenta la climatología de SCM 1989-93 (Nota Técnica STAP N°29), donde ningún SCM superaba este valor y a la vez se eliminan otras estructuras no asociadas a SCM, como por ejemplo frentes o bandas baroclinas, que pueden superar este tamaño. Aun así, este programa detecta como objetos estructuras nubosas que pueden no estar asociadas a SCM o a núcleos convectivos (cirros orográficos, frentes y bandas nubosas que no superen el área máxima, etc.). Todas estas estructuras no deseadas se irán tratando de eliminar en otros pasos del procedimiento. A los objetos que pasan el control de área se les denomina "células" y se calculan los parámetros siguientes asociados a ellas:

- Tamaño del pixel medio
- Area en Km².
- Temperatura mínima
- Posición geográfica de la temperatura mínima. En caso de que existan varios valores iguales solamente se da la localización del último punto.
- Número de pixels cuya temperatura de brillo es menor o igual a las siguientes: -52, -56, 60, -64, -68 ó -72°C. (El número de pixels se calcula para temperaturas inferiores al umbral ya que solamente se dispone de los datos de temperatura de brillo de la célula, que por la forma en la que se han obtenido, todos son menores o iguales a -52°C).

II.3.4.- Representación de cada célula. Elipses.

La forma, tamaño y orientación de las células se representan mediante una figura geométrica sencilla: una elipse (Fig.II.3.3), de manera que conociendo su centro geográfico (centroide del sistema), radios mayor y menor y orientación geográfica, es posible reproducirlas sobre cualquier cartografía.

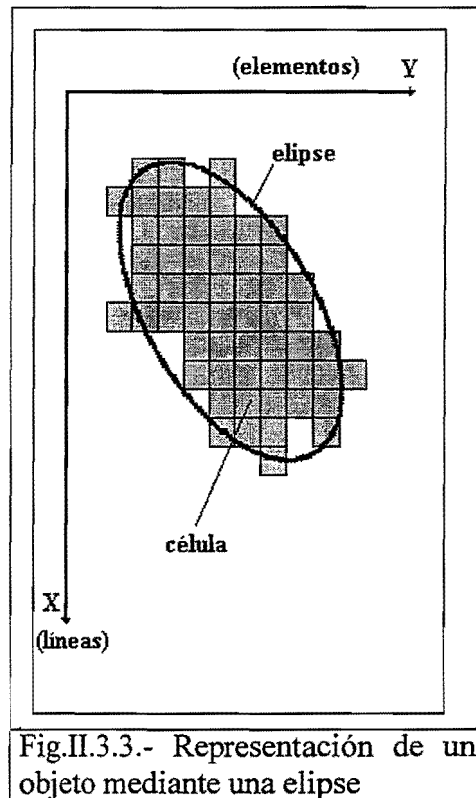


Fig.II.3.3.- Representación de un objeto mediante una elipse

El ajuste a la elipse se hace usando una adaptación de las fórmulas utilizadas para la identificación de células radar (Dixon and Wiener, 1993). Estas fórmulas están definidas para coordenadas cartesianas por lo que ha sido necesario hacer algunas modificaciones en los ejes. En la Fig.II.3.4 aparecen representados los ejes de coordenadas "x" (líneas de imagen, aumentan hacia abajo), e "y" (elementos de imagen, aumentan hacia la derecha), así como los radios mayor y menor y la orientación. La condición que queremos que se cumpla es que el área de la elipse ($\pi \times R \times r$) coincida con el área de la célula (n° de pixels \times tamaño del pixel medio) por lo que es necesario introducir una corrección en los ejes ya que no tienen la misma escala (en Km), como se vio al calcular el tamaño del pixel medio.

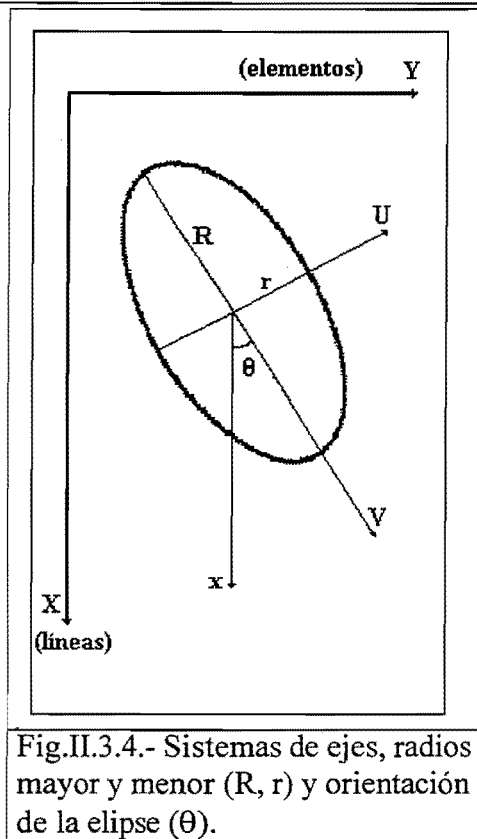


Fig.II.3.4.- Sistemas de ejes, radios mayor y menor (R, r) y orientación de la elipse (θ).

Las ecuaciones que se han utilizado en el ajuste de la célula a la elipse son las siguientes:

* *Centro.*- para cada célula se calcula a partir de:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

siendo "n" el número de pixels de la célula y "x" e "y" las coordenadas (línea, elemento) de cada pixel, asociadas al área extraída de la imagen. El cálculo de la posición geográfica en coordenadas (lat, lon) se hace a partir de las coordenadas (línea, elemento) teniendo en cuenta la resolución de la imagen.

* *Matriz de covarianza.*- Viene expresada por:

$$COV = \begin{pmatrix} d & e \\ e & f \end{pmatrix}$$

donde:

$$d = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (\Delta x)^2$$

$$e = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})(\Delta x)(\Delta y)$$

$$f = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 (\Delta y)^2$$

En este paso es donde introducimos el factor de corrección a los ejes: incremento de "x" es igual a la altura (en líneas) del pixel medio del objeto en Km e incremento de "y" es igual a la base (en elementos), también en Km

* *Autovalores* de la matriz de covarianza formada por los pares (x,y) de coordenadas de la célula.

$$a_1, a_2 = \frac{(d+f) \pm [(d+f)^2 - 4(df - e^2)]^{\frac{1}{2}}}{2}$$

* *Los autovectores* normalizados (v,μ) en coordenadas (u,v) asociados a a₁:

$$\nu = \left[\frac{1}{(1+g^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\mu = -g \nu$$

$$g = \frac{f+e-a_1}{d+e-a_1}$$

* *Orientación de la elipse:*

$$\theta = \text{Arc tg} \left(\frac{\nu}{\mu} \right)$$

* *Radios mayor y menor:*

$$R = \sqrt{a_1} \left(\frac{A}{\pi \sqrt{a_1} \sqrt{a_2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$r = \sqrt{a_2} \left(\frac{A}{\pi \sqrt{a_1} \sqrt{a_2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

donde "A" es el área de la elipse que coincide con el área de la célula: A = (n° de pixels) x (área del pixel medio)

* *Orientación geográfica de la elipse:*

Es importante conocer el ángulo de la elipse, no con referencia a los ejes coordenados (línea, elemento) anteriores, sino con su orientación geográfica (N=0°, S=180°) ya que esto nos va a permitir representar la elipse sobre cualquier cartografía, independientemente de la proyección que tenga. Para ello se calculan las coordenadas (línea, elemento) de un extremo del eje mayor aplicando la fórmula:

$$R_x = \frac{R \cos \theta}{\Delta x}$$

$$R_y = \frac{R \sin \theta}{\Delta y}$$

Estas proyecciones sobre los ejes se hacen considerando la aproximación de que estamos en el plano y no tenemos en cuenta la curvatura de la tierra. A continuación se calculan las coordenadas geográficas (latitud, longitud) utilizando las rutinas de navegación McIDAS y se calcula la orientación geográfica mediante la ecuación:

$$\Theta = \frac{1}{\pi} \arcsen \left[\frac{\text{sen}(\text{lon}1 - \text{lon}2) \text{sen} \left(\frac{\pi}{2} - \text{lat}2 \right)}{\text{sen}(\sqrt{A^2 + B^2 + C^2})} \right]$$

el punto 1 hace referencia al centro de la elipse y el 2 al extremo del radio mayor. Los valores A, B y C son los mismos que se utilizaron para el cálculo del tamaño del pixel medio.

II.4.- Seguimiento automático de SCM

- II.4.1.- Preproceso
 - II.4.2.- Método de seguimiento
 - II.4.2.1.- Planteamiento del problema
 - II.4.2.2.- Definición del conjunto de tests
 - II.4.2.3.- Algoritmo de seguimiento
 - II.4.3.- Postproceso: Diagnósis
 - II.4.3.1.- Asignación de etiquetas
 - II.4.3.2.- Cálculo de propiedades de los SCM
-

Este apartado tiene por objeto la descripción de cómo se realiza el proceso de seguimiento de los SCM. En términos generales, pretende establecer correspondencias entre los objetos (SCM) identificados en una imagen con los objetos identificados en la imagen anterior, diagnosticar y calcular un conjunto de propiedades de cada SCM y generar un nuevo fichero MD con todos los datos necesarios para lanzar el proceso de extrapolación. El proceso completo se desglosa en tres subprocesos: preproceso, seguimiento (o tracking) y postproceso (diagnóstico). Veamos cada uno de ellos.

II.4.1.- Preproceso

Este módulo tiene por objeto preparar los datos para el posterior proceso de seguimiento analizando previamente las diversas circunstancias que se puedan dar. Los datos de entrada son los correspondientes a los objetos detectados en la hora anterior (T) y los de la hora a procesar (T+1).

El programa lee en primer lugar el número de SCM correspondientes a la hora T+1 (N2). Donde se pueden dar los siguientes casos:

- a) $N2 = -1$: significa que la imagen T+1 no está disponible y por tanto finaliza la ejecución del programa.
- b) $N2 = 0$: significa que no existen SCM a la hora T+1, en cuyo caso se procede a marcar como disipados todos los SCM que existan en paso anterior dando por finalizado su seguimiento.
- c) $N2 > 0$: En este caso se obtiene el número de SCM en el paso anterior (N1) (que puede corresponder a la imagen de ½ hora o 1 hora antes). En función de N1 se pueden presentar los siguientes casos:
 - 1) $N1 = -1$: no existen imágenes anteriores, en cuyo caso se procede a marcar como "nuevos" todos los SCM de la imagen T+1 indicando mediante un "flag" la no existencia de imágenes previas.
 - 2) $N1 = 0$: no existen SCM, por tanto, se marcan todos como nuevos desarrollos.
 - 3) $N1 > 0$: existen SCM en el paso anterior y, por tanto, se enlaza con el algoritmo de seguimiento.

En la Fig.II.4.1 se esquematiza el diagrama de flujo de este paso.

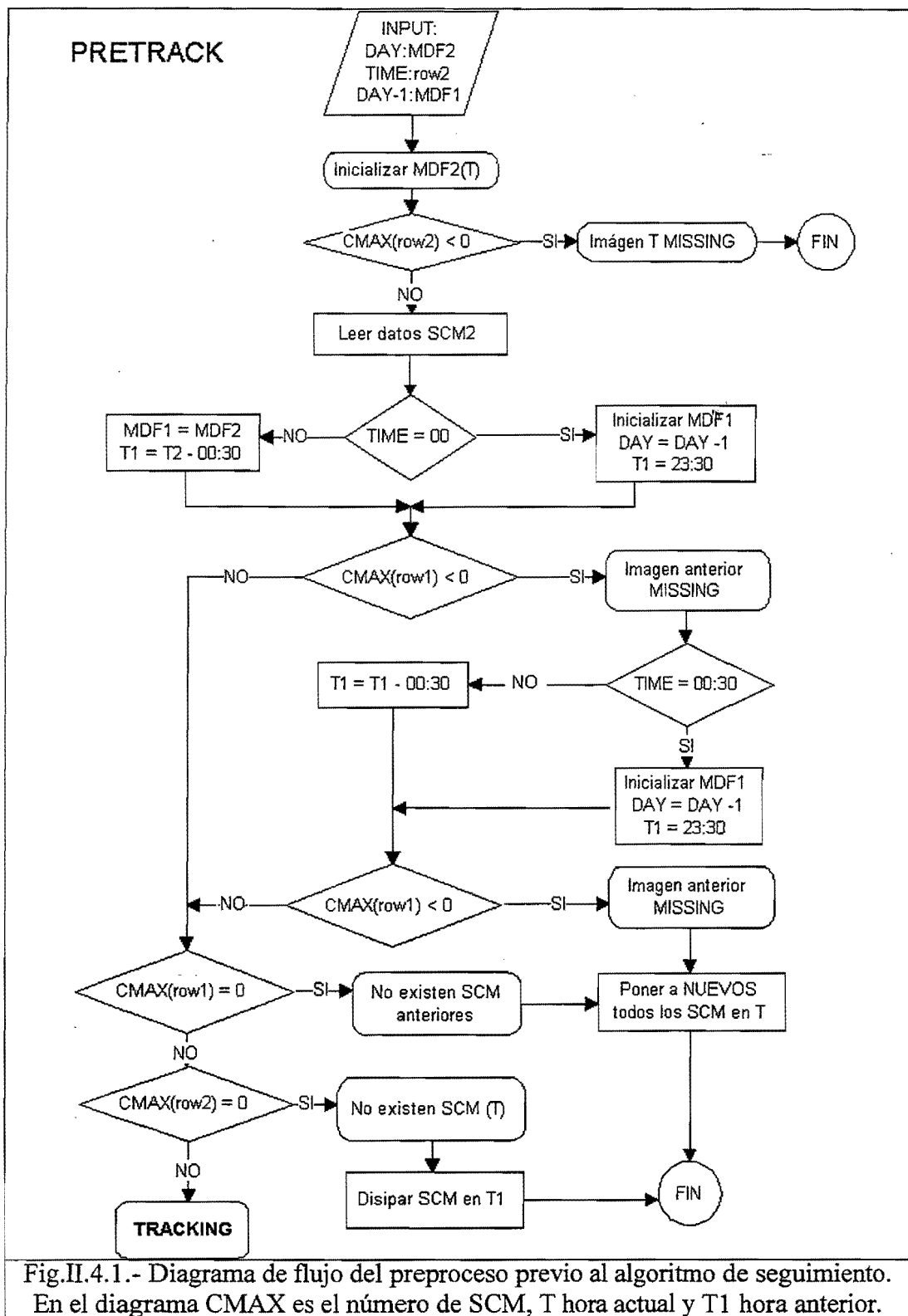


Fig.II.4.1.- Diagrama de flujo del preproceso previo al algoritmo de seguimiento. En el diagrama CMAX es el número de SCM, T hora actual y T1 hora anterior.

II.4.2.- Método de seguimiento

II.4.2.1.- Planteamiento del problema

Determinados los objetos en un instante T y T+1 se deberá establecer una correspondencia entre los objetos (SCM) identificados en una imagen con los identificados en la imagen posterior. Esta correspondencia permite seguir individualmente a cada SCM, reproducir su ciclo de vida en función del tiempo y extraer la información necesaria para aplicar el algoritmo de predicción (extrapolación).

El problema a resolver se puede plantear en los siguientes términos, sea:

$$\{T\}=\{A_i, i=1,\dots,n\}$$

el conjunto de objetos (SCM) identificados en una imagen en el instante T, y

$$\{T+1\}=\{B_j, j=1,\dots,m\}$$

el conjunto de objetos identificados en una imagen posterior T+1. Se trata de establecer correspondencias entre ambos conjunto de objetos que nos describan la evolución de los SCM de una imagen a otra. Dadas las características del problema, esta correspondencia no tiene por que ser unívoca, sino que, además, se pueden dar los siguientes casos:

- Un objeto $A_i \{T\}$ puede no corresponderse con ningún objeto en $\{T+1\}$ (SCM disipado).
- Un objeto $B_j \{T+1\}$ puede no corresponderse con ningún objeto en $\{T\}$ (Nuevo desarrollo).
- Un objeto $A_i \{T\}$ puede corresponderse con dos o más objetos en $\{T+1\}$ (Separación)
- Un objeto $B_j \{T+1\}$ puede corresponderse con dos o más objetos en $\{T\}$ (Fusión)

El problema general así planteado resulta muy complejo de solucionar si no existe un conjunto de "restricciones" y/o "condiciones de contorno" que limiten de alguna manera las posibles correspondencias.

En nuestro caso concreto las posibles correspondencias se refieren a posibles evoluciones de SCM, y esas evoluciones presentan limitaciones de tipo físico (velocidad de traslación, velocidad de crecimiento, etc.). Utilizaremos el conocimiento adquirido en la climatología de SCM para formular un conjunto de restricciones físicas y lógicas a las posibles evoluciones y así eliminar gran parte de las posibles correspondencias.

Las restricciones impuestas a las posibles correspondencias (evoluciones) de los SCM van a venir determinadas fundamentalmente por su velocidad de crecimiento o decrecimiento, por su velocidad de traslación y por su comportamiento en fusiones y divisiones. Utilizando los resultados de la climatología satélite de SCM es posible formular estas restricciones en forma de umbrales determinados y definir un conjunto de "tests" a los que someter las posibles correspondencias. El conjunto de umbrales y test definidos son los siguientes:

-
- Tamaño mínimo
 - Radio de búsqueda
 - Test de continuidad de áreas
 - Test de disipación
 - Test de fusión y
 - Test de división

En los siguientes apartados se definen y justifican estos tests.

II.4.2.2.- Definición del conjunto de tests

a) Tamaño mínimo

Desde el punto de vista práctico estamos interesados en la identificación de SCM y su extrapolación a un par de horas. Se ha venido utilizando como umbrales para SCM el que su área bajo la isoterma de -52°C sea superior a 10.000 Km^2 durante al menos tres horas. Por tanto, estamos interesados en el seguimiento de aquellos objetos que superan un umbral de área determinado. Se podría usar el umbral de 10.000 Km^2 , pero hemos optado por utilizar un umbral menor: 5.000 Km^2 , de manera que todos aquellos objetos que no superan este umbral son ignorados por el procedimiento.

b) Radio de búsqueda

A la hora de analizar las posibles correspondencias entre objetos debemos tener en cuenta que la velocidad media máxima de traslación de los SCM, según se desprende de la climatología satélite de SCM, es del orden de 50 Km/h , lo cual implica una distancia media recorrida en 30 minutos de unos 25 Km . Esto nos permite, dado un objeto $A_i\{T\}$, tener en cuenta sólo aquellos objetos $B_j\{T+1\}$ que se encuentren a una distancia razonable de él, digamos por ejemplo en un radio umbral de 50 Km , lo cual constituiría un primer umbral que nos permite desechar de antemano muchas de las posibles correspondencias.

Cada objeto viene caracterizado, entre otras propiedades, por las coordenadas geográficas del centroide de la elipse ajustada. Dependiendo del tipo de evolución del SCM el desplazamiento del centroide entre dos imágenes sucesivas no tiene por que representar siempre a un desplazamiento físico del SCM sino que puede verse afectado por la propia evolución del SCM o por las interacciones entre sistemas (por ejemplo cuando un SCM se divide o dos se funden). Este efecto es particularmente importante cuando se trata de SCM grandes (con radios mayores de 100 ó 200 Km), en los que se puede registrar desplazamientos mayores de 50 Km , pero en la mayoría de estos casos se ha observado que el centroide o centroides resultantes se suelen encontrar dentro del círculo determinado por el propio radio mayor del sistema. Así pues, para tener en cuenta este hecho, se define como radio de búsqueda para un objeto A_i :

$$RB(A_i) = \text{máx.}\{\text{Umbral distancia, } 1.1 * \text{Radio Mayor de } A_i\}$$

es decir, tomamos el mayor de un umbral fijo o el radio mayor del SCM más un 10%. El umbral usado va a depender, como se verá más adelante, de la fase del algoritmo. Este radio de búsqueda se utilizará para la búsqueda de objetos candidatos en $\{T+1\}$, desechando de antemano todos aquellos cuya distancia sea mayor a este valor.

c) Test de continuidad de áreas

La velocidad de crecimiento/decrecimiento del área de un SCM puede presentar un amplio rango de valores dependiendo, entre otras cosas, de su tamaño inicial. Así, SCM pequeños presentan en general velocidades de crecimiento pequeñas en valor absoluto pero muy altas en valor relativo (pudiendo llegar a valores del 300%), el comportamiento inverso se suele dar con los SCM grandes.

Las velocidades máximas de crecimiento que se han observado oscilan entre los 10.000 y 20.000 $\text{Km}^2/30 \text{ min.}$, ahora bien, crecimientos tan grandes pueden también ser debidos a fusiones entre SCM. Por tanto, se puede establecer un umbral de crecimiento máximo por encima del cual se estudie la posibilidad que el crecimiento registrado sea debido a la fusión con otro SCM.

Algo similar ocurre con la velocidad de decrecimiento, aunque en este caso los valores registrados suelen ser mayores, habiéndose registrado velocidades de decrecimiento del orden de 25.000 $\text{Km}^2/30 \text{ min.}$ (lo cual resulta compatible con el modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM que presentan una fase de decrecimiento más rápida que de crecimiento). También en este caso velocidades altas de decrecimiento pueden ser debidas a posibles divisiones del SCM por lo que se puede aplicar un umbral por encima del cual se obligue a comprobar la hipótesis de división ("split").

Basándonos en estas consideraciones se establece un test de continuidad definido de la siguiente manera:

- Si la velocidad de crecimiento del área es mayor que 10.000 $\text{Km}^2/30 \text{ min.}$, explorar la posibilidad de una fusión.
- Si la velocidad de crecimiento es inferior a -10.000 $\text{Km}^2/30 \text{ min.}$ explorar la posibilidad de una división.
- En caso contrario se considera que existe continuidad entre las áreas y el test se supera.

d) Test de disipación

Para que un SCM se disipe entre dos imágenes separadas 30 minutos debe tener inicialmente un tamaño pequeño. Así, por ejemplo, la mayoría de los SCM observados en la muestra correspondiente al año 1997 presentaban áreas en la media hora precedente inferiores a 15.000 Km^2 , solo en tres ocasiones el área inicial era del orden de 20.000 Km^2 .

Por tanto, consideraremos que para que un SCM se haya disipado, el área en la imagen anterior ha de ser igual o menor a 15.000 Km^2 .

e) Test de fusión

La fusión de dos SCM suele dar como resultado un SCM cuya área es superior a la suma de las áreas iniciales. Así se ha observado en el 73% de los casos de la muestra de 1997 (total de 37 casos), con un valor medio de incremento neto de área de 5.855 Km^2 (+25% de la suma de las áreas iniciales). En el 27% restante de los casos se observa una disminución neta del área, pero también en menor proporción: valor medio de -3.483 Km^2 (-13% de la suma de las áreas iniciales).

En definitiva se puede formular un test para verificar la posibilidad de fusión de dos SCM. Se considerará que tal fusión es posible si el área resultante de la fusión es:

- mayor que la suma de las áreas iniciales o
- si la disminución relativa de área es inferior 20% de la suma de las áreas iniciales.

f) Test de división ("split")

Cuando un SCM se divide en dos o más sistemas suele ser síntoma de que se encuentra en fase de disipación, en cualquier caso la suma de las áreas resultantes suele ser menor que el área original.

De un total de 77 casos en la muestra de 1977 se ha observado una disminución del área en el 70% de los casos, con un valor medio de -7.761 Km^2 (-22% del área original). En el resto de los casos (30%) se produce un incremento de área total pero suele ser bastante pequeño, con un valor medio de 2.068 Km^2 (+7% del área original).

Basándonos en estos resultados se puede establecer un test para verificar la posibilidad de "split" de un SCM. Así, se considerará como posible el "split" si la suma de las áreas de los SCM resultantes es:

- menor que el área del SCM original o
- si el incremento relativo de área es inferior al 20% del área original.

II.4.2.3.- Algoritmo de seguimiento

Se trata de un algoritmo de mínima distancia, es decir, el algoritmo asigna correspondencias entre objetos cuya distancia sea mínima siempre y cuando se cumplan o superen el conjunto de tests definidos en el apartado anterior. Desde el punto de vista práctico el algoritmo comienza por calcular la matriz de distancias entre los centroides de todos los objetos de $\{T\}$ y de $\{T+1\}$:

$$\text{dist}(A_i, B_j), i=1, \dots, n \quad j=1, \dots, m$$

a continuación se ejecuta el análisis de las posibles correspondencias. Por simplicidad este análisis se efectúa mediante cinco pasadas diferentes y consecutivas. En cada pasada se intenta localizar un tipo diferente de evolución. Las pasadas son las siguientes:

- 1ª Pasada: Se intenta localizar aquellos objetos $A_i\{T\}$ que no tienen correspondencia posible con ningún objeto $B_j\{T+1\}$. Es decir, se intenta localizar los SCM POSIBLEMENTE DISIPADOS.
- 2ª Pasada: Se intenta localizar aquellos objetos o SCM que presentan continuidad entre ambas imágenes, es decir, que no están asociados a fusiones, divisiones, disipaciones, etc.
- 3ª Pasada: Se intenta localizar los objetos que sufren fusiones o separaciones
- 4ª Pasada: Se intenta localizar los objetos nuevos en $\{T+1\}$ (nuevos desarrollos) y
- 5ª Pasada: Se comprueba los objetos disipados en la primera pasada.

A continuación se detallan los pasos seguidos en cada una de las pasadas.

a) 1ª Pasada ("TRACKP1")

En esta primera pasada se intenta localizar los SCM disipados. Es decir, se trata de objetos en $\{T\}$ para los que no existe ningún candidato posible en $\{T+1\}$ para ser asignado. Se considerará que un objeto $A_i\{T\}$ se ha disipado cuando:

- no exista ningún $B_j\{T+1\}$ dentro del radio de búsqueda de A_i y, además, supere el Test de Disipación.

Como umbral de distancia para el cálculo del radio de búsqueda se utiliza 50 Km. Los objetos (SCM) que cumplan estas condiciones se les asigna una etiqueta de "posiblemente disipado". En la Fig.II.4.2 se presenta el diagrama de flujo correspondiente.

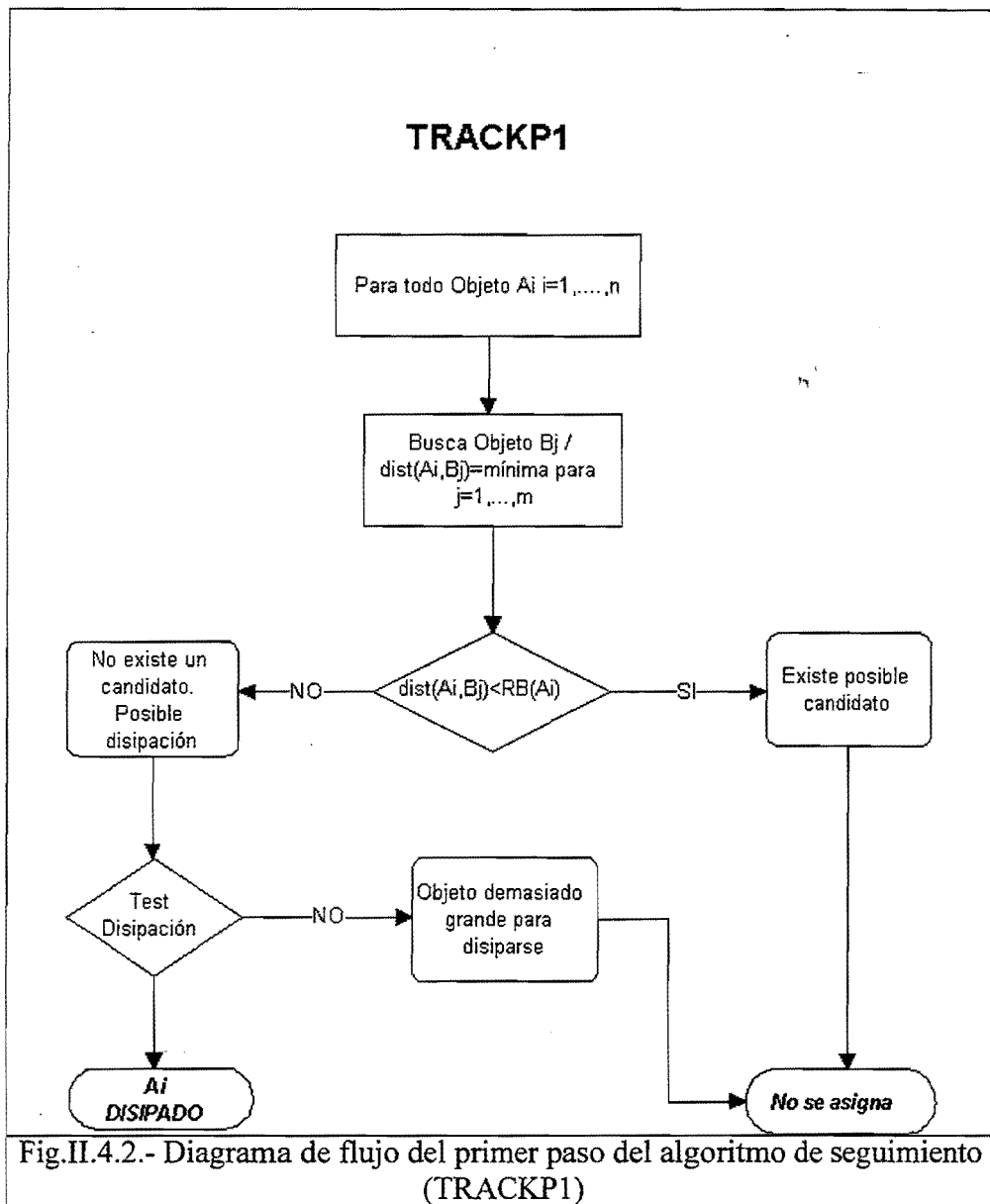
b) 2ª Pasada ("TRACKP2")

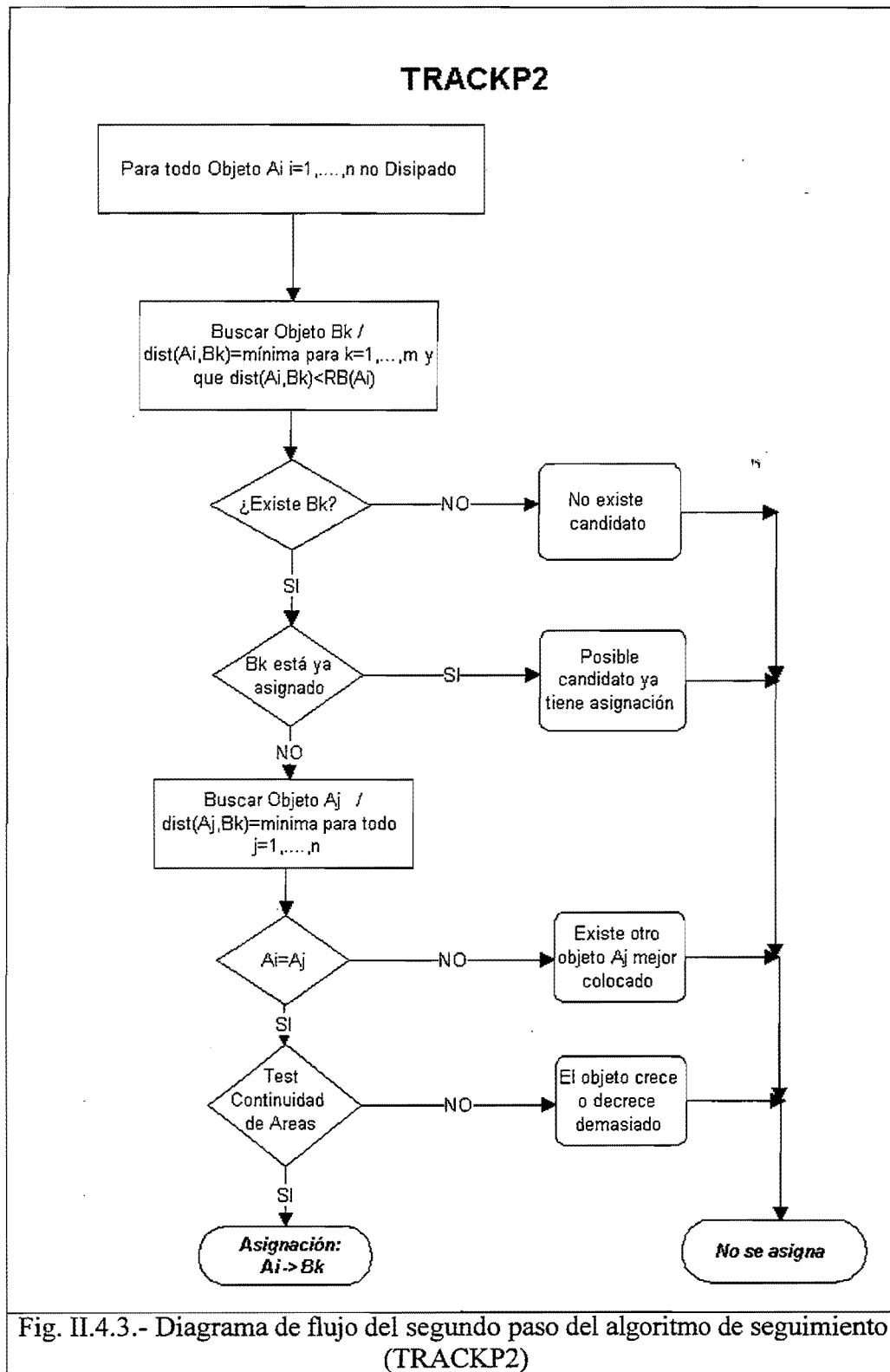
En la segunda pasada se intenta localizar aquellos objetos $A_i\{T\}$ que presenten una correspondencia biunívoca con un objeto $B_j\{T+1\}$. Es decir, aquellos SCM que presentan una continuidad de una imagen a otra.

Se considerará que un objeto $A_i\{T\}$, que no figure como disipado, se corresponde con un objeto $B_j\{T+1\}$ cuando:

- La distancia entre A_i y B_j es menor o igual que el radio de búsqueda de A_i y
- La distancia entre A_i y B_j es mínima para todo $i=1,\dots,n$ y para todo $j=1,\dots,m$ y
- A_i y B_j superan el Test de Continuidad de Areas.

También aquí se utiliza una distancia umbral de 50 Km. A los objetos que cumplan estas condiciones se les asocia mediante una correspondencia $A_i \rightarrow B_j$. El diagrama de flujo de este proceso puede observarse en la Fig. II.4.3.





c) 3ª Pasada ("TRACKP3")

En la tercera pasada buscamos posibles fusiones y divisiones (splits). Para ello, para cada $A_i\{T\}$ que no tenga ya una asignación o figure como disipado, se localiza el objeto $B_k\{T+1\}$ cuya distancia sea mínima (y se encuentre dentro del radio de búsqueda de A_i , en este caso el umbral de distancia se aumenta a 100 Km).

Caso de existir algún candidato B_k (en caso contrario se disipa A_i), puede ocurrir que este haya sido asignado ya previamente a otro objeto $A_l\{T\}$ o no tenga asignación. Veamos cada uno de los casos:

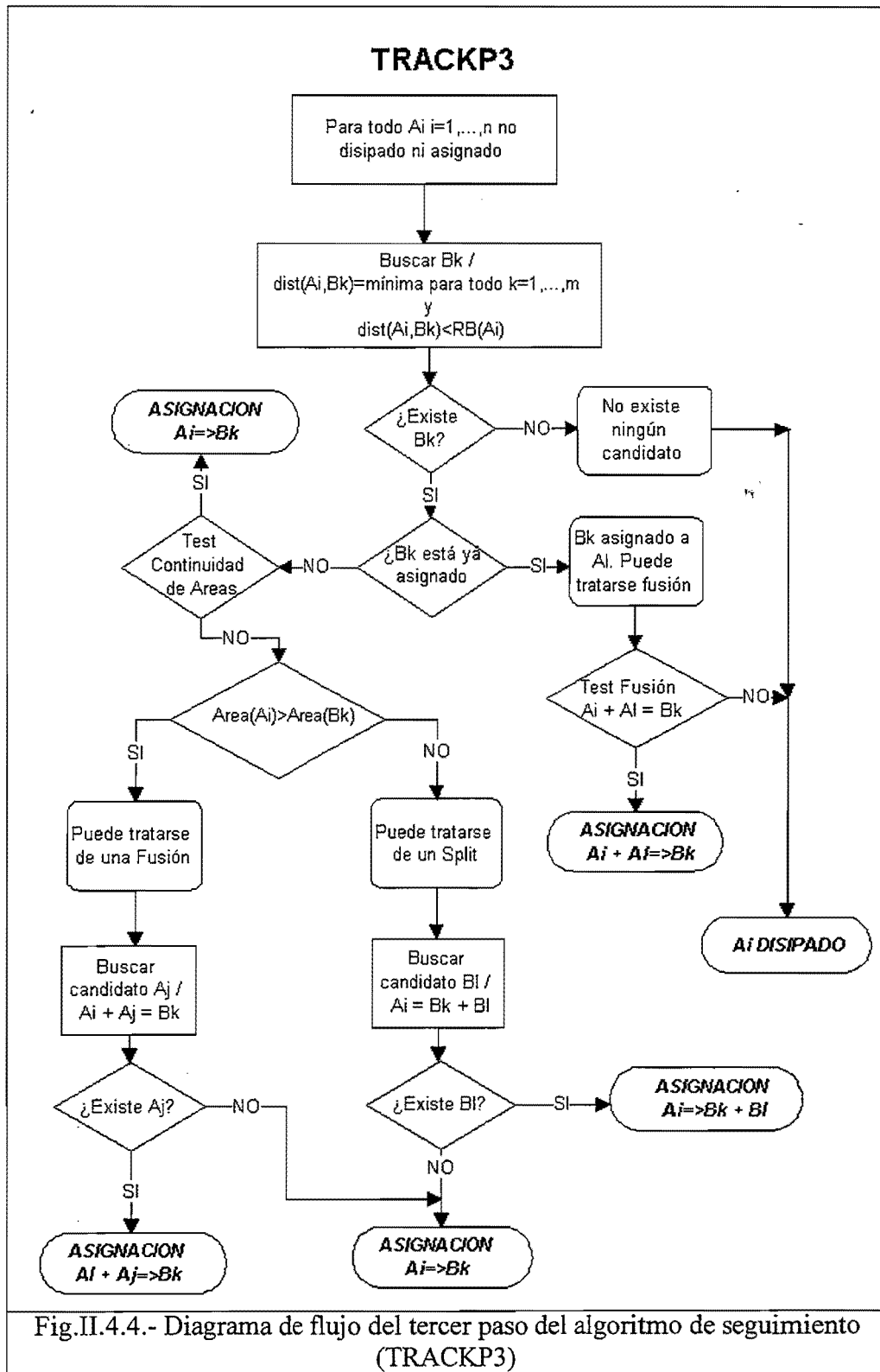
- Caso en que B_k no tiene asignación previa (está libre):
 - Si ambos cumplen el Test de Continuidad de Areas, se hace la asignación $A_i \rightarrow B_k$.
 - Si no superan el Test puede tratarse de una fusión ($Area(B_k) > Area(A_i)$) o de un split si ($Area(B_k) < Area(A_i)$).
 - En el primer caso (fusión) se buscará un candidato $A_j\{T\}$ (dentro del radio de búsqueda de B_k) tal que $\{A_i, A_j, B_k\}$ superen el Test de Fusión. Si se encuentra el candidato adecuado se hace la asignación: $A_i + A_j \rightarrow B_k$. Si por el contrario no se encuentra candidato se asigna $A_i \rightarrow B_k$.
 - En el segundo caso (Split) se buscará un candidato $B_l\{T+1\}$ dentro del radio de búsqueda de A_i tal que $\{A_i, B_k, B_l\}$ superen el Test de Split. Si se encuentra el candidato adecuado se hace la asignación: $A_i \rightarrow B_k + B_l$. Si por el contrario no se encuentra candidato se asigna $A_i \rightarrow B_k$.
- Caso en que B_k tiene asignación previa ($A_l \rightarrow B_k$): En este caso se comprueba si $\{A_i, A_l, B_k\}$ superan el Test de Fusión. En caso positivo se asigna $A_i + A_l \rightarrow B_k$, en caso negativo se disipa el objeto A_i .

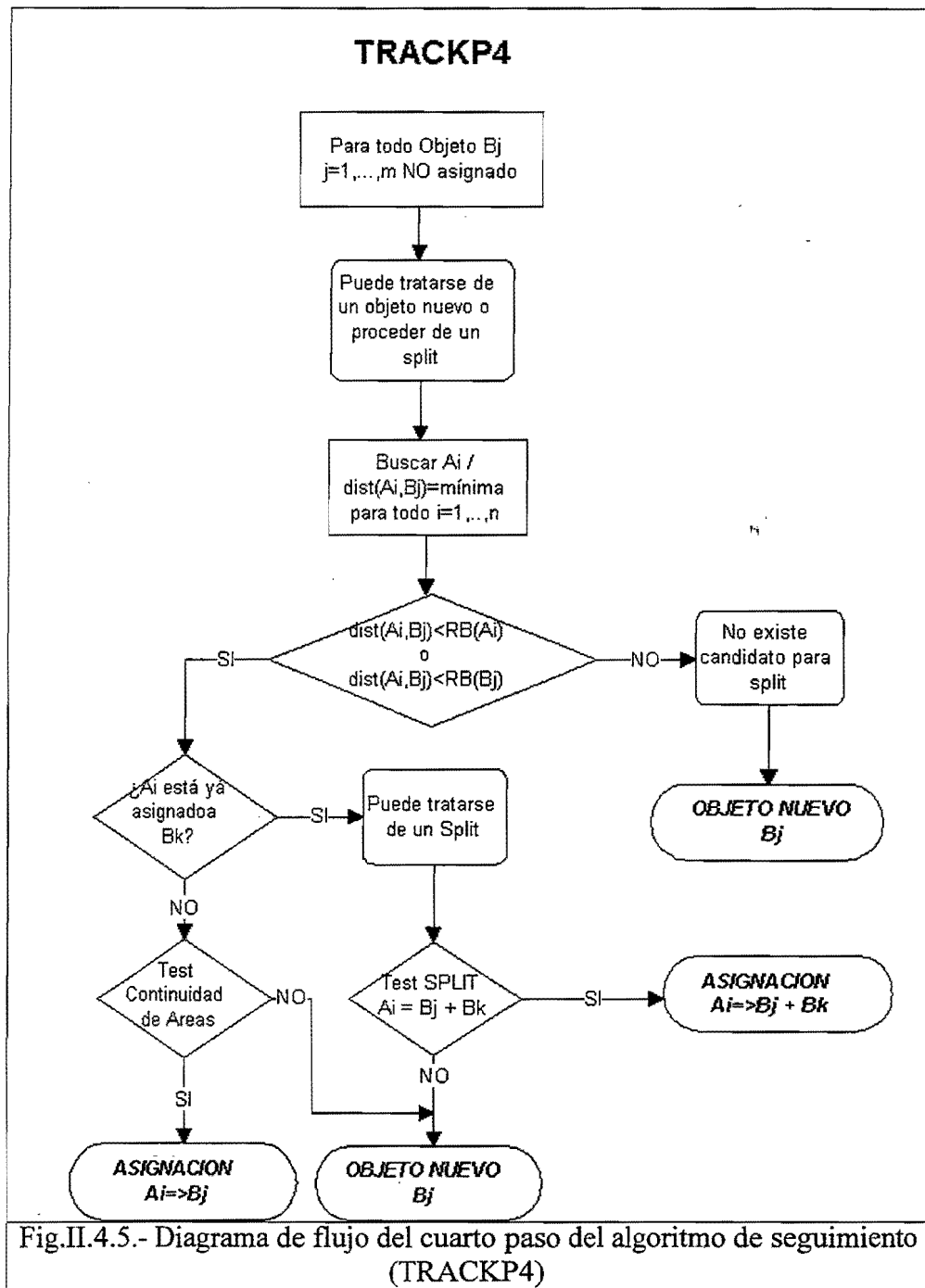
Al igual que en los casos anteriores la Fig. II.4.4. nos muestra el diagrama de flujo de este subproceso.

d) 4ª Pasada ("TRACKP4")

En esta pasada se analizan los objetos $B_j\{T+1\}$ que aún no tienen una asignación con otro objeto de $\{T\}$. Estos o bien son objetos nuevos (nuevos desarrollos) o pueden proceder de una división. Por tanto, para cada objeto $B_j\{T+1\}$ que no tenga asignación previa se localiza el objeto $A_i\{T\}$ más próximo que se encuentre dentro del radio de búsqueda de A_i o de B_j .

Si no existe ningún candidato se considera a B_j como un objeto nuevo (nuevo desarrollo). En el caso de existir un candidato este ya estará asignado previamente a otro objeto $B_k\{T+1\}$, por lo que se comprueba si $\{A_i, B_j, B_k\}$ superan el test de división. En caso positivo se reasigna $A_i \rightarrow B_j + B_k$ y en caso negativo se le considera un objeto nuevo. Ver diagrama de flujo en la Fig.II.4.5.

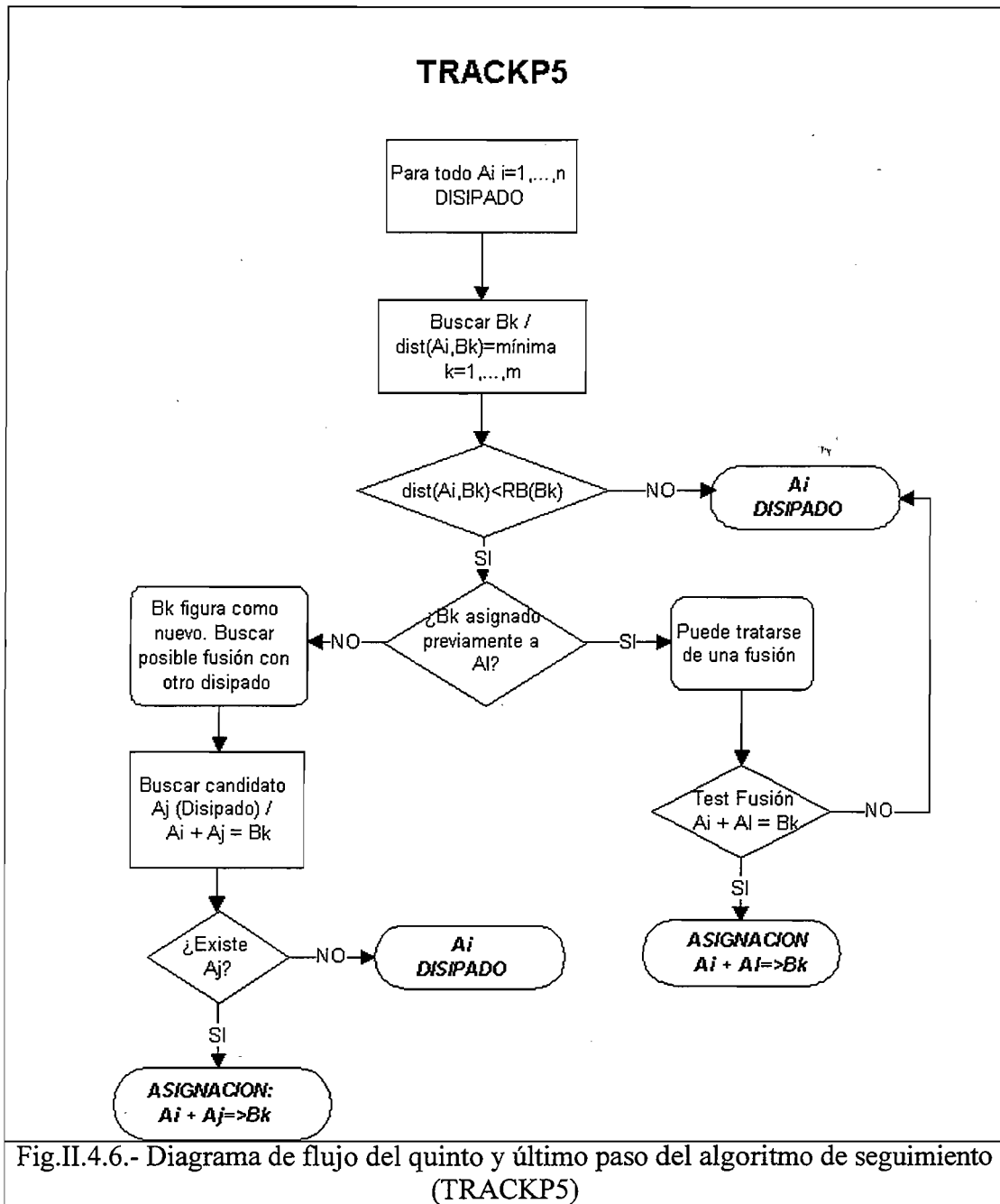




e) 5ª Pasada ("TRACKP5")

En la quinta y última pasada se comprueba simplemente si los objetos catalogados como disipados en la primera pasada pueden haber desaparecido por fusión con otros objetos. Para ello

para todo $A_i\{T\}$ que figure como disipado, se localiza el objeto $B_k\{T+1\}$ cuya distancia sea mínima (y se encuentre dentro del radio de búsqueda de B_k).



Si no se encuentra ningún candidato se confirma la disipación de A_i . Si existe algún candidato puede ocurrir que este esté ya asignado a otro objeto $A_l\{T\}$, en cuyo caso se comprueba si $\{A_i, A_l, B_k\}$ superan el Test de Fusión, si la respuesta es afirmativa se reasigna $A_i + A_l \rightarrow B_k$ y en caso negativo se confirma la disipación.

Puede ocurrir que el objeto candidato $B_k\{T+1\}$ figure como desarrollo nuevo, en cuyo caso sólo nos queda ver si puede ser consecuencia de la fusión del A_i con otro A_j que también figure como disipado. Si se encuentra candidato y cumple el test de fusión se reasignará $A_i + A_j \rightarrow B_k$, en caso contrario se confirmará la disipación. Véase el diagrama de flujo, en la Fig.II.4.6.

II.4.3.- Postproceso: Diagnósis

Una vez realizado el procedimiento de seguimiento se procederá a la asignación de etiquetas y cálculo de las propiedades (diagnóstico) de los SCM que dependen de su evolución (velocidad, etc.). Los resultados de este paso se almacenan en un fichero MD y son la base para la aplicación del algoritmo de extrapolación.

II.4.3.1.- Asignación de etiquetas

El algoritmo de seguimiento debe proporcionar el tipo de evolución detectado (continuidad, fusión, separación y objeto nuevo) y el objeto u objetos "padre". A cada SCM se les asignará una etiqueta absoluta de la forma:

dddhhmmn

donde : ddd : día juliano del día en que se detectó por primera vez
 hhmm : hora y minuto de la imagen en que se detectó por primera vez
 n : número de orden

por ejemplo '27212301' representaría al SCM 1 detectado por primera vez el día 272 en la imagen de las 12:30z.

Una vez asignada una etiqueta a un SCM esta se conservará a lo largo de todo su ciclo de vida de acuerdo con las siguientes reglas:

- Si el objeto es nuevo (sin padre) se le asignará una etiqueta absoluta nueva que conservará a lo largo de todo su ciclo de vida.
- Si el objeto proviene de la evolución de un único objeto (único padre) en la imagen anterior, se le asignará la misma etiqueta absoluta del objeto padre.
- Si el objeto proviene de la fusión de dos objetos (dos padres) se le asignará la etiqueta absoluta de padre con área mayor.
- Si el objeto proviene de la separación de un único objeto padre y es el mayor de los hijos, se le asignará la etiqueta del padre. Si es el menor de los hijos se le asignará una nueva etiqueta.

II.4.3.2.- Cálculo de propiedades de los SCM

Para cada SCM se calculan las siguientes propiedades (entre paréntesis figuran las claves utilizadas en el esquema MD):

- Velocidad de crecimiento del área (en Km^2/h) (VELA)
- Velocidad de crecimiento del Índice de Volumen (en Km^2/h) (VELI)

- Dirección (grados) y velocidad (Km/h) (DIR, VEL)
- Dirección media (grados) y velocidad media (Km/h) durante todo su ciclo de vida (DIRM, VELM)
- Fase del SCM: de acuerdo con el modelo conceptual: Crecimiento, Madurez, Decrecimiento.
- Duración del SCM (en 1/2 horas) desde su nacimiento (DURA)

Dependiendo del tipo de evolución del SCM (continuidad, fusión o división) el cálculo de estas propiedades tiene en cuenta las siguientes reglas:

- Caso Continuidad 'C' (asignación unívoca) ($i \rightarrow k$)
 - $VELA(k) = (Area(k) - Area(i)) / dt$
 - $VELI(k) = (Iv(k) - Iv(i)) / dt$
 - $DURA(k) = DURA(i) + dt$.Si la velocidad resultante es superior a 125 Km/h, se sustituye por el valor de VELM y DIRM anterior.
- Caso Separación 'S' ($i \rightarrow k + l$)
 - Si el área del hijo2 (l) es menor de 10.000 Km² se le considerará a efectos prácticos como si fuese un sistema nuevo, con los parámetros de evolución (VELA, VELI, DIRM, VELM, DURA) a cero y para el hijo1 se calcularán las propiedades como si se tratase de continuidad $i \rightarrow k$.
 - Si las áreas de ambos SCM (k,l) son superiores a 10.000 Km², se calcularan las propiedades para cada SCM teniendo en cuenta las siguientes reglas:
 - $VELA(k) = VELA(l) = ((Area(k) + Area(l)) - Area(i)) / dt$
 - $VELI(k) = VELI(l) = ((Iv(k) + Iv(l)) - Iv(i)) / dt$
 - $DIRM(k) = DIRM(l) = DIRM(i)$
 - $VELM(k) = VELM(l) = VELM(i)$
 - $DIR(k) = DIR(l) = DIRM(i)$; $VEL(k) = VEL(l) = VELM(i)$
 - $DURA(k) = DURA(l) = DURA(i) + dt$
- Caso de Fusión 'F' ($i + k \rightarrow l$)
 - Si el área del padre2 (k) es menor de 10.000 Km² no se tiene en cuenta para nada y para el hijo1 se calcularan las propiedades como si se tratase de continuidad: $i \rightarrow k$
 - Si ambas áreas (i,k) son mayores de 10.000 Km², las propiedades del SCM l se calcularán teniendo en cuenta las siguientes reglas:
 - $VELA(l) = (Area(l) - (Area(i) + Area(k))) / dt$
 - $VELI(l) = (Iv(l) - (Iv(i) + Iv(k))) / dt$
 - $DIR(l) = DIRM(i)$, $VEL(l) = VELM(i)$
 - $DIRM(l) = DIRM(i)$, $VELM(l) = VELM(i)$
 - $DURA(l) = DURA(i) + dt$



II.5.- Extrapolación de SCM

II.5.1.- Diagnóstico de la fase del SCM

II.5.2.- Modelo de predicción de áreas

II.5.3.- Modelo de predicción del movimiento

Una vez realizado el seguimiento de los SCM, el siguiente paso es generar predicciones inmediatas ("Nowcasting") de los SCM hasta 2 horas, a intervalos de 30 min. El proceso se realiza de forma independiente para cada uno de los SCM identificados.

En esencia, el proceso hace uso de los datos archivados de los SCM a una hora determinada, genera las predicciones usando unos modelos de predicción, tanto para las áreas como para la velocidad, y archiva el resultado de las predicciones para su posterior utilización por los usuarios. No se realizan predicciones de los ejes ni de la orientación de la elipse ligada al SCM, ya que el modelo conceptual de ciclo de vida no nos permite abordar este problema.

En la Fig.II.5.1 puede verse el diagrama de flujo del proceso, siendo los puntos más importantes la predicción del área del SCM y la extrapolación de su posición.

II.5.1.- Diagnóstico de la fase del SCM

El diagnóstico se realiza teniendo en cuenta la evolución en la última media hora (o en la última hora en caso de que haya fallado una imagen) del área bajo -52°C y del Índice de Volumen. Se distinguen cuatro fases:

- Crecimiento: crecen el área y el Iv
- Decrecimiento: decrecen el área y el Iv
- Madurez: el área crece y el Iv decrece
- Reactivación: el área decrece y el Iv crece

Las tres primeras se extraen directamente del modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM en nuestras latitudes. Para completar el modelo de predicción de áreas es necesario introducir una nueva fase, la fase de reactivación, que puede ser definida como aquella en la que el índice de volumen está creciendo pero el área está disminuyendo (en contraposición a la fase de madurez, en la cual el área está creciendo y el Iv decreciendo). Aunque esta fase no está basada en el ciclo de vida, parece adecuado y consistente introducirla, ya que si el índice de volumen está creciendo (lo que puede interpretarse como un incremento en el desarrollo vertical del SCM), podemos esperar en el futuro un incremento de la dimensión horizontal del sistema.

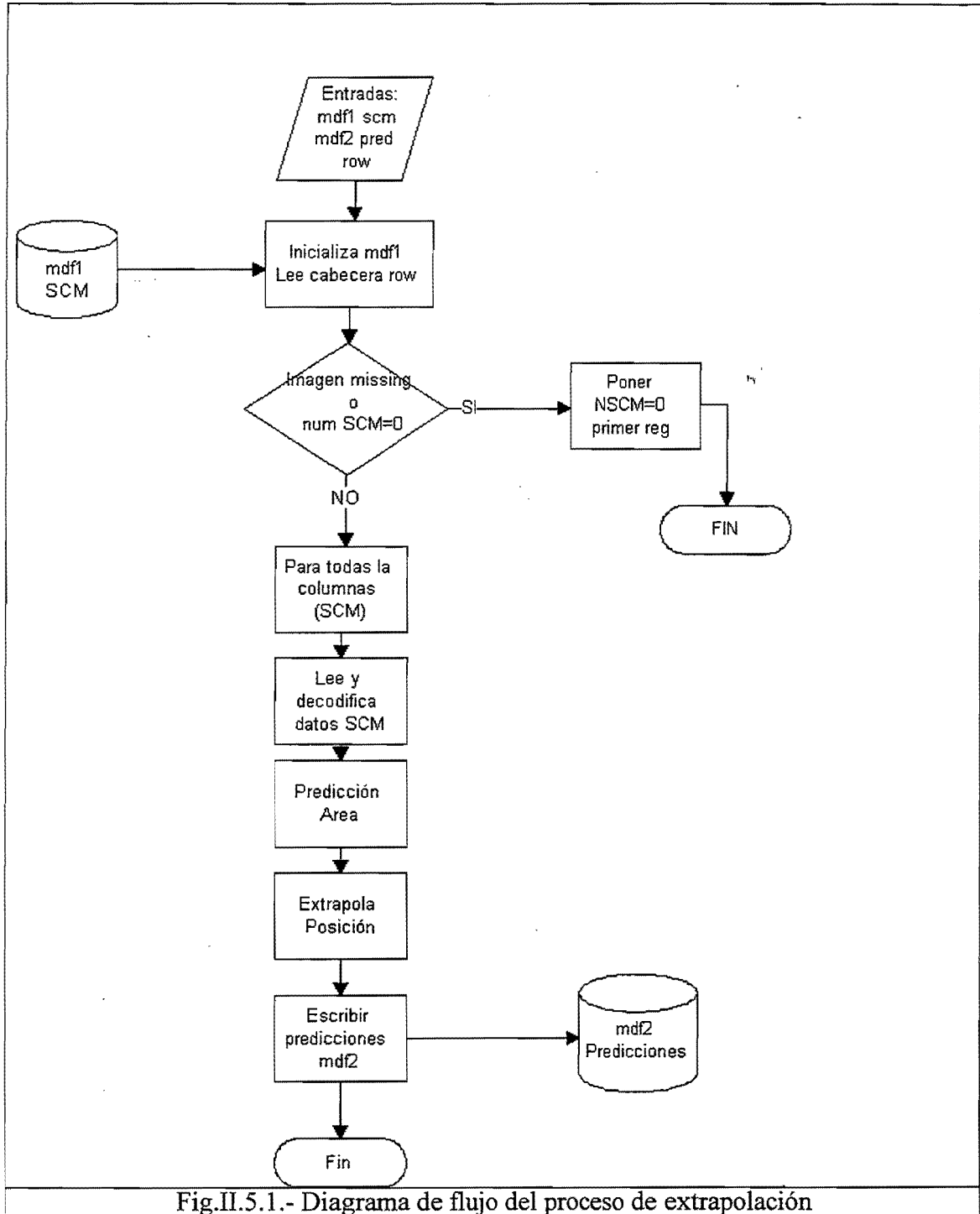


Fig.II.5.1.- Diagrama de flujo del proceso de extrapolación

II.5.2.- Modelo de predicción de áreas

Una vez realizado el diagnóstico de la fase en la que se encuentra el SCM, se está en condiciones de realizar su predicción. El modelo de extrapolación aplicado para el área depende de la fase del ciclo de vida en que se encuentre el SCM. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo del área prevista son:

$$AP(t+1) = A(t) + K V(t)$$

$$AP(t+n) = AP(t+n-1) + K^n V(t)$$

donde:

$A(t)$ es el área de -52°C observada a la hora t .

$V(t)$ la velocidad de crecimiento observada a la hora t $[A(t)-A(t-1)]^n$

$AP(t+n)$ Área prevista a la hora $t+n$.

K un coeficiente que depende del ciclo de vida

y $\Delta t=1$ equivale a un intervalo de 30 minutos

La diferenciación en función de la fase en la que se encuentra el SCM, es decir, la introducción del modelo conceptual de ciclo de vida, se realiza a través del valor de K :

- Crecimiento: el crecimiento del área no es lineal, sino que la velocidad relativa de crecimiento disminuye al aumentar del período de predicción. Se utiliza un coeficiente $K=K_c=0.6$ (un coeficiente igual a 1 correspondería a la extrapolación lineal).
- Decrecimiento: el decrecimiento del área tampoco es lineal, disminuyendo la velocidad relativa de decrecimiento según aumenta el período de predicción, pero esta disminución es menor que en la fase de crecimiento. Se usa un coeficiente $K=K_d=0.9$, cercano al lineal.
- Madurez: el área se mantiene constante en el primer periodo de predicción (media hora siguiente, $K=0$), para comenzar a decrecer posteriormente según el modelo de decrecimiento (usando $K=K_d$).
- Reactivación: el área se mantiene en el primer periodo de predicción ($K=0$), para comenzar a crecer posteriormente según el modelo de crecimiento ($K=K_c$).

En las fases de madurez y reactivación hay que cambiar el signo de la velocidad de crecimiento, por lo que la fórmula usada en estos casos es:

$$AP(t+n) = AP(t+n-1) - K^n V(t)$$

Como puede comprobarse, durante las fases de madurez y reactivación se invierte la tendencia del área: si estaba creciendo (fase de madurez), comenzará a decrecer a partir de la primera hora de predicción y si estaba decreciendo (fase de reactivación) comenzará a crecer. En estas dos fases del ciclo de vida es cuando el modelo de extrapolación aplicado se aleja más de un modelo de extrapolación lineal.

II.5.3.- Modelo de predicción del movimiento

La latitud y longitud previstas del centroide se obtienen extrapolando la posición actual del mismo con una velocidad que es un promedio entre la velocidad del SCM en la última media hora y la velocidad media registrada en todo su ciclo de vida anterior. La razón para usar esa velocidad que tiene en cuenta todo el ciclo de vida anterior del SCM está en que, en ocasiones, la velocidad de la última media hora no corresponde a un desplazamiento físico del SCM.

En los casos en que el SCM provenga de una fusión o una división, se ignora la velocidad de la última media hora y se extrapola el centroide usando solo la velocidad media de todo su ciclo de vida anterior.

III.- Aplicación a la Campaña de 1998

III.1.- Descripción de la Campaña Experimental

III.2.- Evaluación de la Campaña

III.2.1.- Verificación objetiva

III.2.1.1.- Descripción del método usado.

III.2.1.2.- Verificación de la predicción de tamaños de SCM.

III.2.1.3.- Verificación de la predicción del movimiento de SCM.

III.2.1.4.- Resultados de la verificación global

III.2.2.- Evaluación subjetiva

III.2.3.- Conclusiones

III.3.- Problemas identificados y desarrollos futuros

III.3.1- Problemas identificados

III.3.1.1.- Estructura identificada no asociada a SCM

III.3.1.2.- Representación no adecuada del SCM

III.3.1.3.- Problemas derivados de la fusión entre SCM

III.3.2.- Posibles soluciones y desarrollos futuros.

III.1.- Descripción de la Campaña Experimental

Desde el 1 de Septiembre hasta el 30 de Noviembre de 1998 se puso en marcha una Campaña Experimental, durante la cual se comprobó la utilidad del procedimiento automático de seguimiento y predicción inmediata de SCM.

La generación de las predicciones se realizó siguiendo los diferentes procesos descritos en el capítulo anterior. El procedimiento completo se implementó en una estación de trabajo del STAP dentro del entorno McIDAS, de forma que las predicciones generadas podían ser visualizadas y usadas en los terminales operativos. Asimismo, la última imagen procesada junto con el análisis de los objetos presentes, en formato GIF, era enviada a la intranet del INM para su visualización a través del Web interno. Este proceso era automático y el usuario debía evaluar si dicha estructura era o no un SCM.

Cuando se detectaba una estructura que superaba los tests de SCM se analizaba a posteriori en el STAP, para incluir o no el posible SCM en la base de datos. En el Anexo I se recoge un resumen de los SCM que han aparecido durante la Campaña de 1998.

Durante el desarrollo de la Campaña Experimental, el día 9 de Septiembre, se modificó el umbral del área utilizado para la detección y extrapolación de SCM, reduciéndose de 10.000 Km² a 5.000 Km². Aunque el procedimiento desarrollado (fundamentalmente por los umbrales que utiliza para la extrapolación de SCM) está optimizado para áreas superiores a 10.000 Km², puede servir también para áreas menores si se tiene en cuenta que, en ocasiones, dará lugar a predicciones de menor calidad, sobre todo en los periodos de predicción más largos (a más de una hora). De todas formas, como se verá en el apartado III.2, la verificación objetiva se ha realizado solamente para las estructuras que superaban los 10.000 Km².

La visualización de los resultados en tiempo real, y en un terminal McIDAS, constituye un elemento clave de la implementación operativa, facilitando el acceso de los usuarios (CNP Vigilancia y GPV's) a los mismos. Para ello, se han desarrollado dos comandos McIDAS operativos, uno para la visualización de las predicciones y otro para el ciclo de vida.

Los comandos utilizan siempre la navegación correspondiente al plano activo en ese momento en el terminal, que normalmente será una imagen de satélite, aunque, si el usuario lo desea, podrá poner el mapa que quiera y después ejecutar los comandos. Acceden a los datos archivados por el proceso de extrapolación a través del entorno distribuido del McIDAS-X. A continuación se describen brevemente estos dos comandos y se presentan ejemplos de las salidas que producen.

a) **Comando para la visualización de predicciones**

El comando YSCMNOW visualiza en pantalla la predicción de SCM realizada a partir del diagnóstico de una hora determinada de la siguiente manera:

- Elipses correspondientes a los SCM existentes en color amarillo (cada SCM se referencia por un número entero en la pantalla).
- Elipses previstas a diferentes intervalos de tiempo para cada SCM existente en diferente color según la fase en que se haya diagnosticado que se encuentra cada sistema:
 - Crecimiento: rojo
 - Decrecimiento: azul oscuro
 - Madurez: azul claro
 - Reactivación: magenta

La sintaxis del comando es la siguiente:

YSCMNOW hora <Palabras clave>

Parámetros:

hora- hora (Def: actual más cercana a la media hora anterior).

Palabras clave:

DAY- día (Def. actual).

PINI- período de predicción en minutos, PINI=min max. Los valores pueden ser 0, 30, 60, 90 ó 120 (Def: todos los períodos desde H+0 hasta H+2)

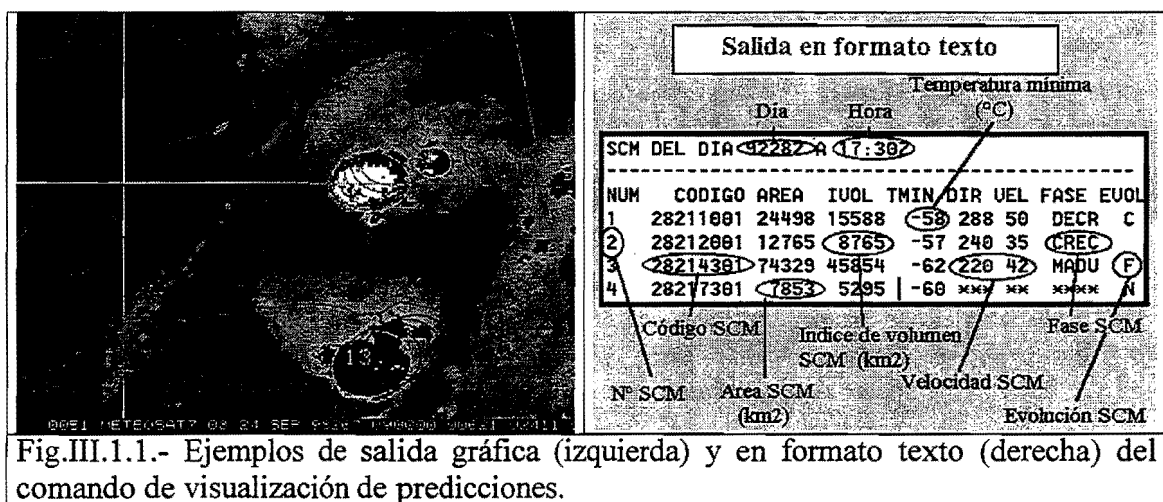


Fig.III.1.1.- Ejemplos de salida gráfica (izquierda) y en formato texto (derecha) del comando de visualización de predicciones.

En la Fig.III.1.1 se muestra el resultado de la ejecución de este comando, tanto la salida gráfica como la información por la ventana de texto. Además de visualizar las predicciones, el comando produce un listado con las características de los diferentes SCM en el momento inicial. Entre los parámetros listados se incluyen el código del SCM (que es único para cada SCM), el área de

-52°C, el índice de volumen, la temperatura mínima, la dirección y la velocidad en la última media hora, la fase en la que se encuentra y el tipo de evolución que ha sufrido (es decir, si presenta continuidad, proviene de una fusión o una división o es nuevo)

b) Comando para la visualización del ciclo de vida

El comando YSCMCV muestra de forma gráfica la evolución de un determinado SCM a lo largo de todo su ciclo de vida (pueden ser varios días). En la pantalla se visualizan todas las elipses correspondientes al SCM y, en la esquina superior izquierda, un gráfico con la evolución de las áreas (en rojo) y del índice de volumen (en amarillo).

La sintaxis del comando es:

YSCMCV código <Palabras clave>

Parámetros:

código - código correspondiente al SCM. Este dato se obtiene en el listado que produce el comando de visualización de predicciones. No hay valor por defecto.

Palabras clave:

COLOR- color de las elipses (Def: 5)

En la Fig.III.1.2 puede verse la salida gráfica de este comando, mostrando todas las elipses diagnosticadas a lo largo del ciclo de vida del SCM, así como la trayectoria que se obtiene usando los centroides. También se muestra, en la esquina superior izquierda, la evolución temporal del área y del índice de volumen. En el listado por la ventana de texto aparece, para todas las horas en que ha existido el SCM, información parecida a la que mostraba el comando de visualización de predicciones.



Fig.III.1.2.- Ejemplos de salida gráfica (izquierda) y en formato texto (derecha) del comando de visualización del ciclo de vida.

III.2.- Evaluación de la Campaña

III.2.1.- Verificación objetiva

III.2.1.1.- Descripción del método usado.

III.2.1.2.- Verificación de la predicción de tamaños de SCM.

III.2.1.3.- Verificación de la predicción del movimiento de SCM.

III.2.1.4.- Resultados de la verificación global

III.2.2.- Evaluación subjetiva

III.2.3.- Conclusiones

La puesta en marcha de cualquier nueva metodología o procedimiento de predicción debe ir acompañada necesariamente del correspondiente procedimiento de verificación. Sólo de esta manera es posible evaluar el valor añadido que presenta la nueva técnica e identificar los puntos débiles y fuertes así como los posibles problemas y mejoras a introducir. Evidentemente esta verificación debe ser objetiva pero también en ocasiones la evaluación subjetiva por parte de los usuarios puede ofrecer información importante, sobre todo acerca de la utilidad del procedimiento en condiciones operativas en tiempo real. En esta Campaña Experimental se ha procedido de las dos maneras, mediante un procedimiento objetivo de verificación y a través de una evaluación subjetiva por parte de los usuarios. La verificación objetiva se ha realizado de manera sistemática por el STAP y la evaluación subjetiva se ha realizado mediante una encuesta que se difundió a los diferentes centros operativos de predicción.

III.2.1.- Verificación Objetiva

III.2.1.1.- Descripción del método usado

El método desarrollado proporciona predicciones semihorarias de tamaño (área) y posición de los SCM hasta un plazo de dos horas. Como ambas predicciones son independientes se puede tratar de verificar ambas por separado, es decir, evaluar la bondad de los modelos de extrapolación del movimiento y del área de manera independiente. Ahora bien, a efectos prácticos, lo importante es la combinación de ambos ya que de nada sirve, por ejemplo, predecir de manera precisa el área del SCM si su posición prevista está alejada de la posición real.

Por tanto, la verificación práctica sólo se puede hacer comparando el grado de superposición entre la elipse que representa al SCM previsto y la elipse que representa al SCM observado. De manera general, la situación se presenta en la Fig. III.2.1. En ella se han representado una predicción (SCM Previsto) y la observación posterior (SCM Observado). La intersección de ambas elipses nos define tres regiones diferenciadas:

- El conjunto de puntos que pertenecen a ambas elipses Aa (su intersección), representa el área que ha sido correctamente prevista. Es decir, en todos esos puntos se ha previsto la presencia del SCM y así ha ocurrido.

- El conjunto de puntos que pertenecen a la elipse observada pero no a la prevista, Afd , representan el área en que la predicción ha fallado. No se predijo la presencia de SCM y si ocurrió. Se trata de un área a la que se puede denominar Fallo de Detección.
- El conjunto de puntos que pertenecen a la elipse prevista pero no a la observada, Afa, también constituyen un área en la que se ha fallado la predicción, y a la que denominaremos como Falsas Alarmas.

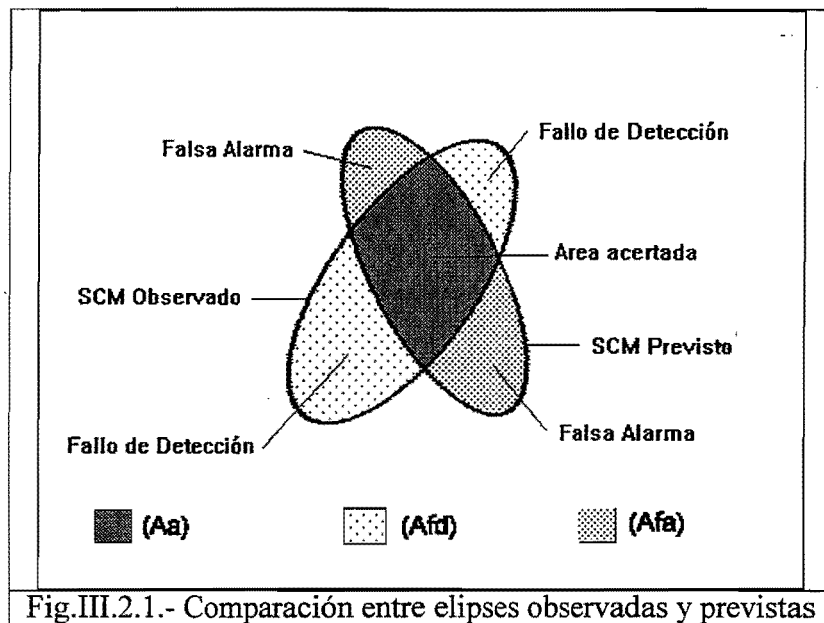


Fig.III.2.1.- Comparación entre elipses observadas y previstas

A partir de estas áreas podemos definir una serie de índices que nos califiquen la bondad de la predicción. Una primera medida sería el grado de acierto el cual se puede medir mediante la fracción del área observada correctamente prevista, esto es el cociente entre la intersección de ambas elipses (Aa) y el área de la elipse observada y expresado en tantos por ciento, o lo que es lo mismo:

$$POD = 100 * Aa / (Aa + Afd)$$

este índice, que representa la fracción correcta lo denominaremos Probabilidad de Detección (POD). Su complementario representaría los fallos de detección.

Por otra parte, a la fracción del área prevista que no se corresponde con la observada la denominaremos Tasa de Falsas Alarmas (FAR), y vendrá dada por:

$$FAR = 100 * Afa / (Aa + Afa)$$

Es evidente que la predicción será mejor cuanto más alto sea la POD (probabilidad de detección) y más bajo FAR (la tasa de falsas alarmas). Diferentes combinaciones de valores de POD y FAR pueden dar lugar a predicciones de similar calidad y en general no basta con que uno de los índices sea bueno, es necesario que ambos lo sean.

Un índice que combina estos dos y proporciona una medida única de calidad es el Índice Crítico de Aciertos (CSI: Critical Success Index en la literatura anglosajona) y que en nuestro caso se definiría como el cociente entre el área de la intersección de las elipses y el área de la unión de ambas, esto es:

$$CSI = 100 * Aa / (Aa + Afa + Afd)$$

Valores altos del CSI significan buenas predicciones ya que indicaría que se dan valores altos de POD y bajos de FAR simultáneamente. Por contra, valores bajos del CSI van asociados a malas predicciones ya que o bien la probabilidad de detección (POD) es pequeña o la tasa de falsas alarmas (FAR) es alta, o ambas a la vez.

Se ha desarrollado un procedimiento que calcula estos índices (junto con otros parámetros tales como el error en distancia y en área) a partir de la información contenida en los ficheros MD's operativos de predicciones.

Un aspecto importante a tener en cuenta en las verificaciones objetivas es el disponer de una predicción de referencia con la cual comparar los resultados. En nuestro caso hemos tomado como referencia la pura extrapolación lineal y el objetivo es ver si el nuevo método es capaz de mejorar la extrapolación lineal. Para ello, paralelamente a la cadena operativa descrita se ha dispuesto de otra cadena idéntica con la única diferencia es que el modelo de predicción utilizado ha sido lineal. Los resultados (que no se han puesto disponibles en entorno ADDE) han sido sometidos al mismo proceso de verificación y nos servirán como punto de referencia. En los apartados siguientes presentamos los resultados obtenidos, en primer lugar de la verificación individual (tamaño y movimiento) y posteriormente de la global tomando siempre como referencia a la extrapolación lineal. El número de predicciones verificadas para cada periodo de predicción viene reflejado en la Tabla III.2.1. Hay que hacer constar que, aunque el método de predicción se ha aplicado a partir de un área umbral de 5.000 Km², la verificación solo se ha efectuado a partir de que los SCM alcanzaban los 10.000 Km² ya que así fue diseñado inicialmente.

Periodo de Predicción	Nº de Predicciones
H+30	217
H+60	193
H+90	167
H+120	146

Tabla III.2.1.

III.2.1.2.- Verificación de la predicción de tamaños de SCM.

El error absoluto medio de la predicción de áreas oscila entre los 3.500 Km² (H+30) hasta los 11.500 Km² (H+120) (ver Fig.III.2.2 a), en cualquier caso siempre se mantiene inferior al que proporcionaría una extrapolación lineal de la tendencia (entre un 11% y un 21% con un porcentaje creciente para periodos de predicción más largos). Por lo que se refiere al sesgo (Fig.III.2.2 b) el modelo utilizado tiende a subpredecir ligeramente el tamaño de los SCM mientras que el lineal sobrepredice en exceso este tamaño.

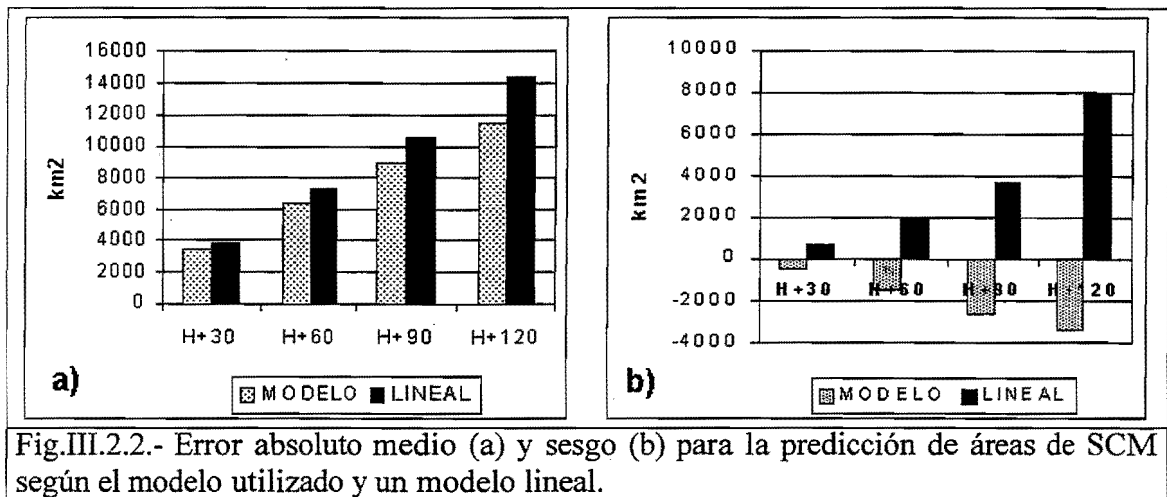


Fig.III.2.2.- Error absoluto medio (a) y sesgo (b) para la predicción de áreas de SCM según el modelo utilizado y un modelo lineal.

Como el modelo de predicción de áreas utilizado depende de la fase del SCM resulta interesante conocer como se distribuyen los errores según el modelo aplicado. En la Fig.III.2.3 se pueden ver los resultados, tanto para el error absoluto medio como para el sesgo para las cuatro diferentes fases (crecimiento, decrecimiento, madurez y reactivación).

Lo primero que se observa es que el modelo utilizado proporciona mejores resultados que el lineal en todos los casos (fases y periodos de predicción), pero donde las mejoras son más evidentes y espectaculares son durante las fases de madurez y reactivación. En estas fases, que es donde el modelo de predicción se aleja más del modelo lineal (dado que pronostica un cambio de tendencia), vemos que se obtienen mejoras en el error absoluto medio de hasta un 40% en el H+120 y simultáneamente una reducción sistemática del sesgo. Por último señalar que en la fase de crecimiento el modelo presenta un sesgo negativo lo que nos puede estar indicando que el coeficiente usado $K_c=0.6$ debería ser algo mayor. Por el contrario en el caso de decrecimiento las diferencias son muy pocas como es lógico ya que se ha usado un coeficiente $K_d=0.9$ muy próximo a la unidad que correspondería a un modelo lineal.

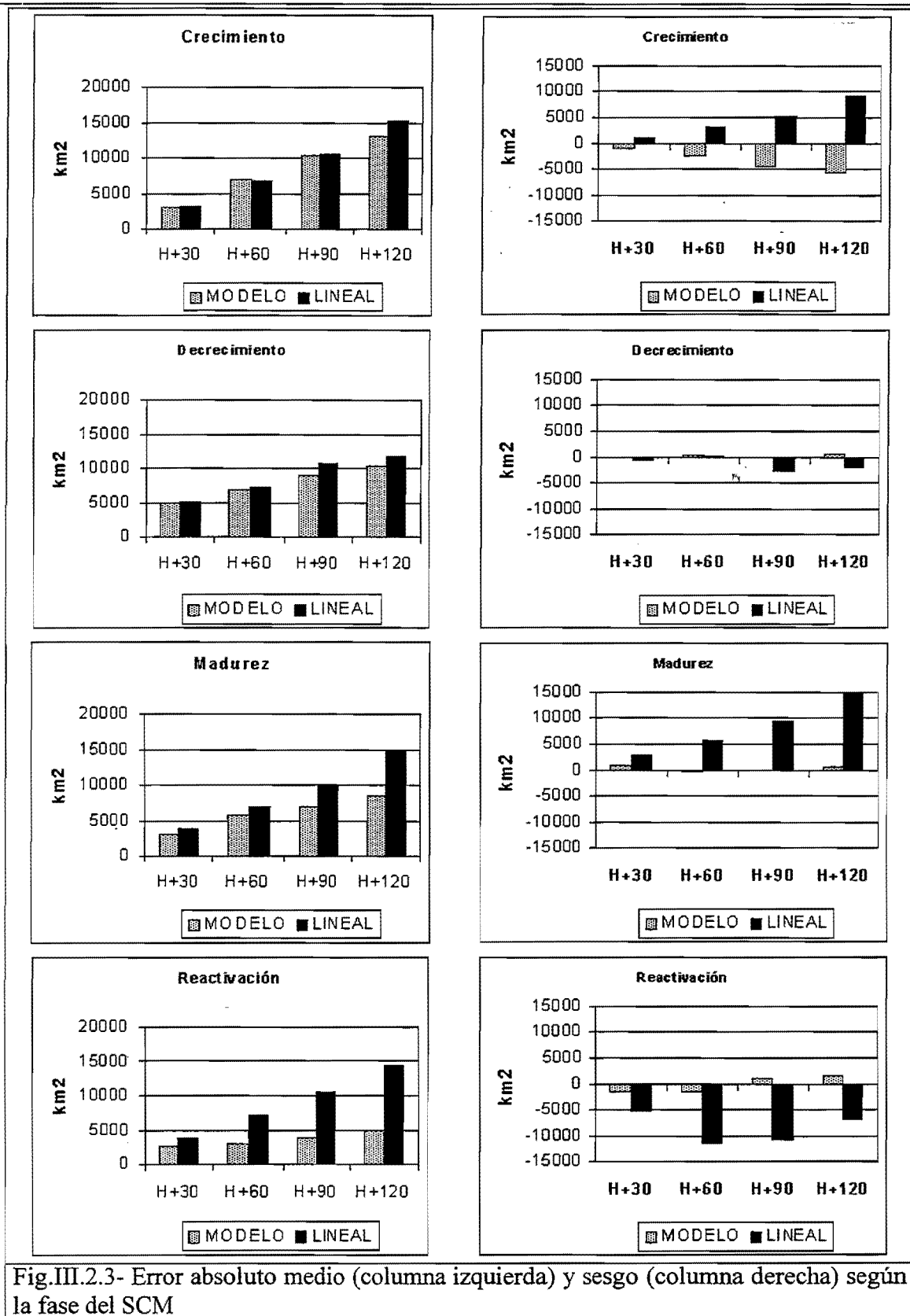


Fig.III.2.3- Error absoluto medio (columna izquierda) y sesgo (columna derecha) según la fase del SCM

III.2.1.3.- Verificación de la predicción del movimiento de SCM.

En el modelo utilizado el SCM se desplaza con una velocidad promedio entre la velocidad de la última media hora y la velocidad media a lo largo de todo el ciclo de vida previo. El error se ha calculado simplemente como la distancia (en Km) entre las posiciones previstas y observadas. En la Fig.III.2.4 se presentan estos errores para el modelo utilizado y para el modelo de referencia (extrapolación lineal).

El error medio en distancia oscila entre los 16 Km. para las predicciones H+30 hasta los 56 Km. para H+120, en cualquier caso este error se mantiene por debajo del correspondiente a la extrapolación lineal. La mejora del método (skill-score) se puede cifrar entre un 16% (H+30) y un 21% (H+120).

En definitiva se puede concluir que el hecho de utilizar la velocidad media del SCM a lo largo de todo su ciclo de vida mejora algo la extrapolación lineal (que usa solo la última velocidad diagnosticada). No obstante es necesario puntualizar que parte de la mejora puede venir también por el hecho de que el modelo propuesto hace un tratamiento más adecuado en los casos de fusiones y divisiones.

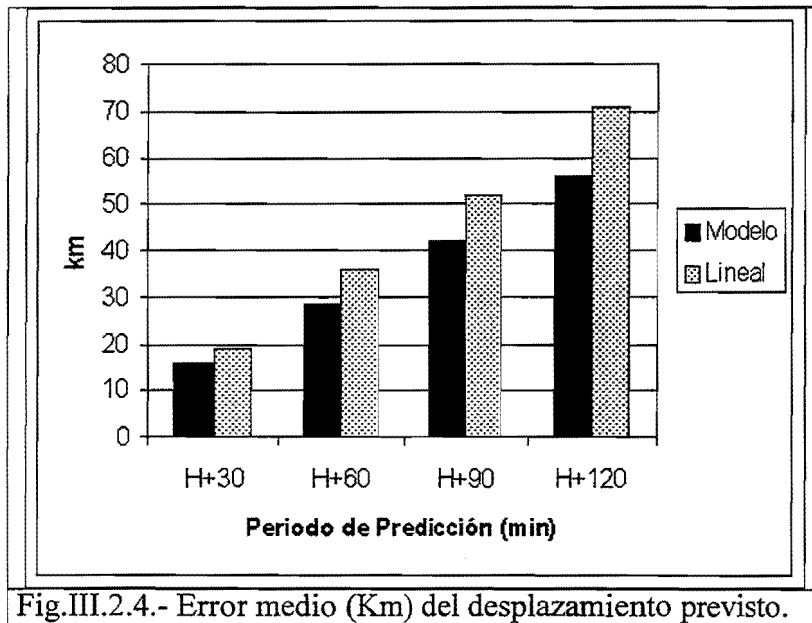


Fig.III.2.4.- Error medio (Km) del desplazamiento previsto.

Un aspecto a destacar, tal y como se puede apreciar en la Fig.III.2.5 es que cuando se calculan los errores diferenciando según la fase en que se encuentra el SCM resulta que durante la fase de decrecimiento es cuando los errores son mayores (23, 38, 60 y 86 Km para cada periodo de predicción) y esto ocurre tanto para nuestro modelo como para la extrapolación lineal.

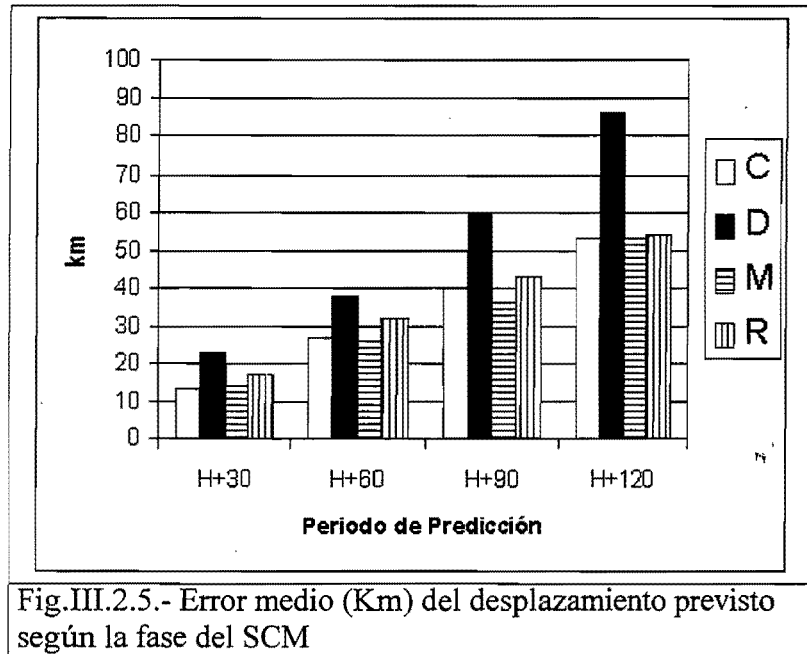
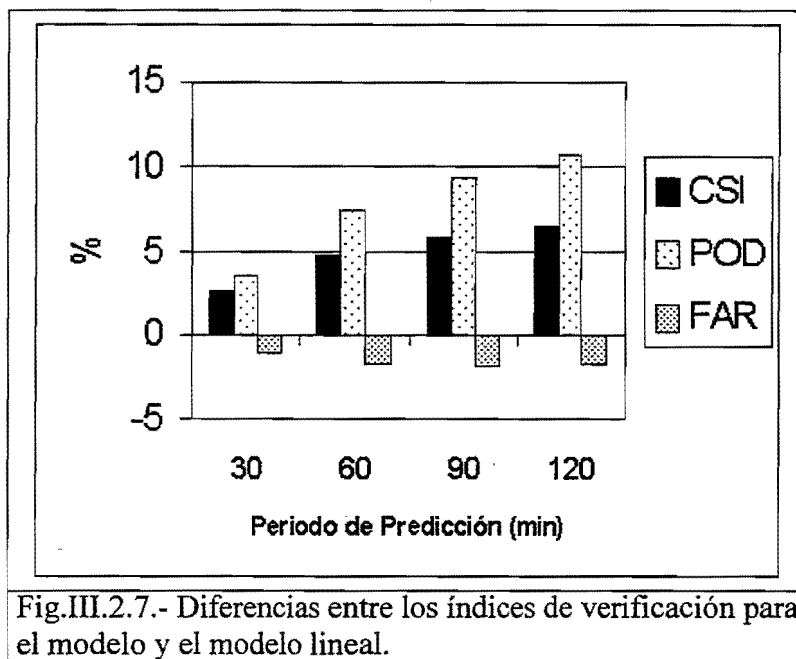
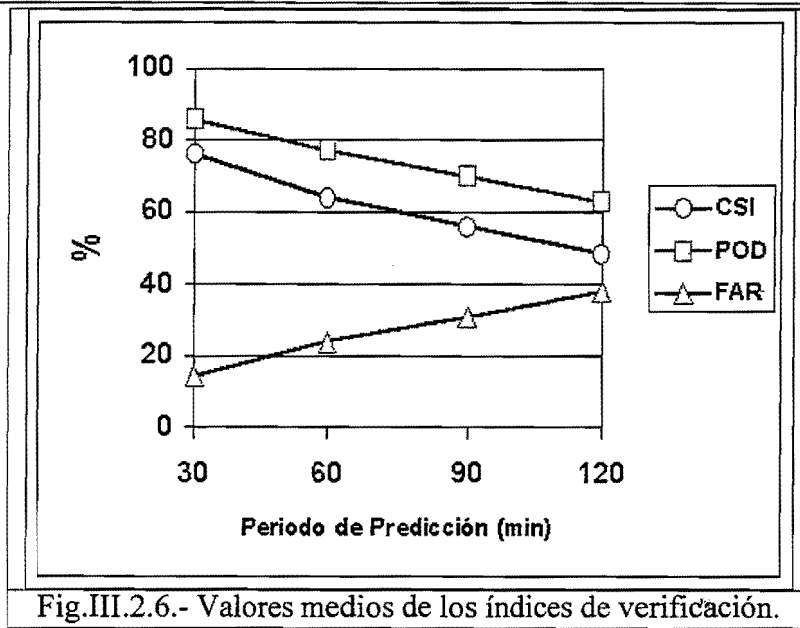


Fig.III.2.5.- Error medio (Km) del desplazamiento previsto según la fase del SCM

III.2.1.4.- Resultados de la verificación global

Como ya se ha comentado anteriormente, desde el punto de vista práctico lo que interesa es comparar, por superposición, las áreas de las elipses correspondientes a las predicciones y observaciones. Los resultados del cálculo de los índices definidos anteriormente se presentan en la Fig.III.2.6. En ella se puede apreciar como la probabilidad de detección (POD) disminuye desde un valor próximo al 85% en la predicción a H+30 hasta un 64% para H+120. Por su parte la tasa de falsas (FAR) alarmas crece desde el 17% (H+30) hasta el 40% (H+120). En consecuencia, el índice crítico de aciertos (CSI) disminuye desde un valor del 80% (H+30) hasta un 50% (H+120), lo cual puede calificarse globalmente como bastante aceptables. No obstante es necesario compararlos con los que se obtendrían mediante el método de referencia (extrapolación lineal) para cuantificar la mejora que supone.

En la Fig.III.2.7 se han representado las diferencias entre estos índices obtenidos por nuestro modelo y los obtenidos mediante extrapolación lineal. Como se puede apreciar esta diferencia está siempre a favor del modelo utilizado (mayores CSI y POD y menor FAR) y, además, la diferencia crece con el periodo de predicción, obteniéndose mejoras del orden del 11% para la POD y del 6% para el CSI en predicciones a dos horas y todo ello sin incrementar la tasa de falsas alarmas. *En definitiva, podemos afirmar que el método propuesto mejora la extrapolación lineal gracias a la introducción del modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM.*



Al igual que en caso anterior conviene estudiar estas diferencias agrupadas según el modelo de extrapolación utilizado, es decir, según la fase del SCM. Las diferencias con la extrapolación lineal para las diferentes fases se presentan en la Fig.III.2.8.

Lo más destacable es que las mayores mejoras se registran durante la fase de madurez, alcanzando valores del 18% para el POD y del 10% del CSI con tan sólo un ligero incremento de la FAR. Hay que recordar que es en esta fase (junto con la de reactivación) cuando el modelo

propuesto se aleja más del modelo lineal, puesto que pronostica un cambio de tendencia en el crecimiento.

En la fase de crecimiento también existe un impacto positivo con un aumento del 14% en la POD y del 7% en el CSI, pero en la fase de decrecimiento el impacto positivo es bastante menor (menos del 5% para la POD y CSI y solo durante la primera hora), lo cual no es de extrañar teniendo en cuenta que en esta fase se ha usado un coeficiente $K_d=0.9$ que es muy próximo a la unidad (modelo lineal) y, por tanto, debe interpretarse como que en esta fase es donde puede ser más válida la hipótesis de linealidad.

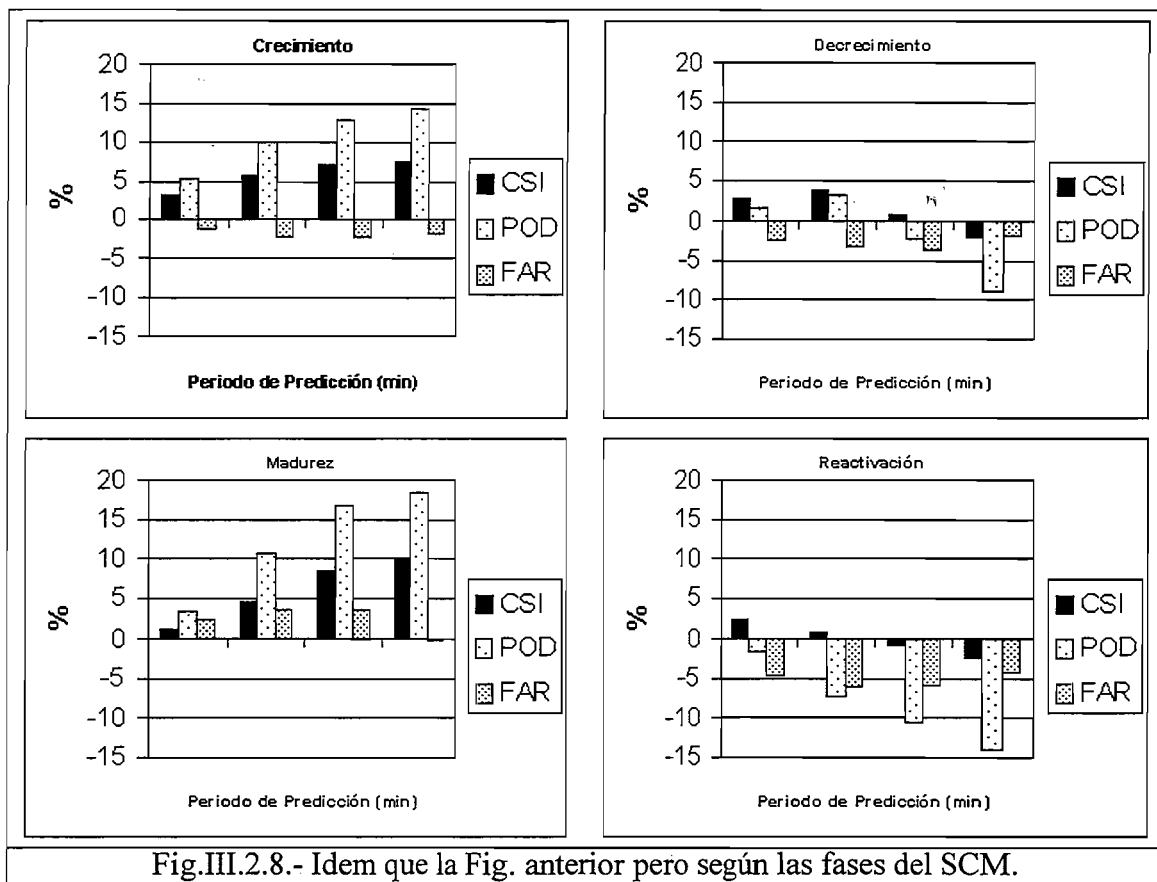


Fig.III.2.8.- Idem que la Fig. anterior pero según las fases del SCM.

Lo que resulta un poco sorprendente son los resultados durante la fase de reactivación, lo que se observa es que solo existe impacto positivo en la tasa de falsas alarmas (que incluso casi llega al 15% a dos horas), por el contrario la POD es peor que el modelo lineal y en consecuencia el CSI presenta muy pocas variaciones siendo el impacto final casi neutro. El resultado es algo sorprendente por que, según se ha visto en apartados anteriores, cuando se verifica independientemente los errores en las predicciones de áreas y en distancia obteníamos una mejora muy importante en las predicciones de área mientras que en distancia los errores no eran muy diferentes de las otras fases. Existen dos posibles explicaciones, la primera es que dado lo pequeño de la muestra en este caso (en comparación con las otras fases) los resultados no sean muy significativos y la segunda hipótesis es que en esta fase tenga más importancia relativa los

elementos que hemos considerado como constantes en el modelo (excentricidad y orientación, aspectos estos que no se han evaluado). Así, por ejemplo un cambio de orientación o excentricidad en la fase de reactivación podría explicar estos resultados.

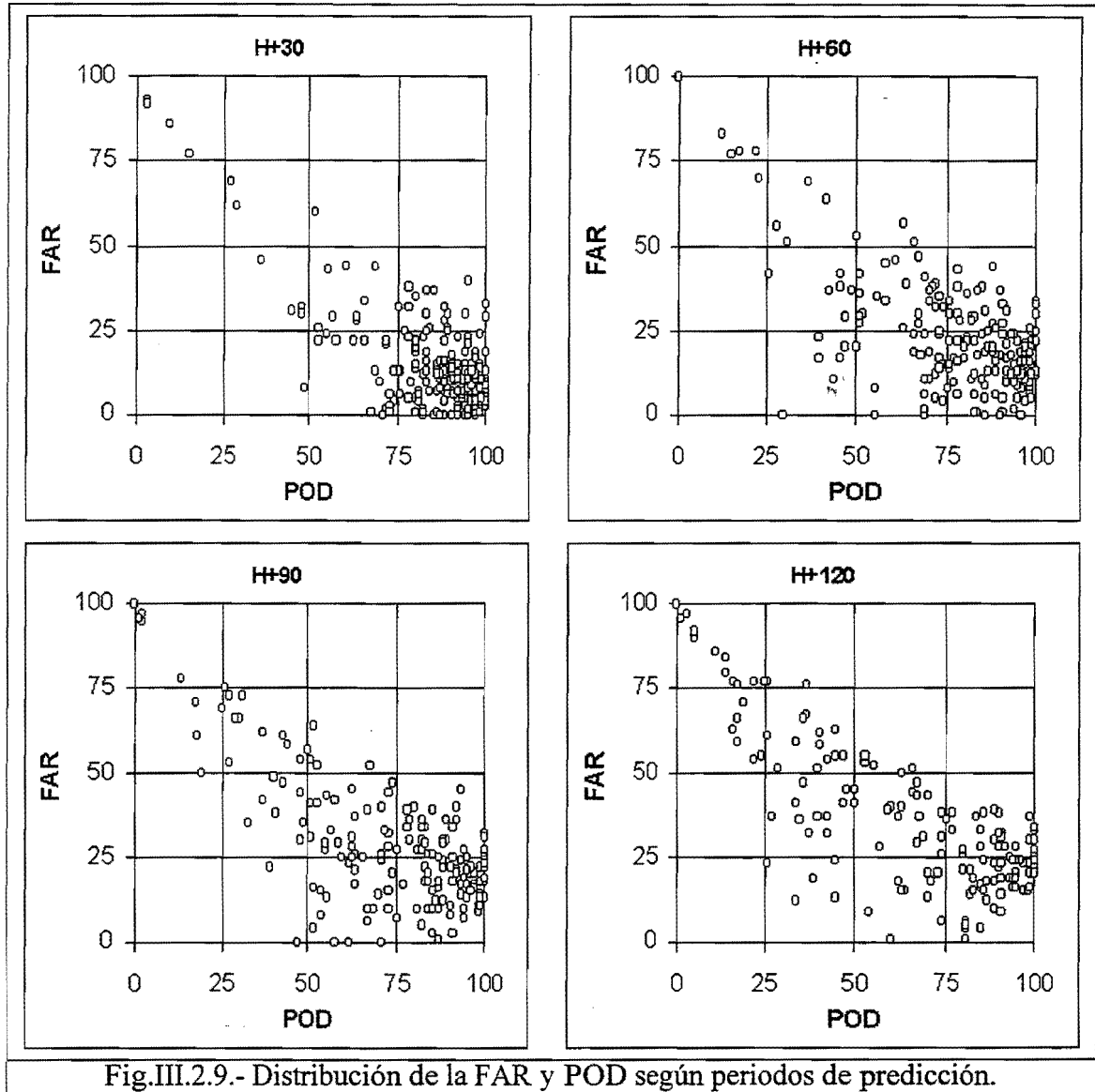


Fig.III.2.9.- Distribución de la FAR y POD según periodos de predicción.

Otra forma de visualizar los resultados de esta verificación es representar todos los pares de valores de la tasa de falsas alarmas y probabilidad de detección, tal y como se ha hecho en la Fig.III.2.9. En ellas cada punto representa una predicción concreta y esta será mejor cuanto más cerca del vértice inferior derecho se encuentre (valor alto de POD y bajo de FAR). Podemos ver como esta agrupación es muy significativa para H+30 y como se va degradando paulatinamente con el periodo de predicción.

La cuantificación de esto último se puede hacer mediante el valor del CSI si utilizamos una clasificación como la siguiente:

- Predicción Muy Buena: CSI entre 80 y 100. Supone valores de la fracción correcta superiores al 80% y simultáneamente falsas alarmas inferiores al 20%.
- Predicción Buena: CSI entre 60 y 80: Supone valores de la fracción correcta superiores al 60% y simultáneamente falsas alarmas inferiores al 40%.
- Predicción aceptable: CSI entre 40 y 60. Supone valores de la fracción correcta superiores al 40% y simultáneamente falsas alarmas inferiores al 60%.
- Predicción Mala: CSI entre 20 y 40. Supone valores de la fracción correcta superiores al 20% y simultáneamente falsas alarmas inferiores al 80%.
- Predicción Muy Mala: CSI entre 0 y 20. Supone valores de la fracción correcta inferiores al 20% o falsas alarmas superiores al 80%.

En la Fig.III.2.10 se puede observar como se distribuyen los valores del CSI en estos intervalos. De la gráfica se deduce que, si consideramos como útiles aquellas predicciones calificadas como aceptables, buenas y muy buenas, el porcentaje de predicciones útiles es superior al 60% hasta un periodo de predicción de 2 horas. Para el periodo entre 1/2 hora y 1 1/2 horas el porcentaje de predicciones buenas y muy buenas es superior al 50%.

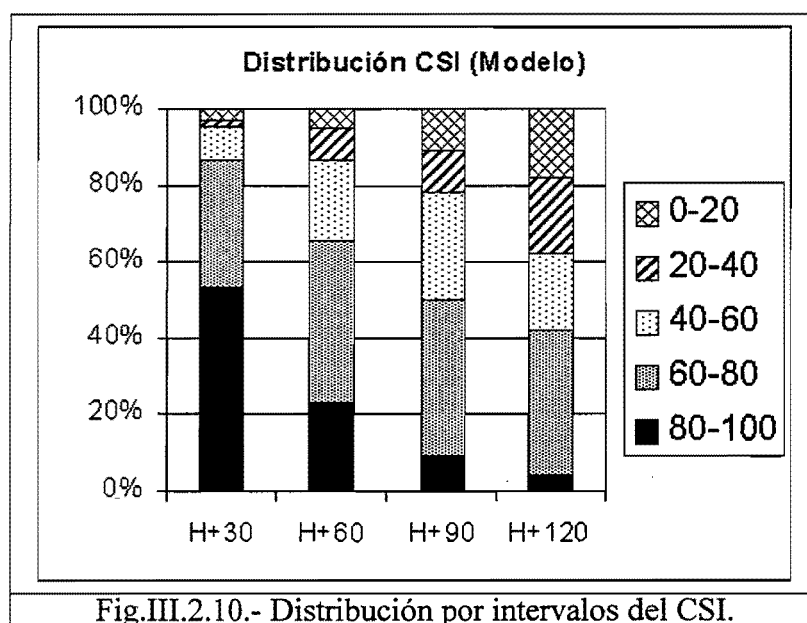


Fig.III.2.10.- Distribución por intervalos del CSI.

III.2.2.- Evaluación subjetiva

Como ya se ha mencionado nos parece muy importante la valoración que se haga, por parte de los usuarios, de la utilidad del procedimiento en entornos operativos, tanto desde un punto de vista general como de los aspectos parciales del mismo. Por ello, se diseñó una hoja encuesta

dirigida a los predictores en las que se solicitaba su opinión acerca de la utilidad del procedimiento.

Se solicitaba que valorasen el procedimiento de manera global así como los tres aspectos parciales que lo componen: El primero hace referencia al diagnóstico de los SCM en el sentido de si las indicaciones acerca del estado en el que se encuentra el SCM (crecimiento, decrecimiento, madurez ó disipación) y a cerca de la evolución anterior del mismo (es nuevo, proviene de una fusión, división ó presenta continuidad) son útiles, los otros dos aspectos están relacionados con las trayectorias previstas y con las áreas previstas de los sistemas (ya que se predicen de forma independiente). Para la calificación se usaron los siguientes términos:

- **Inútil:** confunde más que ayuda
- **Indiferente:** no proporciona ninguna información adicional
- **Útil:** proporciona información adicional en ocasiones
- **Muy útil:** proporciona información adicional en la mayoría de los casos.

Debido a la baja actividad convectiva que se ha registrado este otoño en las proximidades de la Península Ibérica, los predictores han tenido pocas ocasiones de hacer uso del procedimiento (la mayoría de los SCM registrados lo han sido sobre el continente africano, fuera de las áreas de responsabilidad de los diferentes GPVs). En consecuencia, el número de encuestas recopiladas ha sido muy bajo, en total 11 encuestas (4 procedentes del CNP, 3 del GPV de Baleares, 2 del GPV de Málaga y 1 de los GPV's de Zaragoza y Barcelona). Por tanto, los resultados (véase Tabla II.2.2) obtenidos solo tienen un carácter orientativo.

	<i>Inútil</i>	<i>Indiferente</i>	<i>Útil</i>	<i>Muy útil</i>
Valoración Global	0	2	6	3
Diagnóstico	0	3	6	2
Trayectorias Previstas	0	1	4	6
Áreas Previstas	0	3	5	3

Tabla II.2.2

Como se puede apreciar de las 11 respuestas recibidas, 9 consideran al método útil o muy útil siendo las trayectorias previstas el aspecto del procedimiento mejor valorado y aunque no se pueden sacar conclusiones si se puede decir que, al menos, parece que existe una opinión positiva sobre el método.

Junto con la encuesta, se han recibido opiniones de los predictores acerca del comportamiento del método y sugerencias de mejora, lo cual nos ha permitido detectar problemas y avanzar en algunas soluciones para posteriores versiones y de las cuales nos ocuparemos en el apartado III.3.

III.2.3.- Conclusiones

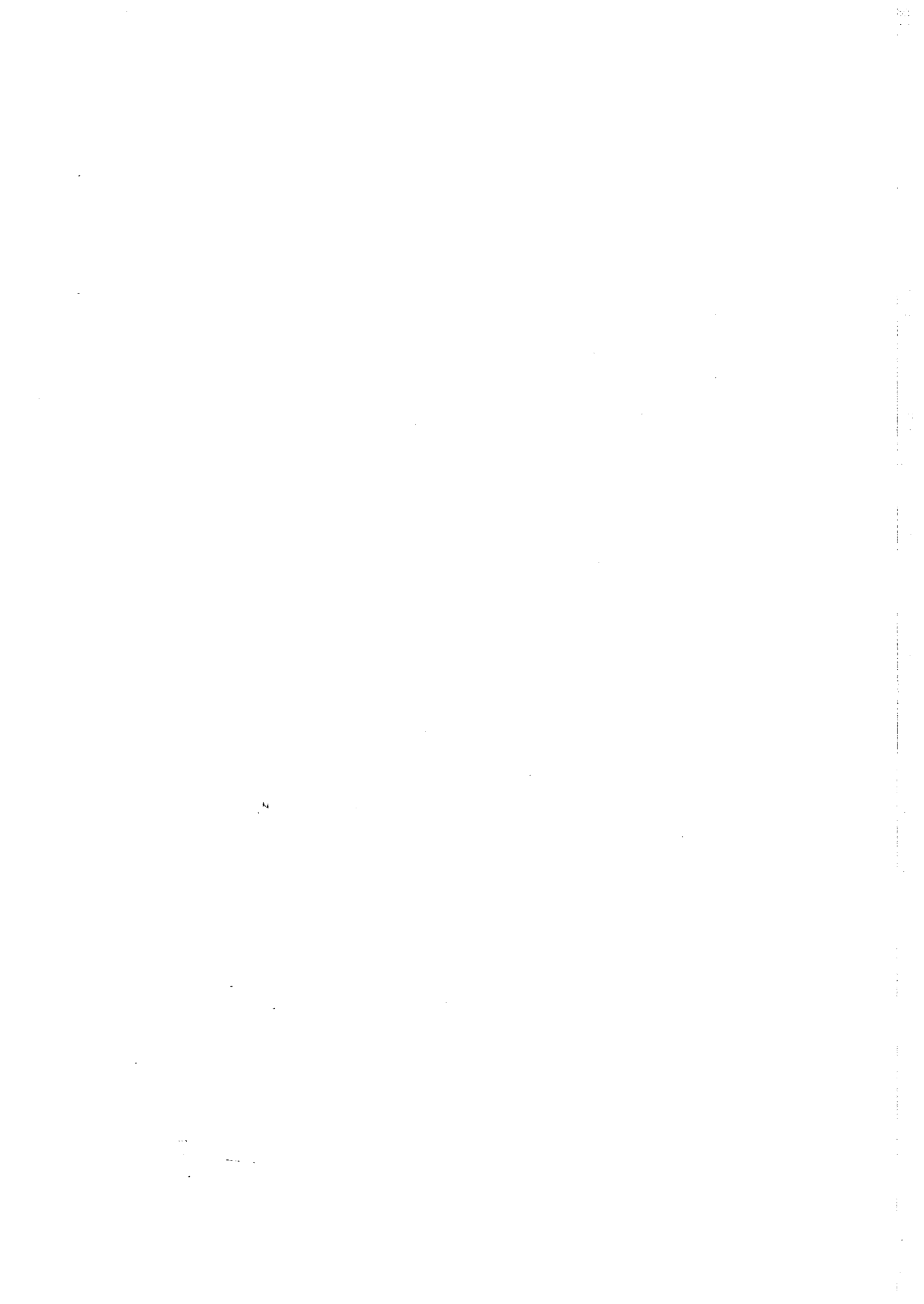
La conclusión más importante que se deduce de la verificación objetiva es que, tal y como se proponía, la introducción de un modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM es capaz de

mejorar los métodos de extrapolación lineal. El método desarrollado supera a la extrapolación lineal en todos los aspectos, tanto en los individuales (predicción de áreas y trayectorias) como en el global (Índice Crítico de Aciertos).

Por lo que respecta a la predicción de áreas de los SCM el mayor impacto positivo se obtiene en las fases de madurez y reactivación de los SCM que es donde el modelo propuesto se aleja más de la hipótesis lineal. Por el contrario se obtiene poca mejora en la fase de decrecimiento que es donde parece que existe un comportamiento más próximo al lineal.

La utilización de la velocidad media del SCM a lo largo de su ciclo de vida junto con la última velocidad diagnosticada también mejora algo la predicción usando solo la última velocidad. No obstante, parte de la mejora también puede ser achacada al tratamiento especial que hace el modelo en los casos de fusiones y separaciones (que es cuando más errores se cometen). No obstante, la predicción del movimiento de los SCM es uno de los aspectos que deberían ser mejorados para tratar de disminuir los errores medios.

Desde un punto de vista global (cuando se combinan las predicciones de área y posición) el índice crítico de aciertos se mantiene entre el 80% (a 1/2 hora) y el 50% (a 2 horas), lo que supone una mejora moderada respecto a un modelo de extrapolación lineal. De nuevo es la fase de madurez donde las mejoras resultan más importantes (10% en el CSI y 18% en la POD), seguida de la fase de crecimiento. En las fases de decrecimiento y reactivación se obtiene poca o nula mejora. Si se consideran como útiles las predicciones con CSI superior al 40% se obtiene que el porcentaje de predicciones útiles se mantiene por encima del 60% hasta un periodo de 2 horas y aunque no es posible extraer consecuencias de la evaluación subjetiva proporcionada por los predictores, si se puede detectar al menos una cierta opinión positiva sobre el procedimiento.



III.3.- Problemas identificados y desarrollos futuros

III.3.1.- Problemas identificados

III.3.1.1.- Estructura identificada no asociada a SCM

III.3.1.2.- Representación no adecuada del SCM

III.3.1.3.- Problemas derivados de la fusión entre SCM

III.3.2.- Posibles soluciones y desarrollos futuros

III.3.1.- Problemas Identificados

Durante el periodo experimental se han identificaron un conjunto de problemas, inherentes al método empleado. En este apartado se ilustran estos con objeto de servir de base a posibles desarrollos futuros. Podemos agruparlos en los siguientes apartados:

- Estructura identificada no asociada a SCM
- Representación no adecuada del SCM
- Problemas derivados de las fusiones entre SCM

III.3.1.1.- Estructura identificada no asociada a SCM

En esta primera versión del método las condiciones impuestas para la selección de objetos (que el área con temperatura de brillo inferior a -52°C superase 10.000 Km^2 aunque posteriormente se rebajó a 5.000 Km^2 y cuya excentricidad fuese superior a 0.25) son muy generales y por supuesto no garantizan que todos los objetos seleccionados fuesen realmente SCM tal y como se advertía en la documentación de la Campaña (Apartado 5.- Consideraciones generales para su uso):

“El método de detección es incompleto. Para detectar las estructuras que son consideradas por el procedimiento como SCM (y para rechazar aquellas que no son consideradas SCM) sólo se utilizan el tamaño y la excentricidad de la elipse asociada. De esta manera, estructuras nubosas compuestas por cirros orográficos y, en general, por cirros espesos, pueden 'colarse' en el procedimiento como verdaderos SCM. El usuario, por medio del análisis de las imágenes, debe rechazar esa información y no tenerla en cuenta.”

Es decir, en esta primera versión, la decisión de si una estructura determinada es o no un SCM y aplicar o no el procedimiento de predicción se dejaba a la responsabilidad del predictor. A lo largo de la Campaña se han podido recopilar algunos ejemplos que ponen de manifiesto lo anteriormente dicho y que se reproducen a continuación. Se han seleccionado tres situaciones en donde se han dado falsas estructuras de SCM: a) Sistema frontal, b) Nubosidad estratiforme espesa y con topes fríos y c) Nubosidad asociada al chorro subtropical

a) Sistema frontal

El 6 de septiembre de 1998 un frente con gran cantidad de nubosidad alta asociada atravesó la Península de W a E (Fig.III.3.1). El procedimiento automático de SCM identificó ciertos topos nubosos que alcanzaron valores de temperatura de brillo inferiores a -52°C con un tamaño superior a 10.000 Km^2 , e hizo su seguimiento durante 4 horas. Si se observa la gráfica del ciclo de vida (Fig.III.3.1b) se aprecia como el valor del índice de volumen (Iv) se mantiene siempre con valores muy bajos con respecto al área de -52°C . Esta característica es fundamental para discriminar las estructuras nubosas no asociadas a un SCM.

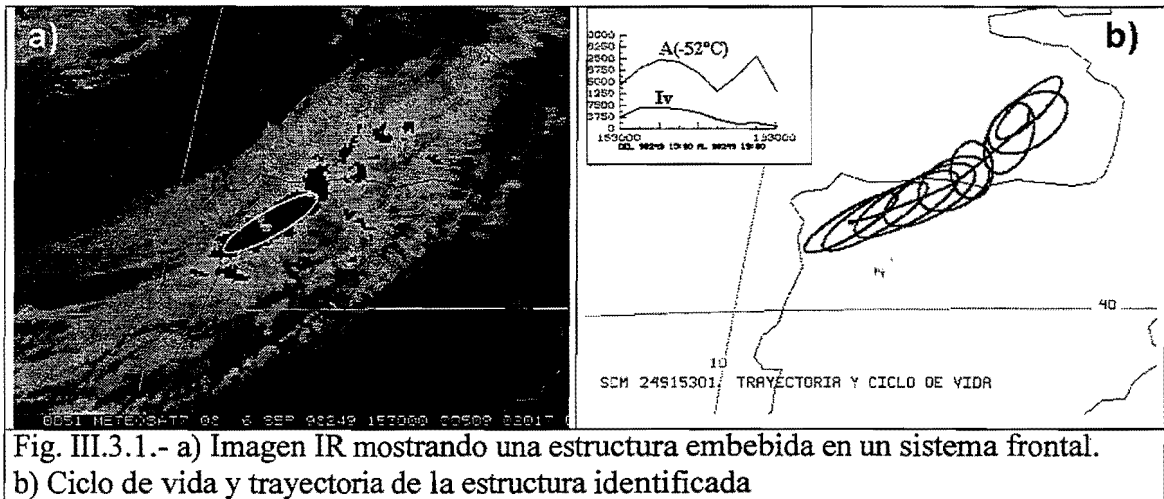


Fig. III.3.1.- a) Imagen IR mostrando una estructura embebida en un sistema frontal. b) Ciclo de vida y trayectoria de la estructura identificada

b) Nubosidad estratiforme espesa y con topos fríos

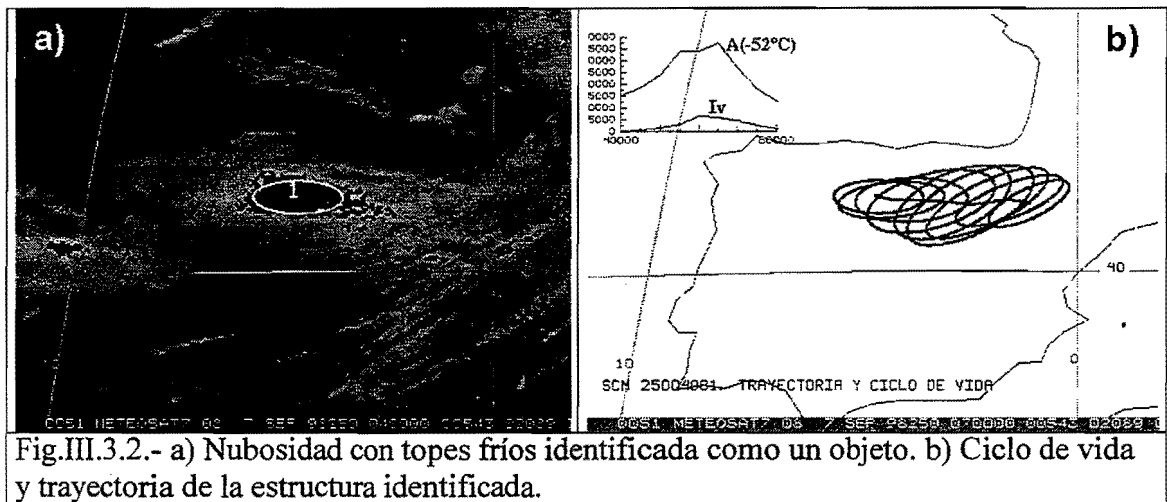


Fig.III.3.2.- a) Nubosidad con topos fríos identificada como un objeto. b) Ciclo de vida y trayectoria de la estructura identificada.

A lo largo del día 7 de septiembre de 1998 nubosidad no asociada a un SCM, con topos fríos atravesó la Península, (Fig.III.3.2a). Parte de ella fue identificada por el procedimiento y se hizo el seguimiento del objeto durante 4:30 horas. Al igual que en el caso anterior la gráfica de evolución del Iv y del área de -52°C (Fig.III.3.2 b) nos da la pista para no asociar la identificación a un SCM. Al SE de la imagen se observan gran cantidad de cirros espesos y en

bandas que posteriormente también serían, durante periodos cortos de tiempo, identificados por el procedimiento.

c) Nubosidad asociada al chorro subtropical.

Desde la 1:30 hasta las 6:30 Z del día 11 de septiembre de 1998 el procedimiento automático siguió una estructura convectiva al sur de Baleares embebida en la nubosidad asociada al chorro subtropical (Fig.III.3.3a) Inicialmente fueron un grupo de núcleos convectivos pero rápidamente estos decayeron quedando restos de nubosidad media/alta conducida por el máximo de viento. El desplazamiento fue rápido y lineal hacia el NE. El ciclo de vida no es el que suelen reflejar los SCM (observar Iv, comienza con un máximo) y el A(-52°C) solamente supera los 10.000 Km² durante dos horas (Fig.III.3.3b). Por otro lado en los datos de rayos desde las 00 UTC hasta las 07 UTC del día 11 no se aprecian descargas asociadas a este sistema nuboso.

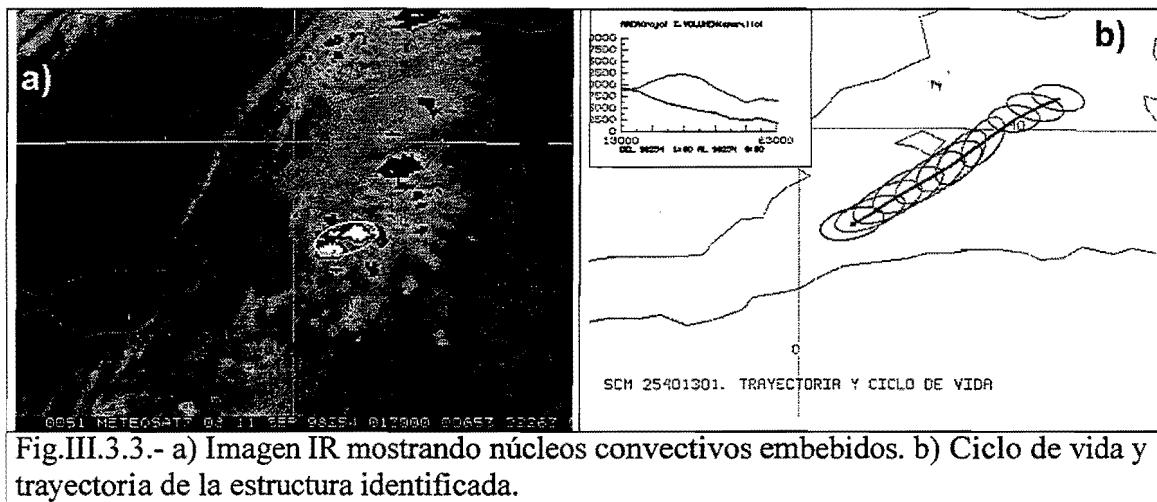


Fig.III.3.3.- a) Imagen IR mostrando núcleos convectivos embebidos. b) Ciclo de vida y trayectoria de la estructura identificada.

III.3.1.2.- Representación no adecuada del SCM

En el procedimiento desarrollado los SCM se representan esquemáticamente mediante una figura geométrica simple, la elipse, cuyos parámetros se calculan de manera que se tenga el mejor ajuste posible (ver apartado II.3). En general la experiencia muestra que una representación de este tipo suele ser bastante adecuada aunque evidentemente en ocasiones el ajuste deja bastante que desear. Esto es especialmente cierto en situaciones en las que, por ejemplo, se produce la reactivación de un SCM por un extremo, se funden dos SCM etc. o simplemente cuando dos o más SCM están muy próximos entre sí (entrando en contacto las isoterma de -52°C) aunque no existe una fusión verdadera. Se presentan a continuación dos ejemplos que ponen de manifiesto esta problemática.

a) La elipse no incluye la parte más activa.

La elipse que representa al SCM de la Fig.III.3.4 no incluye la zona más activa situada al SW, con topos más fríos (color blanco $T \leq -60^{\circ}\text{C}$, color gris $T \leq -64^{\circ}\text{C}$). Para asociar la elipse al SCM el procedimiento automático tiene en cuenta toda el área bajo la isoterma de -52°C y no pondera las temperaturas inferiores a la considerada como umbral. En este caso la parte más activa corresponde bien a una reactivación local o a un nuevo desarrollo en la parte SW del sistema. A medida que la parte más activa se va convirtiendo en el elemento dominante y la parte estratiforme se va disipando, las elipses suelen reorientarse e incluir las zonas más activas como de hecho sucedió en este caso.

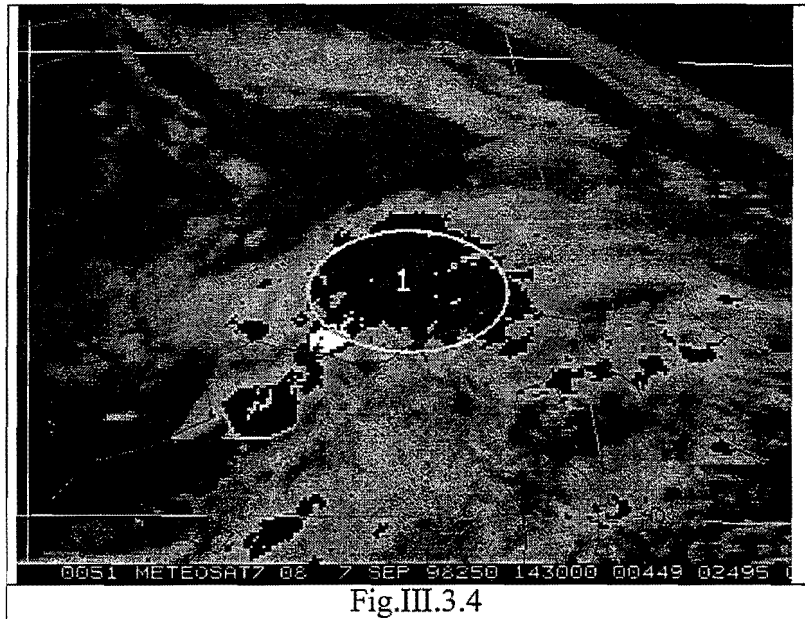


Fig.III.3.4

b) Identificación errónea

Al utilizar un umbral fijo de temperatura (-52°C), SCMs próximos entre sí con algún punto de contacto son identificados por el procedimiento como un único objeto (ver Fig.III.3.5) dando lugar, evidentemente, a representaciones erróneas, incluso a identificar un SCM dentro de otro, como es el caso de la Fig.III.3.5 (pequeña elipse dentro de la elipse grande).

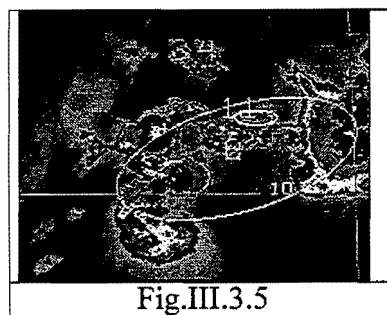


Fig.III.3.5

III.3.1.3.- Problemas derivados de la fusión entre SCM

a) Velocidades diagnosticadas no realistas

Se han dado situaciones en las que el procedimiento diagnostica velocidades excesivas (superiores a 125 Km/h) coincidiendo con cambios bruscos en la trayectoria, fusiones, divisiones, etc. El procedimiento da un listado en McIDAS donde se da la dirección y velocidad de la última media hora calculada mediante el desplazamiento del centroide del SCM. En los casos en que el SCM se funde con otro núcleo, o se separa en dos, etc., el centroide puede desplazarse mucho y su velocidad no se corresponde con un desplazamiento físico real del SCM por lo que la velocidad que aparece en el listado no es realista. Aunque en el listado aparece esta velocidad, el procedimiento de extrapolación no la tiene en cuenta en estas ocasiones (cuando se ha detectado una fusión o separación y cuando la velocidad supera un umbral de 125 Km/h) y en estos casos se utiliza solo la velocidad media del SCM durante su vida anterior.

b) Predicción errónea tras una fusión

Como consecuencia de lo expuesto en el punto anterior, el procedimiento puede dar lugar a una predicción claramente errónea si la fusión no ha sido identificada correctamente, tal y como se refleja en el ejemplo de la Fig.III.3.6. En la primera imagen, correspondiente al día 24/sep a las 06:30 z (Fig.III.3.6a) se observan dos SCM pequeños (14.000 y 9.000 Km²) al este de las Baleares. La predicción indica que se están desplazando hacia el NE y que irán disminuyendo su tamaño (fase de madurez). Media hora después (Fig.III.3.6b) los dos SCM se encuentran unidos por un extremo por lo que el procedimiento detecta solo un SCM y falla al diagnosticar la fusión entre ambos. Considera que el SCM situado más al norte se ha disipado y que el situado más al sur ha crecido. En consecuencia diagnostica que el SCM situado más al sur está creciendo y desplazándose rápidamente hacia el norte (ya que el centroide se ha desplazado hacia el norte como consecuencia de la fusión).

Posteriormente el procedimiento da continuidad al SCM y prevé una velocidad de traslación más acorde con la realidad. El procedimiento ha fallado al diagnosticar esta fusión. Si se hubiese diagnosticado correctamente la fusión, el procedimiento no habría utilizado la última velocidad diagnosticada (122 Km/h), utilizando en su lugar la velocidad media del sistema.

El procedimiento rechaza velocidades superiores a un cierto umbral, en nuestro caso 125 Km/h, por lo que en este caso no ha sido rechazado, lo que nos confirma la sospecha que ya teníamos de que este umbral (125 Km/h) era demasiado alto por lo que se procederá a rebajarlo en versiones posteriores. En definitiva, señalar que el predictor debe desconfiar de las predicciones emitidas por el método en los instantes posteriores a fusiones y/o divisiones.

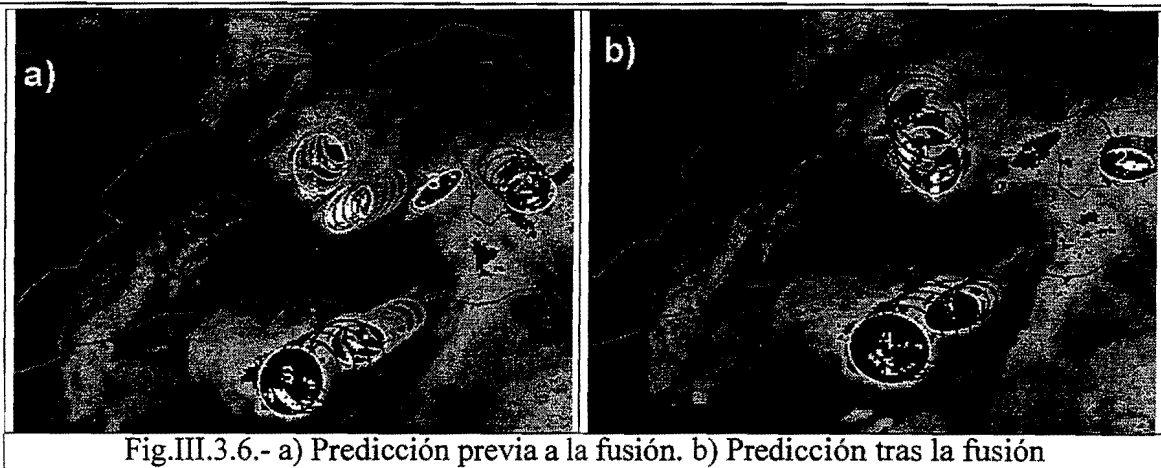


Fig.III.3.6.- a) Predicción previa a la fusión. b) Predicción tras la fusión

c) Identificación errónea tras una fusión

Si como consecuencia de la fusión o interacción entre SCMs o entre un SCM y una zona de nubosidad elevada, la elipse resulta demasiado elongada, el procedimiento la rechaza al no superar el umbral de excentricidad. Así, por ejemplo en la Fig. III.3.7 los SCM 3 y 2 (a) se funden y forman la elipse 2 del segundo panel (b), que aparece en verde. Esta elipse tiene la excentricidad menor de 0.25 por lo que no se considera SCM y no se hace el seguimiento. Media hora después, la elipse amarilla del 3 panel (c) es considerada como un SCM nuevo.

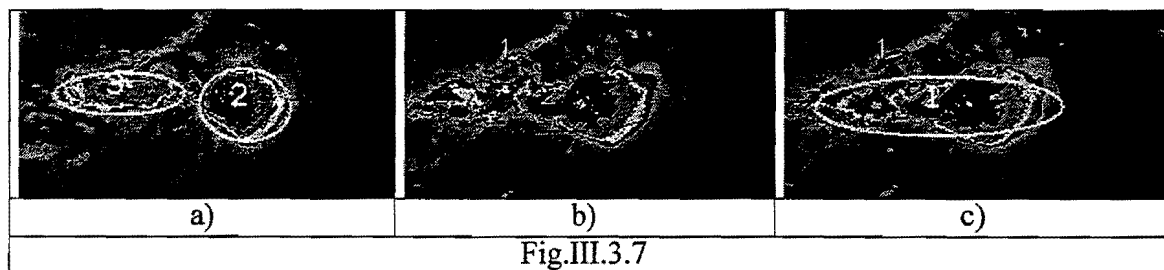


Fig.III.3.7

III.3.2.- Posibles soluciones y desarrollos futuros

En posteriores versiones del método se pretende dar solución a los problemas detectados durante esta primera Campaña. Para alguno de ellos se dispone ya de posibles soluciones a experimentar mientras que para otros es necesario una investigación más profunda.

Por lo que respecta al problema de la identificación de SCM (o lo que es lo mismo la discriminación de objetos convectivos o no) se puede abordar mediante diferentes métodos, aunque en este caso pensamos que el predictor debe tener la última palabra. Una aproximación sencilla puede derivarse del propio modelo conceptual de ciclo de vida de los SCM mediante el cociente $R=Iv/A$ que, como ya se ha apuntado se puede interpretar como una medida del desarrollo vertical frente a la extensión horizontal. El valor medio de este cociente obtenido en la climatología de SCM es de $R=0.71$ con un valor mayor en la fase de crecimiento (0.84) que en la de disipación (0.61). Por el contrario otros objetos no convectivos (nubes espesas y frías, etc.)

presentan valores de R muy bajos tal y como por ejemplo se puede apreciar en las Fig. III.3.1b, III.3.2b y III.3.3b., por tanto, parece posible utilizar un umbral para el valor de R que elimine este tipo de estructuras no convectivas.

En cuanto a la representación simplificada de SCM se ha investigado posibles formas alternativas a la de la elipse, pero no se han encontrado mejoras que justifiquen su sustitución. Lo que sí resulta importante es tener una mejor descripción de la estructura del SCM y para ello una posible vía sería la de representarlo en vez de por una única elipse, por un conjunto de ellas (para diferentes isothermas) tal y como por ejemplo se puede apreciar en la Fig.III.3.8. Esto permitiría distinguir diferentes núcleos activos dentro del objeto y ayudaría a discriminar cuando se produce realmente una fusión o simplemente los SCM están en contacto. Una aproximación de este tipo, que hay que estudiar más a fondo, podría resolver problemas como los que se han ilustrado en las Fig. III.3.6 y III.3.7.

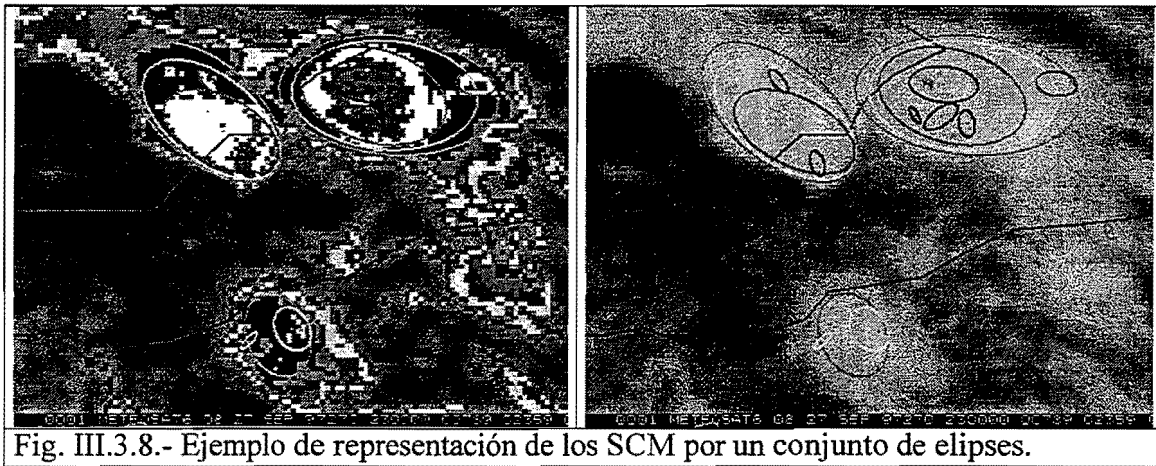


Fig. III.3.8.- Ejemplo de representación de los SCM por un conjunto de elipses.

Existen otros aspectos susceptibles de mejora en el procedimiento, como por ejemplo la predicción explícita de fusiones entre SCM (analizando si las elipses previstas se solapan), cálculo de mayor número de propiedades de los SCM, utilización simultánea de otros datos de teledetección (radar y rayos), etc. En cualquier caso es necesario realizar estudios previos que demuestren la utilidad de estas nuevas aproximaciones y proceder entonces a su incorporación al procedimiento.

ANEXO I

SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA DURANTE LA CAMPAÑA 1998



SCM Durante la Campaña 1998

Durante la Campaña de 1998 (Septiembre a Noviembre), la actividad convectiva ha sido bastante escasa sobre la Península Ibérica. De los 21 SCM detectados durante este periodo, tan solo 7 han afectado a la Península o Baleares (ver fig.1). El mayor número de SCM se ha localizado en el Norte de Africa (dentro de la ventana de trabajo). En la Tabla I se han resumido algunas de las características de los SCM detectados.

Fecha	Código	Hora Inicio	Hora Fin	Duración (horas)	Zona Afectada	Area Máxima (km ²)	Iv. Máximo (km ²)	Temp. Mínima (°C)
2/Sept.	24516301	16:30	21:30	4:30	Pirineos	59.664	39.447	-64
4-5/Sept.	24720001	20:00	04:30	8:30	S. Francia	173.967	101.175	-70
7/Sept.	25009301	10:00	20:00	10	S. Francia	68.604	45.206	-68
10/Sept.	25316001	17:00	22:30	5:30	N. Africa	17.093	12.509	-67
11/Sept.	25420301	21:00	> 23:00	> 2	Córcega	45.885	31.879	-65
19/Sept.	26218001	19:00	> 23:00	> 4	N. Africa	36.383	20.149	-64
21/Sept.	26410301	11:30	19:30	8	N. Africa	36.888	26.389	-66
20-21/Sept.	26320001	21:00	> 23:00	> 2:30	N. Africa	21.272	9.437	-64
21/Sept.	26415301	16:00	>23:00	> 7	N. Africa	17.876	11.834	-66
23/Sept.	26614001	15:00	23:00	8	N. Africa	32.954	18.441	-64
23/Sept	26619002	19:30	> 22:30	> 3:30	N. Africa	23.325	21.046	-65
23/Sept	26614301	15:00	02:00	> 11	N. Africa	176.982	228.342	-73
24/Sept.	26702301	03:30	10:00	6:30	N. Africa	32.420	16.297	-65
24/Sept.	26705301	07:00	14:30	7:30	E. Baleares	32.653	30.055	-68
24/Sept.	26714001	14:30	19:30	5	Portugal	20.107	11.507	-63
24/Sept.	26718301	19:00	23:00	4	N. Africa	25.531	27.155	-69
24-25/Sept.	26721002	22:30	07:30	9	Península I.	30.970	28.326	-65
25/Sept.	26805001	05:00	> 09:30	> 5	G. Vizcaya	28.278	26.464	-65
25/Sept.	26804301	05:00	10:00	5	Cataluña	24.895	12.973	-63
19/Oct.	29200301	02:30	05:00	2:30	NW Med.	24.898	12.671	-66
18/Nov.	32202301	02:30	12:00	9:30	Baleares	41.548	43.764	-67

Tabla I.- Resumen de las características de los SCM durante la Campaña 1998

Los valores medios de tamaño, duración etc. coinciden plenamente con los obtenidos en la climatología previa, así, el valor medio del área máxima de -52°C ha sido de 46.294 km^2 , el del índice de volumen máximo de 36.908 km^2 y la duración media de aproximadamente 6 horas y media. La temperatura mínima oscila entre los -63°C y -73°C , con un valor medio de -66°C .

Dos SCM destacan por su tamaño, el 26624301 (23/Sept.) con un área máxima de 176.982 km^2 y una duración superior a 11 horas y que afectó al norte de Africa, y el 24720001 (4-5/Sept.) que afectó al sur de Francia con un área máxima de 173.967 km^2 y una duración de 8 horas y media.

También estos dos sistemas alcanzaron las temperaturas mínimas de -73°C y -70°C respectivamente.

Por lo que respecta a la hora de inicio, los SCM se forman a prácticamente cualquier hora del día aunque se observa un mayor número durante la tarde y noche, así entre las 00 y 06z se forman 5 SCM, 3 entre las 06 y 12z, 6 entre las 12 y 18z y 7 entre las 18 y 24z.

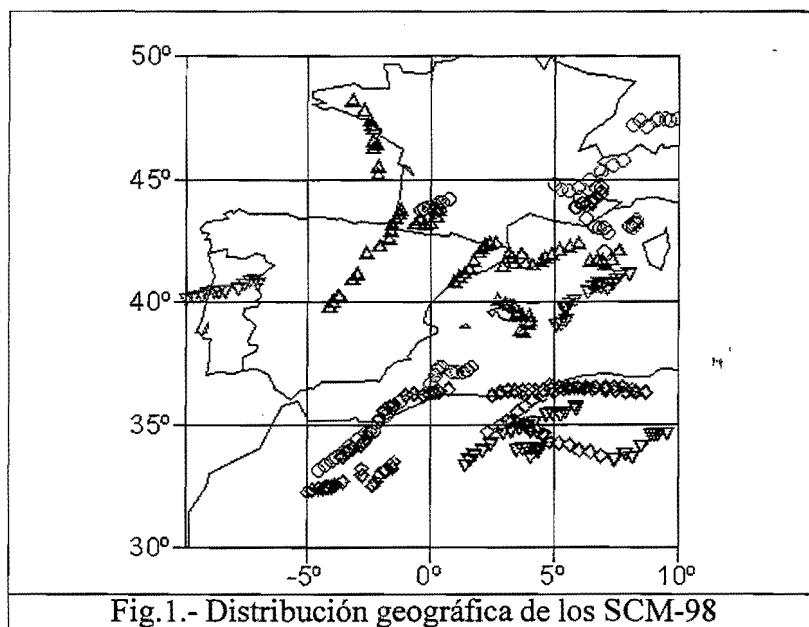


Fig.1.- Distribución geográfica de los SCM-98

La velocidad media de los SCM (desechando previamente los casos de fusión y separación) ha sido de 56 km/h (con valores comprendidos entre 35 y 92 km/h). No se observa diferencias entre las velocidades medias según las diferentes fases del SCM salvo para los casos de reactivación (valor medio 70 km/h) en que a veces velocidades muy altas (>100 km/h) que son claramente falsas. En cuanto a la dirección del movimiento, el 85% de los SCM se mueve en dirección NE (60% hacia el ENE y 25% hacia el NNE) y un 11% hacia el ESE.

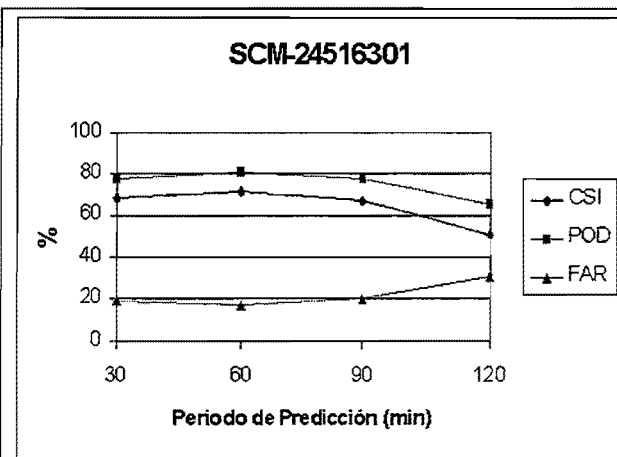
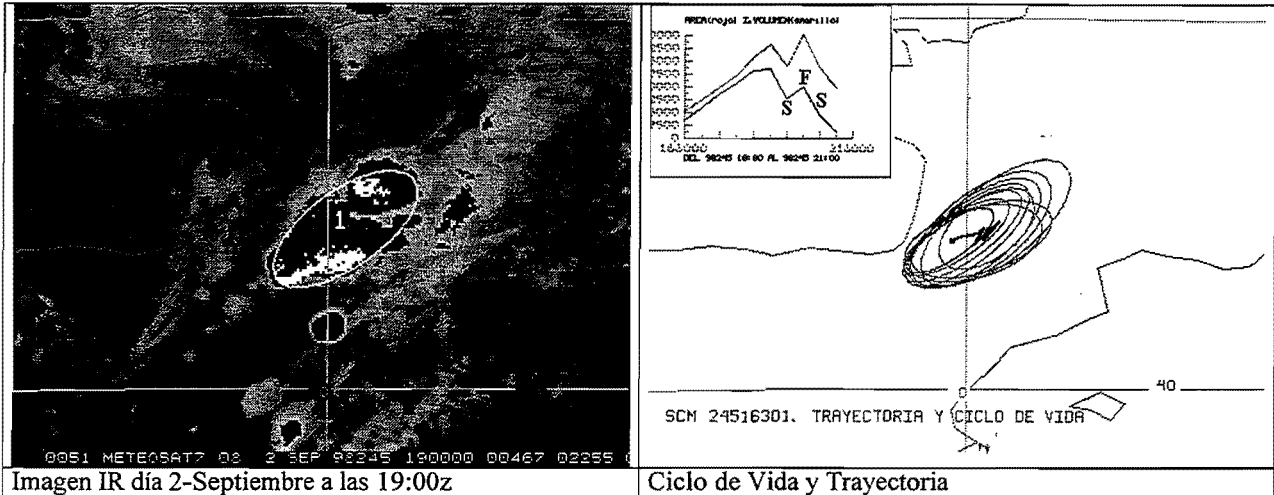
Durante esta campaña no se han registrado SCM cuasiestacionarios, de todas las velocidades medidas (264 casos) solo se ha encontrado 6 casos con velocidades inferiores a 15 km/h.

En cuanto a la excentricidad media de los SCM se obtiene un valor de 0.58 sin apenas variaciones según la fase del sistema. La orientación preferida de los SCM ha resultado ser del SW al NE (30% casos) con un 87% de casos en los que la orientación está comprendida entre 0 y 90° .

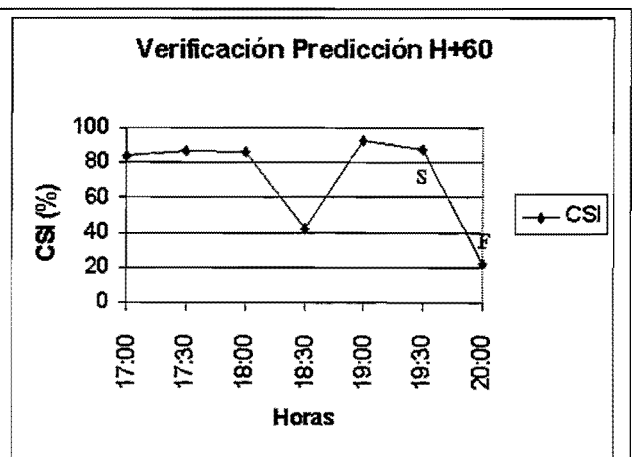
En este anexo se presenta un breve resumen de cada uno de los SCM de la Tabla I. Para cada SCM se presenta una imagen IR del Meteosat, su ciclo de vida y trayectoria y los resultados de la verificación objetiva del procedimiento de extrapolación (valores medios del CSI, POD y FAR para diferentes periodos de predicción y evolución del CSI para predicciones a una hora).

CODIGO : 24516301 FECHA : 2/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
16:30	21:30	4:30	Pirineos	59.664 km ²	39.447 km ²	-64 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El día 2 de septiembre el procedimiento automático detectó un SCM (codigo 24516301) durante 4 horas y media. Se mantuvo durante todo el periodo en los alrededores de los Pirineos, desplazándose ligeramente hacia el NE. La velocidad media fue pequeña, no superando los 30 km/h. Lo mas característico de este sistema fueron los dos "splits" (divisiones), a las 19:30 y 20:30 Z respectivamente, y la fusión, a las 20:00 Z, y que el procedimiento diagnosticó de forma correcta. En el caso de las divisiones se dió continuidad al SCM con el sistema nuboso más cercano y de mayor área. Obsérvese como en el ciclo de vida los dos máximos del Iv no están adelantados en el tiempo a los dos máximos del A(-52°C), como cabría esperar si aplicamos el modelo conceptual de ciclo de vida. Esto es debido a los efectos de las divisiones.

Los resultados de la verificación de las predicciones fueron bastante buenos, manteniéndose en torno al 80% hasta H+90. Sin embargo hay que señalar que los valores fueron peores en los periodos que correspondieron a la fusión y a las dos divisiones. Por ejemplo el CSI para H+60 tiene todos los valores superiores al 80%, salvo a las 18:30 Z (1 hora mas tarde se produjo la primera división) y a las 20:00 Z (media hora mas tarde se produjo la segunda división). Recuerdese que este procedimiento automático no predice ni fusiones ni divisiones, por lo que eran de esperar estos malos resultados puntuales.

CODIGO : 24720001-24801001 FECHA : 4-5/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
20:00	04:30	8:30 h	Sur Francia	173.967 km ²	101.175 km ²	-70 °C

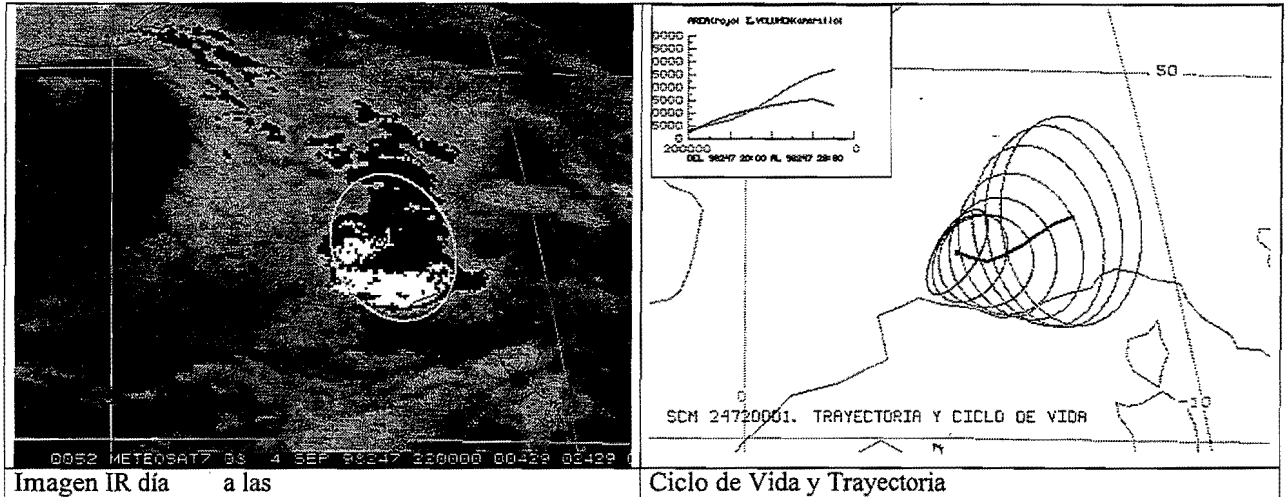
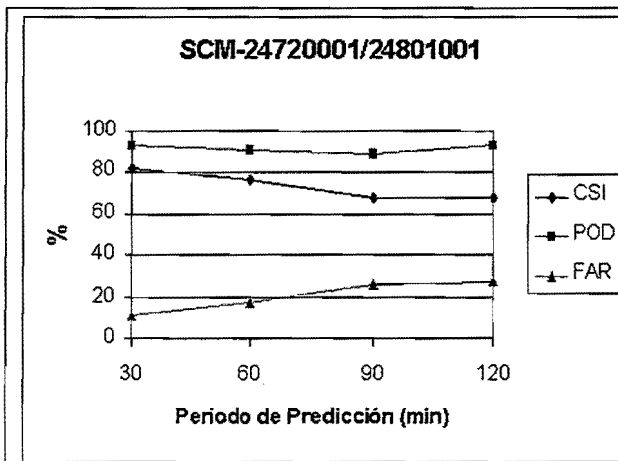
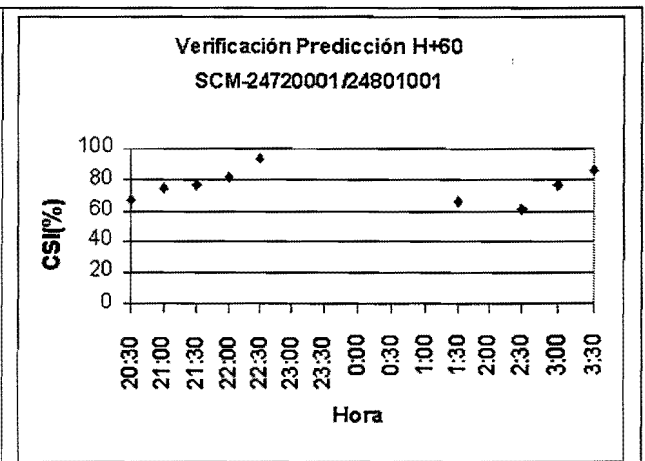


Imagen IR día a las

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Este SCM se surgió por delante de un frente que atravesó Francia los días 4 y 5 de septiembre. El desarrollo convectivo fué muy intenso al principio (ver como el Iv es mayor que el Area (-52°C)) en el sur de Francia, donde siempre se localizó la parte más activa del sistema. Después del eclipse (entre 23:30 y 1:30 Z) se asoció el sistema 24720001 al 24801001. Aunque quizás la forma más correcta habría sido asociarlo al núcleo más activo del sur, se ha considerado este sistema como nuevo y se continuado con la nubosidad mas al norte, en disipación, ya que pensamos que el procedimiento lo habría hecho de esta forma (seguiría a la superficie mas extensa).

CODIGO : 25009301 FECHA : 7-Septiembre 1988

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
10:00	20:00	10 h	Sur Francia	68.604 km ²	45.206 km ²	-68°C

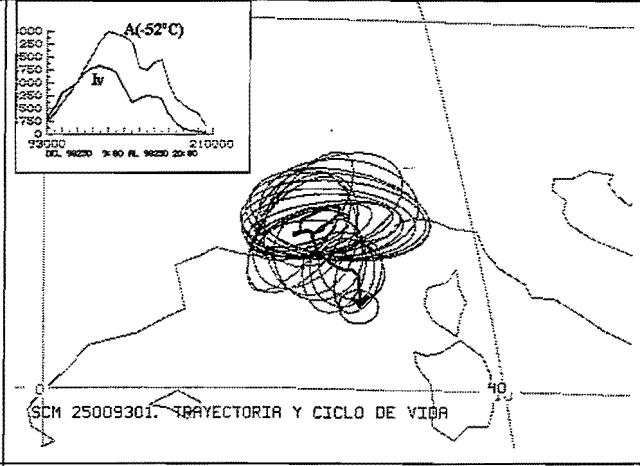
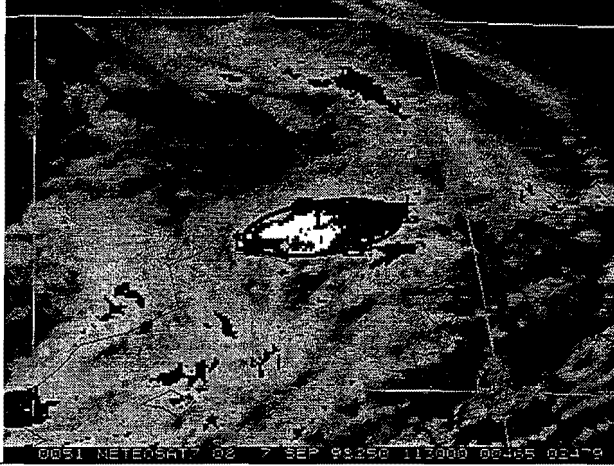
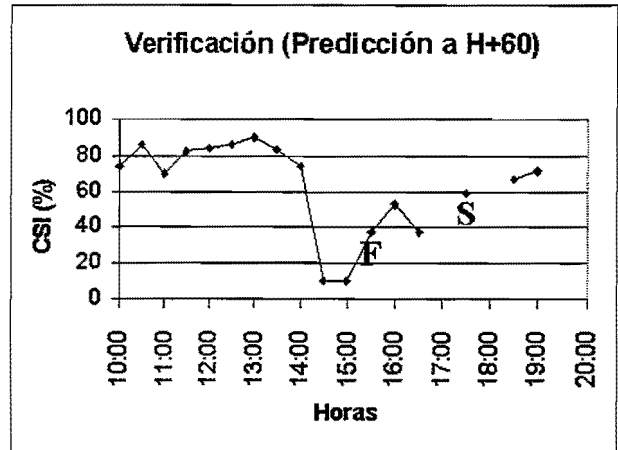
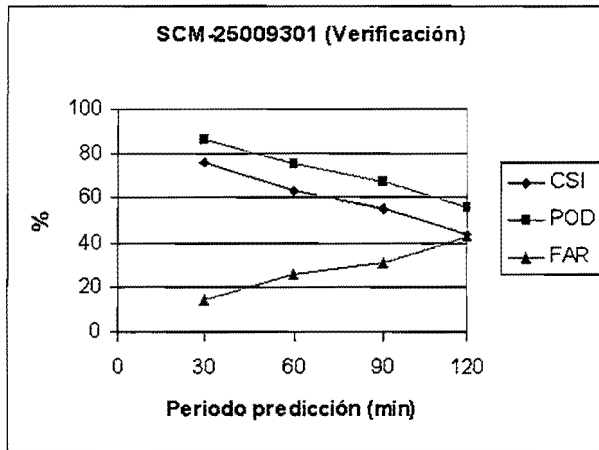


Imagen IR día 7/Sept a las 11:30z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación

Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El SCM 25009301 surgió al sur de Francia como un núcleo muy activo, superando rápidamente los 10.000 Km² (10:00 Z). Se mantuvo durante todo el período afectando prácticamente a la misma zona geográfica, salvo al final que comenzó a desplazarse hacia el SE adentrándose en el mar Mediterráneo. El centro más activo estuvo situado siempre al SW del sistema, decayendo y reactivándose en la misma zona a las 15:30 Z. Los máximos del Iv aparecen adelantados con respecto a los máximos del área (-52°C) de acuerdo con el modelo conceptual de ciclo de vida (ver Nota Técnica STAP n° 29), separándose claramente las fases de crecimiento, madurez, reactivación y disipación, que el procedimiento automático recogió correctamente al hacer la diagnosis y predicción en cada momento. Las verificaciones con los parámetros CSI, POD y FAR tienen valores aceptables en valor medio, si bien hay que matizar que existieron dos momentos críticos en el ciclo de vida del sistema. Estos dos instantes originaron que los valores de la verificación descendieran de forma apreciable (como ejemplo se muestra la gráfica del CSI a H+60):

- 1.- Reactivación a las 15:30 Z. La predicción para este caso efectuada a las 14:30 desciende a un valor de 10%, cuando en horas anteriores se mantiene en torno al 80%. Esto es debido a que la reactivación del SCM fue debida a la fusión (F en la figura) de un pequeño núcleo por el SW y el procedimiento no predice fusiones.
- 2.- Separación a las 17:30 Z del SCM en dos núcleos. A partir de las 15:30 comienza una recuperación en los valores del CSI, volviendo a descender a las 16:30 Z, debido a que el procedimiento no predice "splits" (S en la figura).

CODIGO : 25316001 FECHA : 10/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
17:00	22:30	5:30	Norte de Africa	17.093 km ²	12.509 km ²	-67 °C

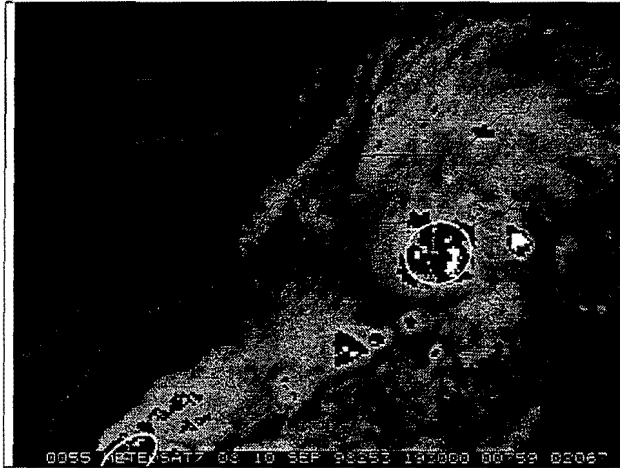
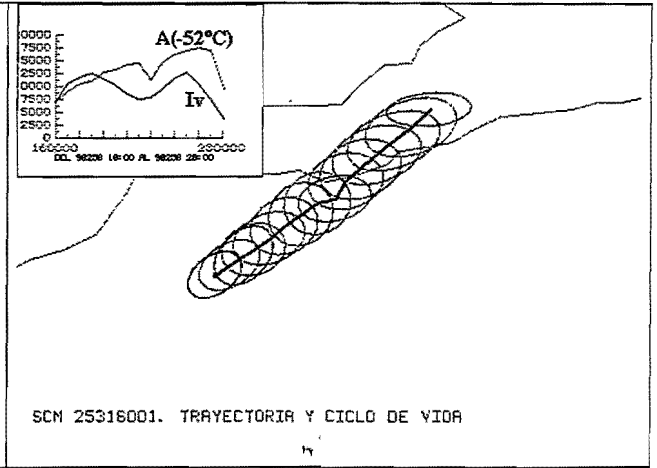
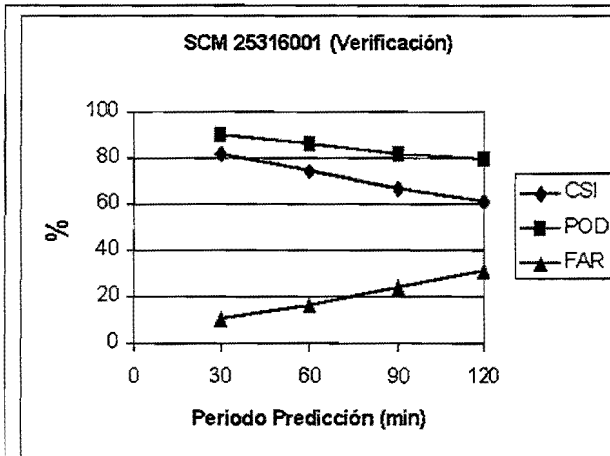


Imagen IR día 10/Sept. a las 19:30z

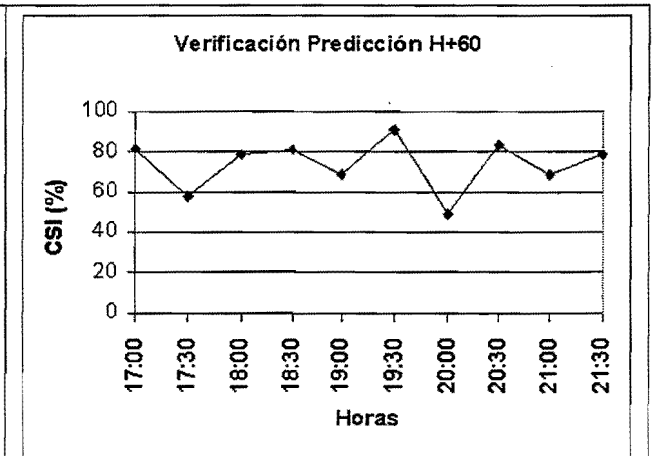


SCM 25316001. TRAYECTORIA Y CICLO DE VIDA

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El SCM 25316001 surgió al norte de Africa acompañando a nubosidad de origen subtropical, con un desplazamiento rápido hacia el NE. Su trayectoria fue en todo momento muy uniforme y lineal. La reactivación (20:00Z) y posterior crecimiento fue correctamente reflejada por el procedimiento y se produjo cuando el sistema se acercó a la costa y se adentró en el mar Mediterráneo. Observar en la gráfica del ciclo de vida como los máximos en el Iv están adelantados en el tiempo al A(-52°C) de acuerdo al modelo conceptual. Hay que señalar que este sistema no alcanzó tamaños demasiado grandes, el valor máximo alcanzado por el A(-52°C) fue de 17.000 km².

Los resultados de la verificación son buenos, manteniéndose el CSI por encima del 60% a 2 horas. La gráfica de este parámetro a una hora muestra peores valores (50%) justo en el momento de la reactivación del sistema (20:00 Z). Este sistema produjo precipitaciones débiles en Melilla.

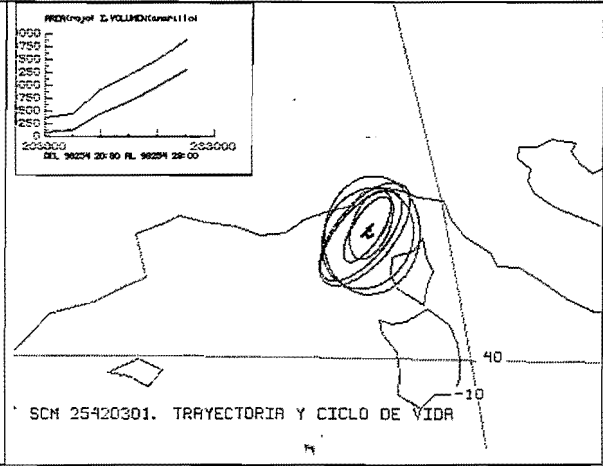
A lo largo de este día se produjeron otros dos sistemas nubosos, sin embargo no se incluyen en el estudio ya que apenas alcanzaron los 10.000 km² durante un corto periodo de tiempo.

CODIGO : 25420301 FECHA : 11/Septiembre/1998

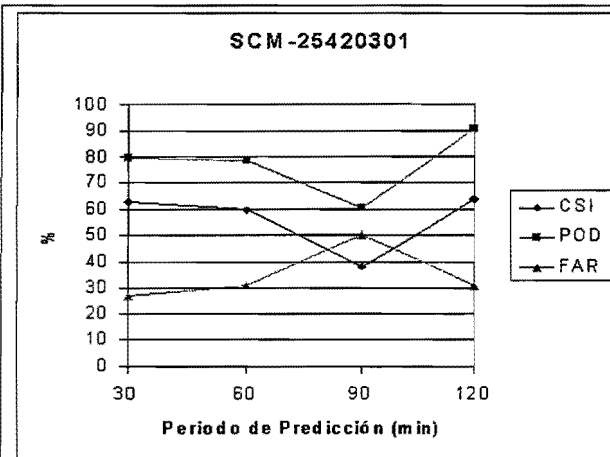
Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
21:00	> 23:00	> 2h	NW Córcega	45.885 km ²	31.879 km ²	-65 °C



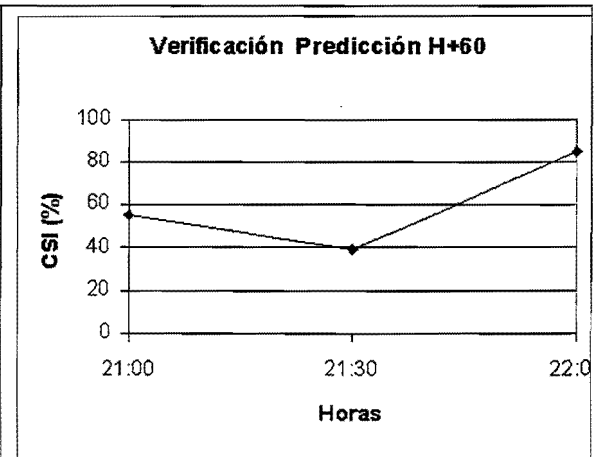
Imagen IR día 11/Sept. a las 23:00z



Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El SCM 25420301 comenzó a ser analizado por el procedimiento automático a las 20:30 Z, creciendo rápidamente en extensión horizontal y vertical (ver gráfica de ciclo de vida). A partir de las 23:00 Z no se pudo continuar el estudio por falta de imágenes, aunque por la evolución que presentan el A(-52°C) y el Iv todo parece indicar que el sistema permaneció algunas horas más (al final del periodo de estudio el SCM aún se encuentra en la fase de desarrollo: A(-52°C) e Iv crecen con el tiempo). Si se observan las figuras de los rayos recogidos por la red del INM, la actividad continuó en la zona al menos durante 5 horas más allá de las 23:00 Z, aunque la posible localización de SCM ya se acerca a los límites de la ventana de estudio del procedimiento automático. El desplazamiento del SCM fue lento y aleatorio, no hay una tendencia clara en el movimiento. El cambio en la posición del centro de las elipses parece estar motivado por el cambio de tamaño y forma del SCM mas que por un desplazamiento real del sistema. Los resultados en la verificación de las predicciones no fueron demasiado buenos (en torno al 50%) en el CSI, aunque se aprecia una recuperación al final del periodo (CSI a H+60 supera el 80%). Estos resultados corresponden únicamente a las 2 horas estudiadas.

CODIGO : 26218001 **FECHA :** 19/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
19:00	> 23:00	> 4 h	N. Africa	36.383 km ²	20.149 km ²	-64 °C

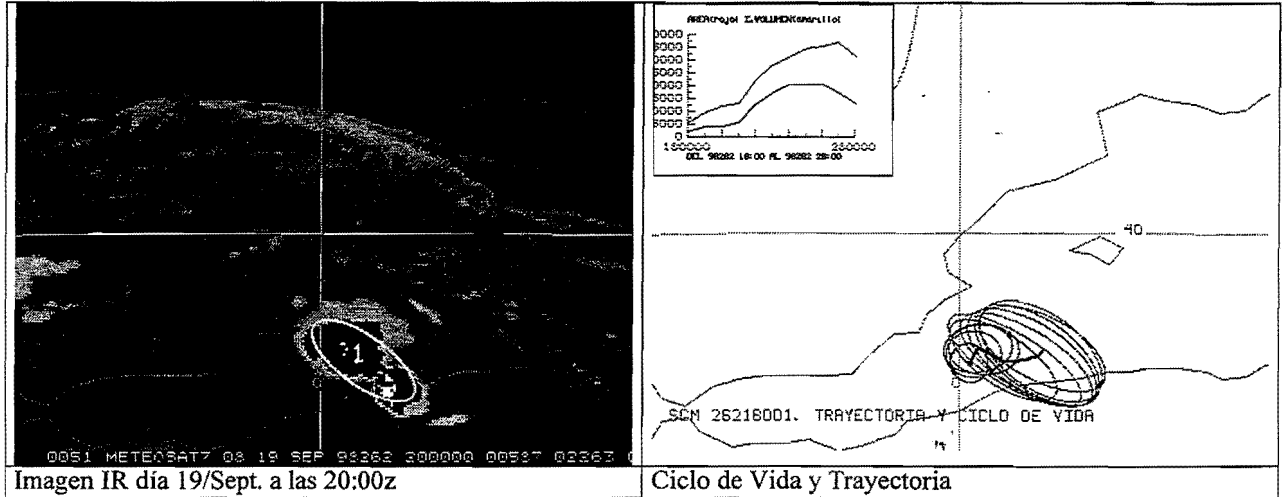
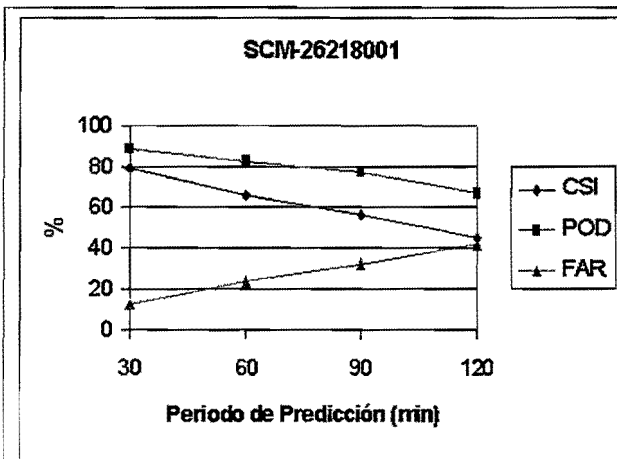
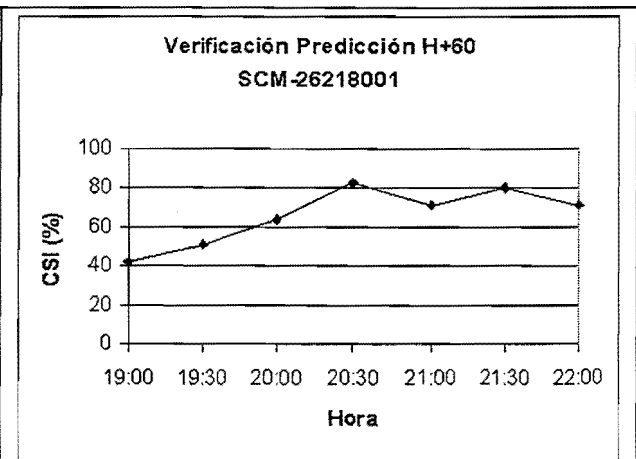


Imagen IR día 19/Sept. a las 20:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



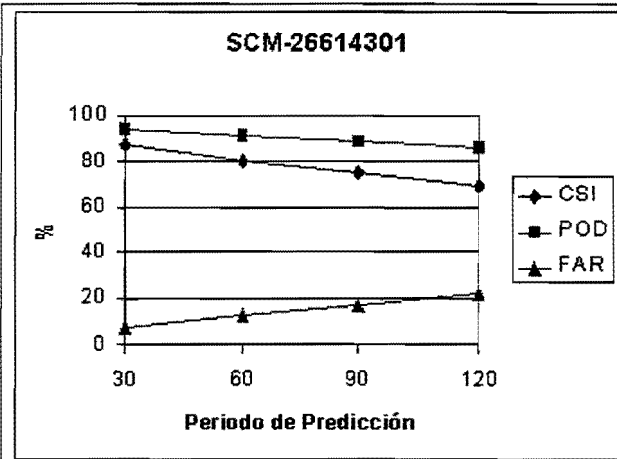
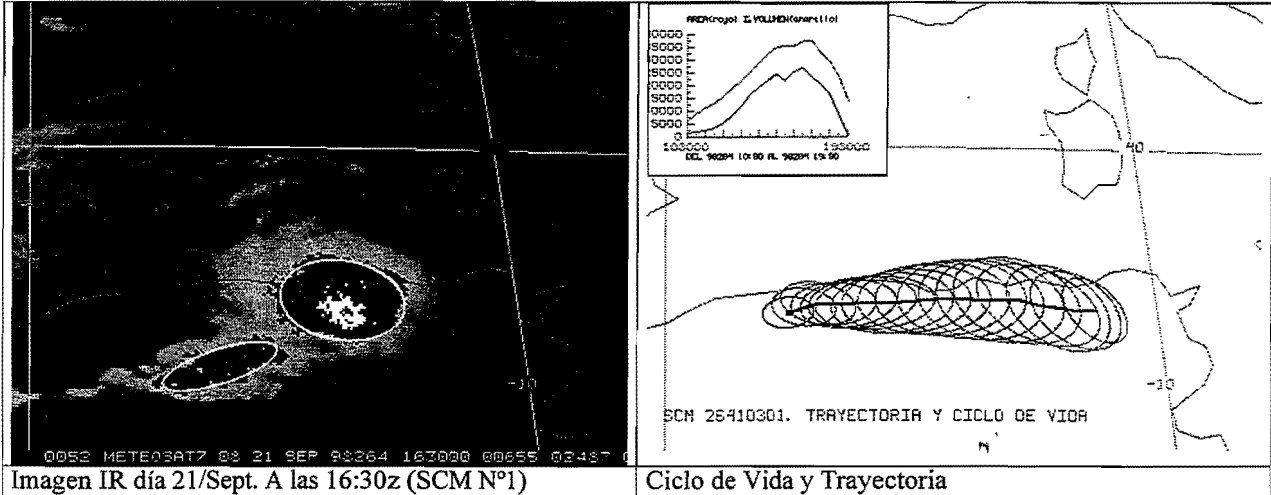
Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

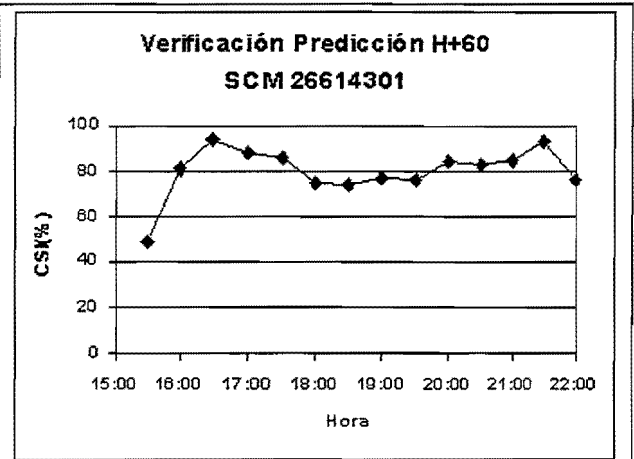
No se ha podido seguir el ciclo de vida completo ya que faltan imágenes debido al eclipse. A las 20:00 Z el SCM se fusiona con otro sistema convectivo más pequeño, es por ello por lo que las verificaciones son peores al principio del ciclo de vida (ver CSI H+60).

CODIGO : 26410301 **FECHA :** 21/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
11:30	19:30	8 h	N. Africa	36.881 km ²	26.389 km ²	-66 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Este caso sería el ejemplo ideal de ciclo de vida de un SCM. Evoluciona de forma aislada, sin interactuar con otros núcleos convectivos, no está embebido en una estructura nubosa mayor, tampoco sufre separaciones importantes de masa nubosa y, por último, su movimiento es uniforme y rectilíneo. Todo ello se traduce en valores en las verificaciones de las predicciones bastante buenos.

Es significativo sin embargo la rapidez con la que el sistema se disipa, pasando de 13.301 km² a las 19:30 Z a valores inferiores a 5.000 km² en la media hora siguiente. Es por ello que la verificación tiene valores peores al final del ciclo de vida (ver por ejemplo verificaciones de CSI para H+60).

CODIGO : 26320001 FECHA : 20-21/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
21:00	> 23:00	> 2:30 h	Norte Africa	21.272 km ²	9.437 km ²	-64 °C

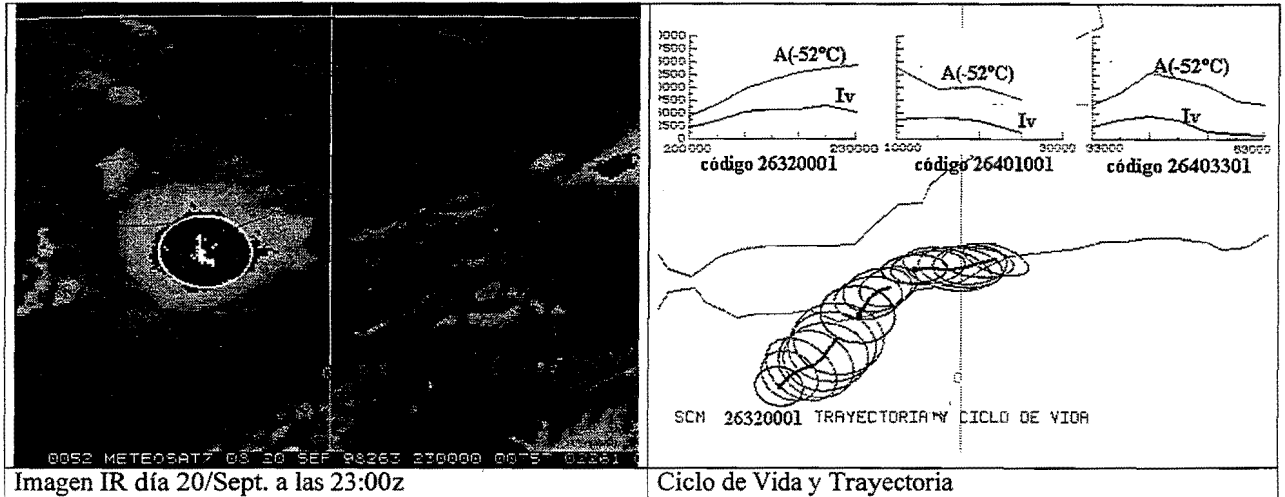
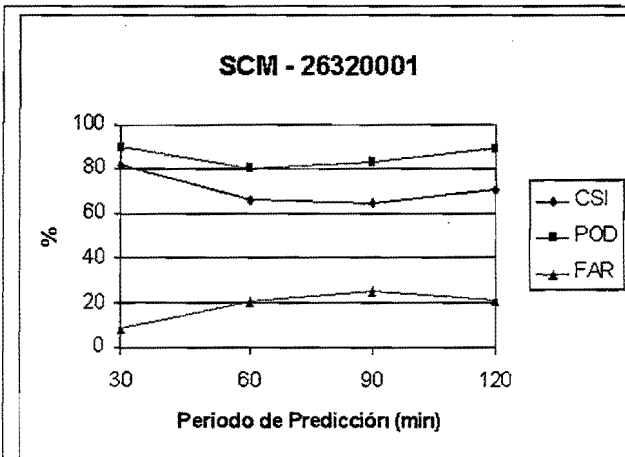
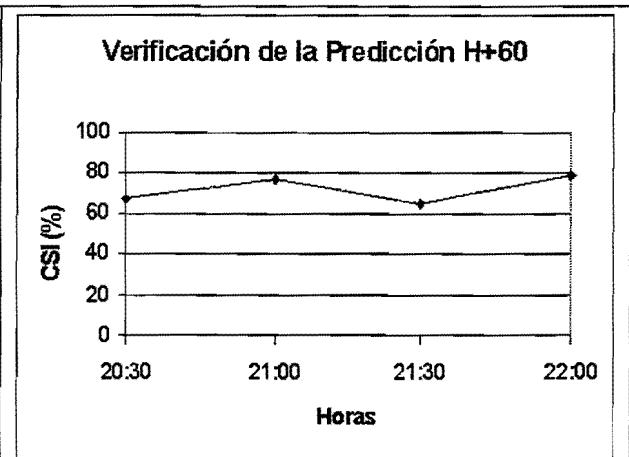


Imagen IR día 20/Sept. a las 23:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

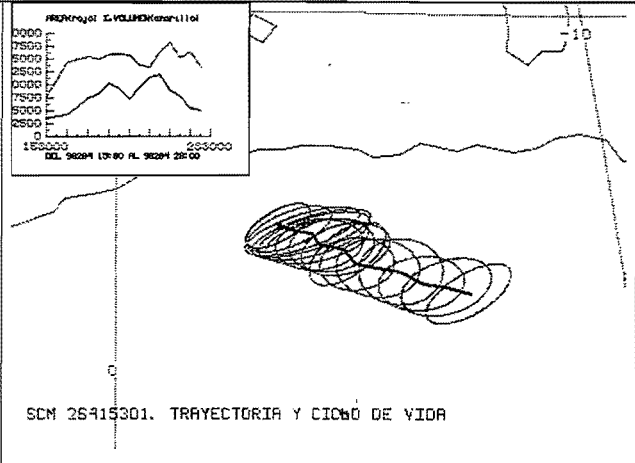
El SCM de código 26320001 surgió en el norte de Africa alrededor de las 20:00 Z del día 20 de septiembre de 1998. Alcanzó los 10.000 km² a las 21:00 y a las 23:00 Z cuando el procedimiento no pudo continuar su estudio (falta de imágenes debido al eclipse) aún continuaba por encima de este tamaño. Al día siguiente, a la 1:30 Z de la mañana, se pudo continuar el estudio del sistema, aunque el procedimiento le cambió el código asignándole el 26401001 (si falta mas de una imagen el procedimiento no da continuidad a los sistemas). A las 02:30 Z bajó de los 5.000 km² por lo que el procedimiento dejó de seguirlo, continuando a las 03:30 Z con un nuevo código 26403301. En estos dos últimos periodos (de 01:00 a 02:30 Z y de 03:30 a 06:30 Z) los tamaños fueron muy pequeños. Los resultados en las verificaciones de las predicciones fueron bastante buenos (CSI alrededor del 70-80%).

CODIGO : 26415301 **FECHA :** 21/Septiembre/1998

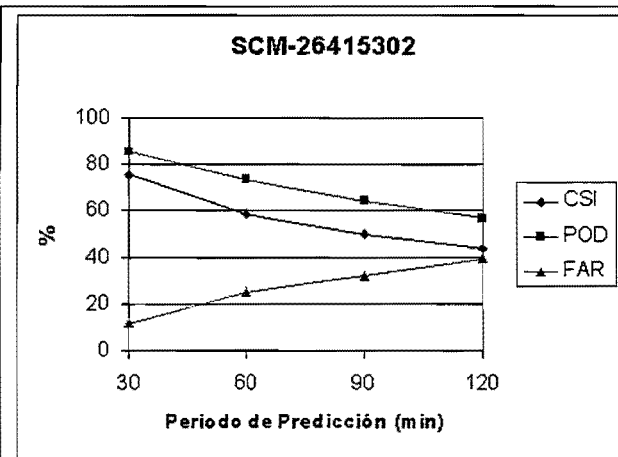
Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
16:00	>23:00	> 7h	N. Africa	17.876 km ²	11.834 km ²	-66 °C



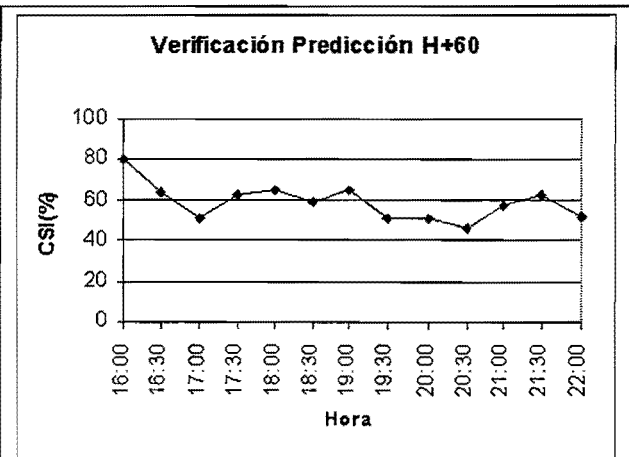
Imagen IR día 21/Sept. a las 21:30z



Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El sistema sufre varios cambios de fase a lo largo de su ciclo de vida, pasando por varias fases de madurez y reactivación. Es por ello por lo que las verificaciones en las predicciones no son demasiado buenas a partir del H+60. Por otro lado debido a la falta de imágenes (23:30, 00:00 y 00:30Z), no se puede dar continuidad al sistema desde las 23:00 Z, aunque la imagen de la 01:00 Z parece indicar que la disipación tuvo lugar a esta hora.

CODIGO : 26614001

FECHA : 23/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
15:00	23:00	8 h	Norte Africa	32.954 km ²	18.441 km ²	-64 °C

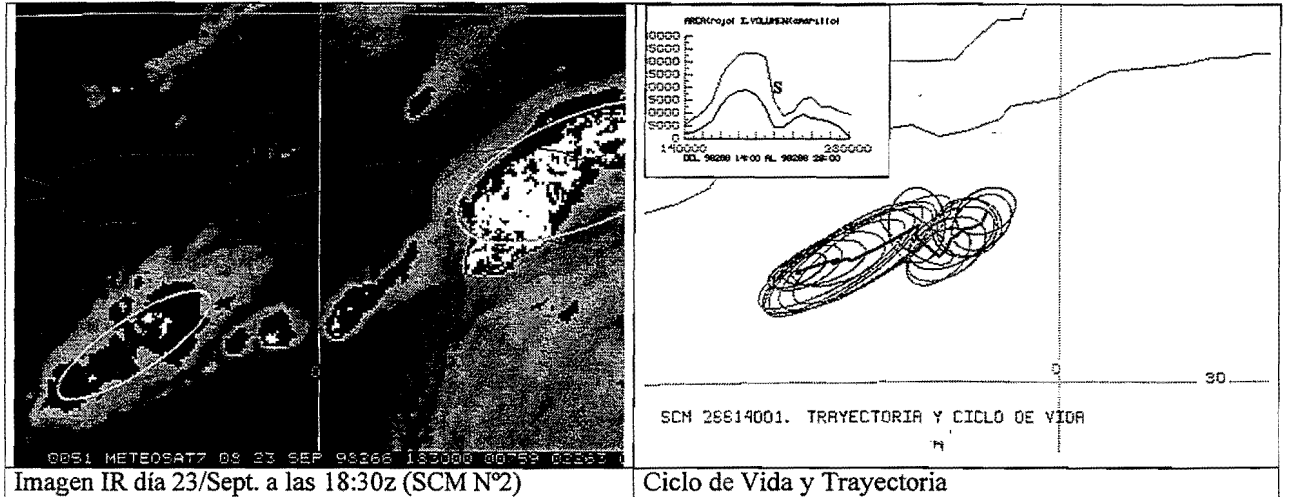
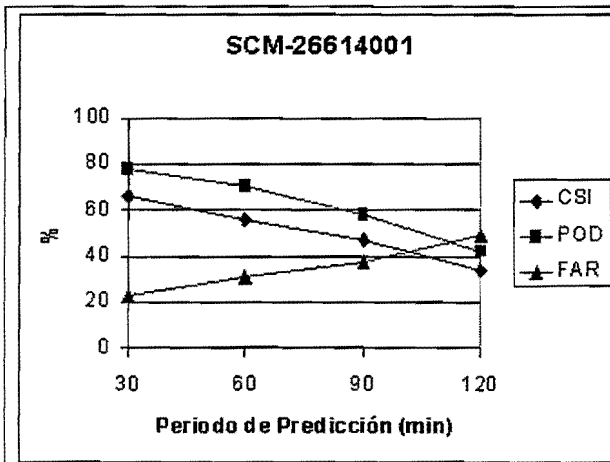
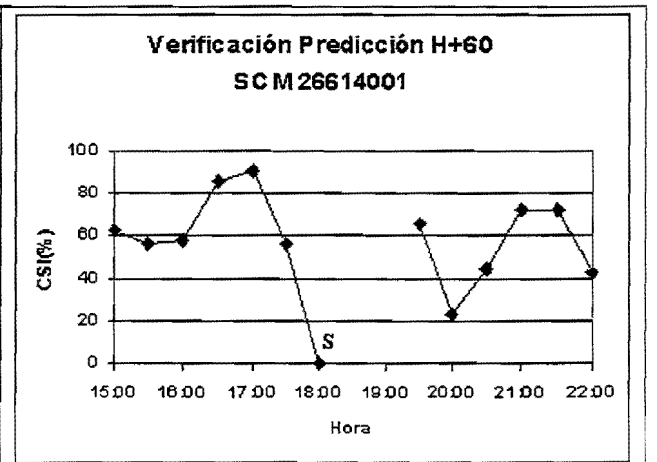


Imagen IR día 23/Sept. a las 18:30z (SCM N°2)

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



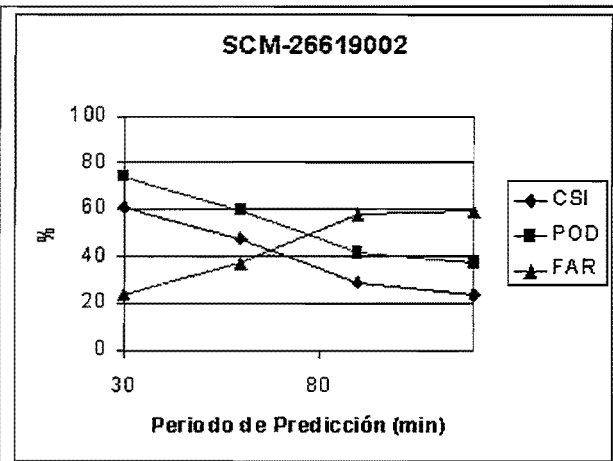
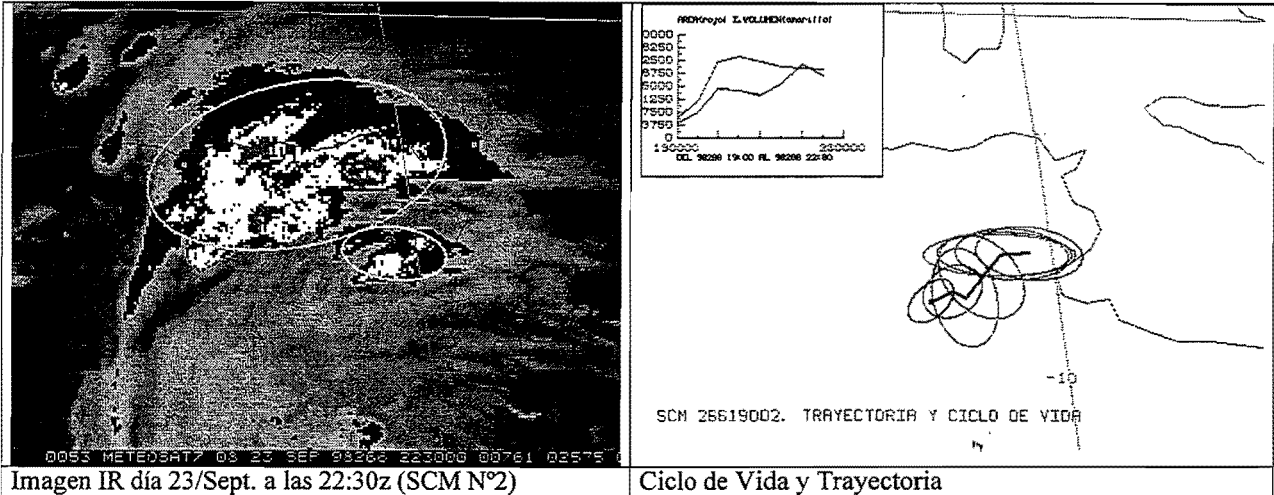
Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

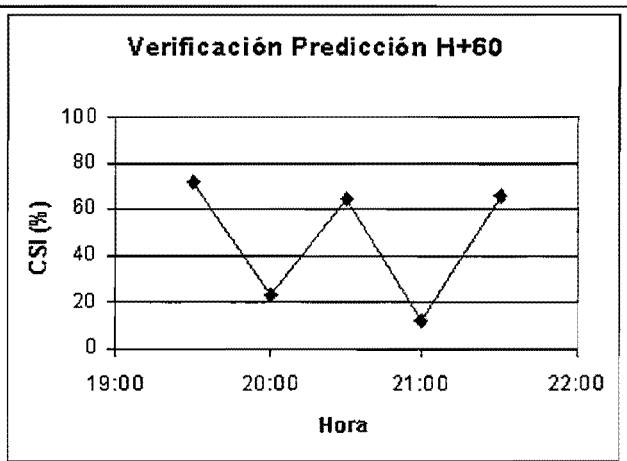
A las 19:00z el SCM se divide en varios sistemas más pequeños, lo que explica la caída de los índices de verificación.

CODIGO : 26619002 **FECHA :** 23/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
19:30	> 22:30	> 3:30 h	Norte Africa	23.325 km ²	21.046 km ²	-65 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Indices de verificación muy bajos, debido fundamentalmente a que su evolución está dominada por las interacciones con otros sistemas pequeños.

CODIGO : 26614301/26701001

FECHA : 23/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
15:00	02:00	> 11h	Norte Africa	176.982 km ²	228.342 km ²	-73 °C

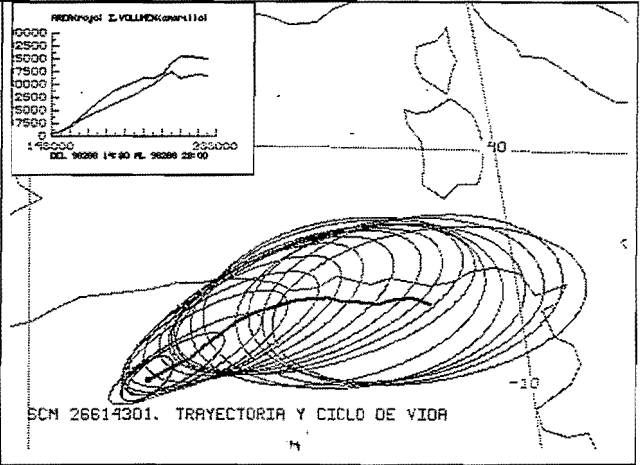
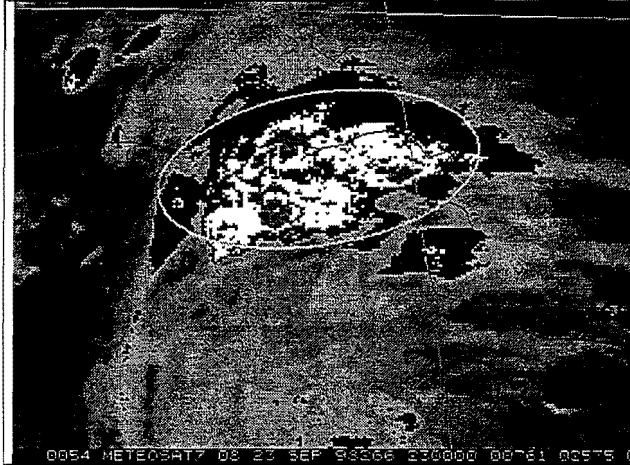
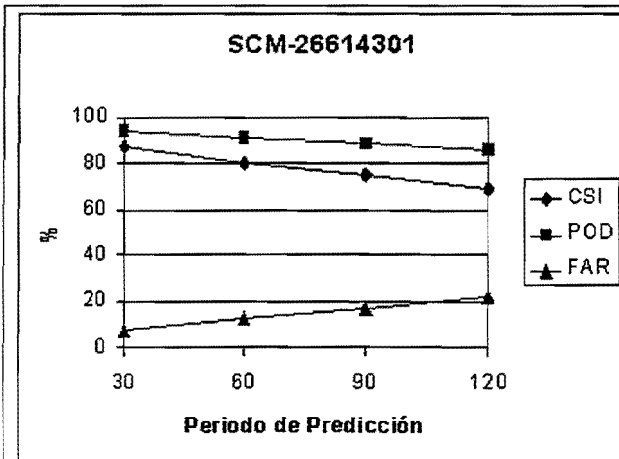
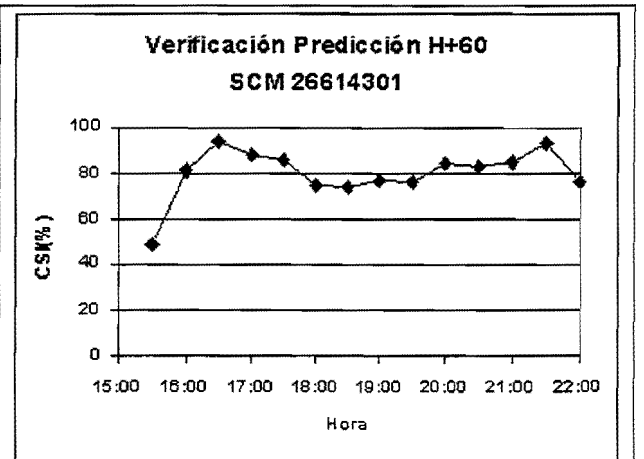


Imagen IR día 23/Sept. a las 23:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Se trata de un SCM de grandes dimensiones (Complejo Convectivo de Mesoescala). El ciclo de vida no está completo debido a que el SCM se desplazó fuera de la ventana de cálculo del procedimiento.

Los valores de la verificación son muy buenos.

CODIGO : 26702301 **FECHA :** 24/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
03:30	10:00	6:30 h	Norte Africa	32.420 km ²	16.297 km ²	-65 °C

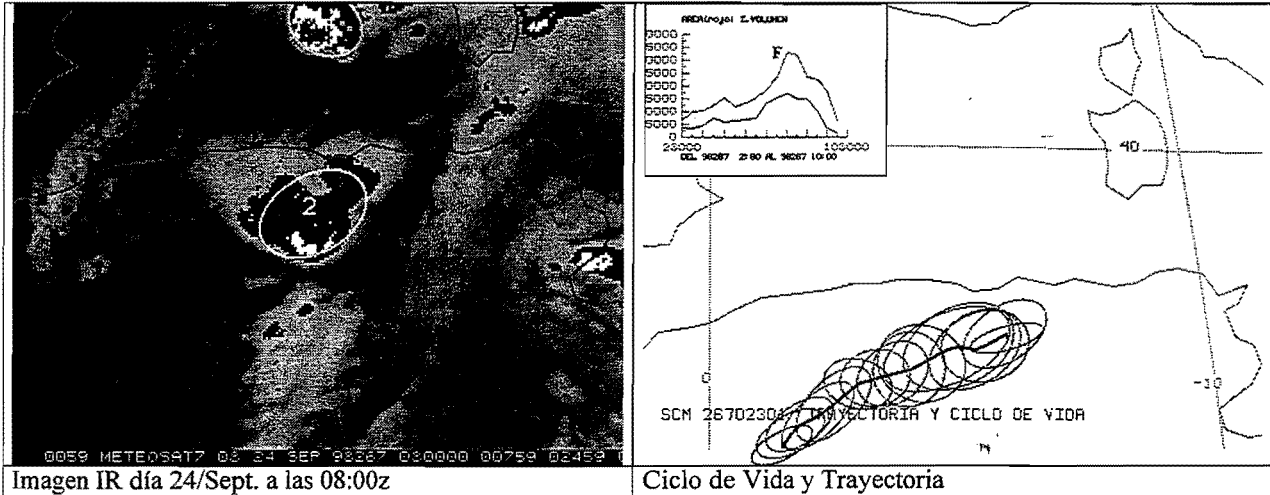
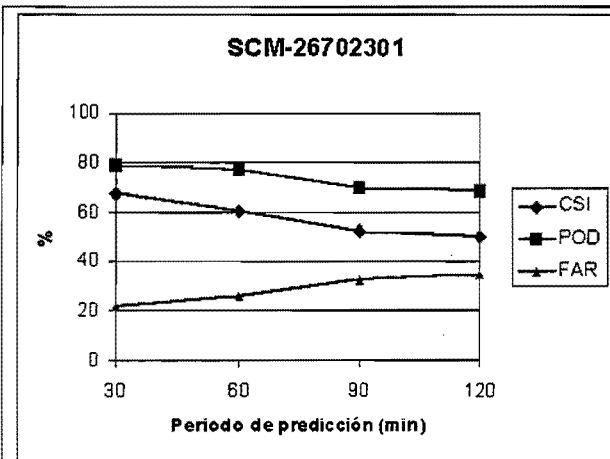
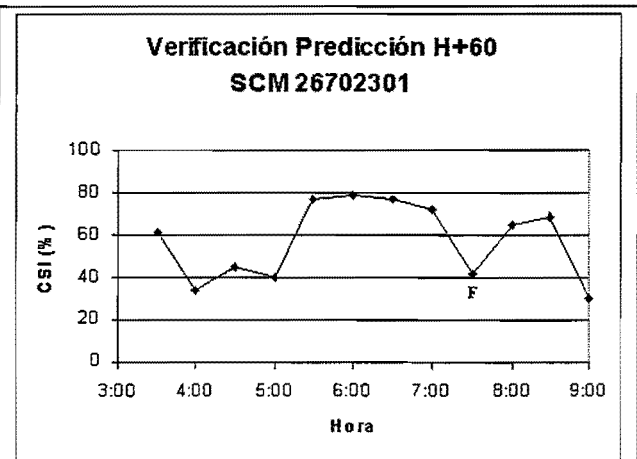


Imagen IR día 24/Sept. a las 08:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



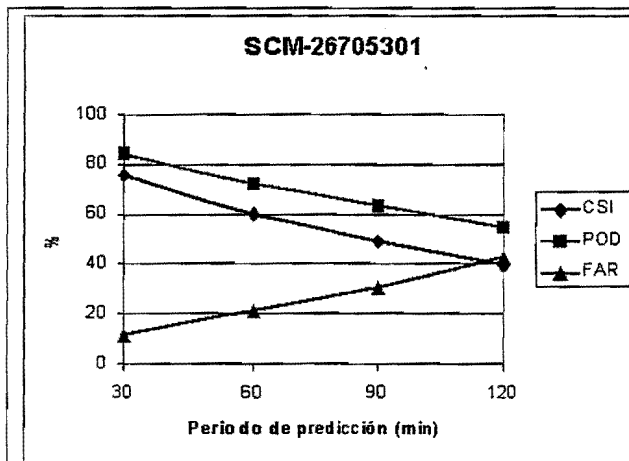
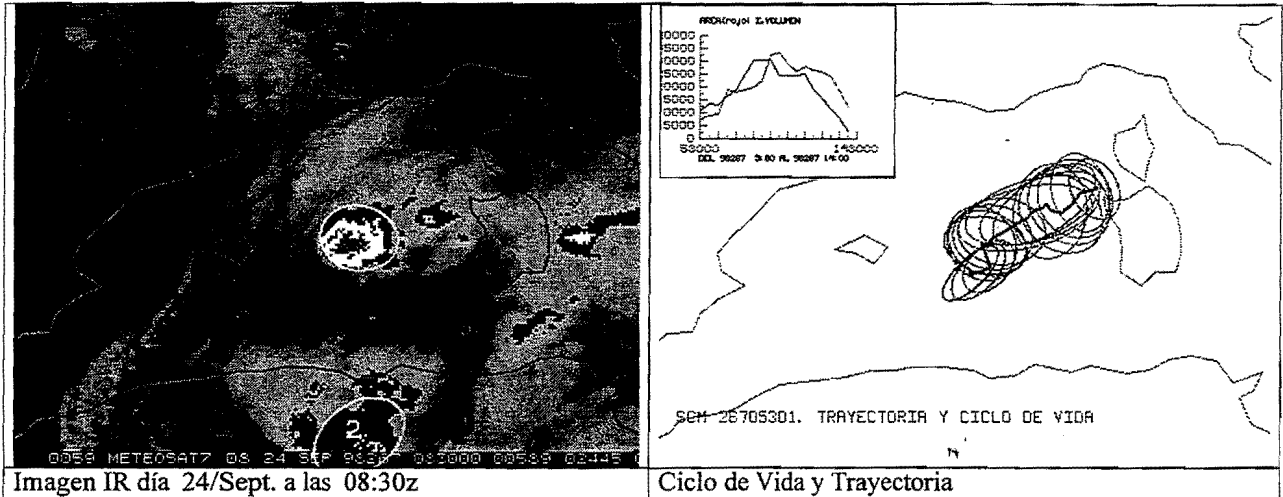
Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

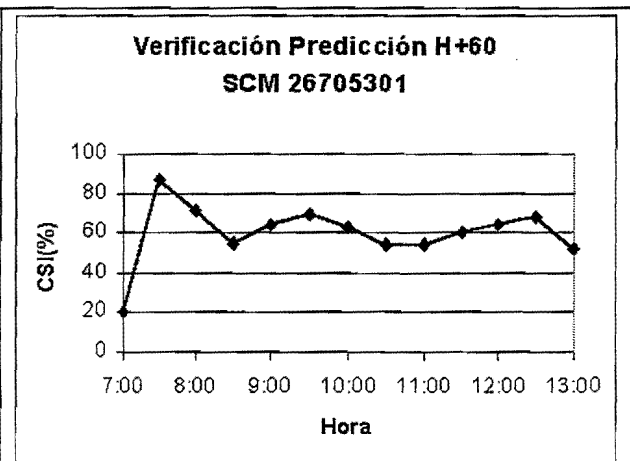
A las 07:30 sufre una fusión con el SCM 26705302

CODIGO : 26705301 FECHA : 24/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
07:00	14:30	7:30 h	Este Baleares	32.653 km ²	30.055 km ²	-68 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

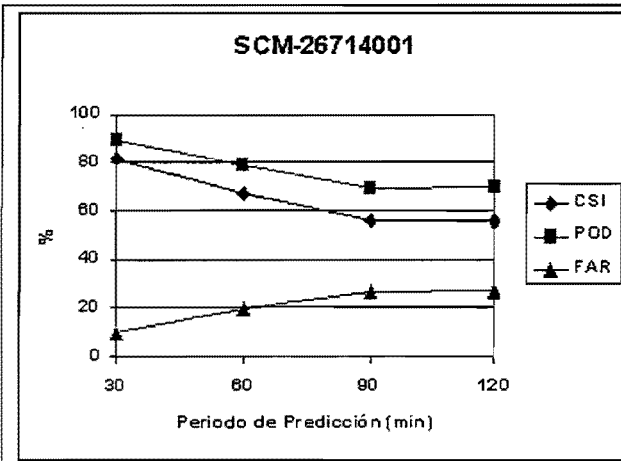
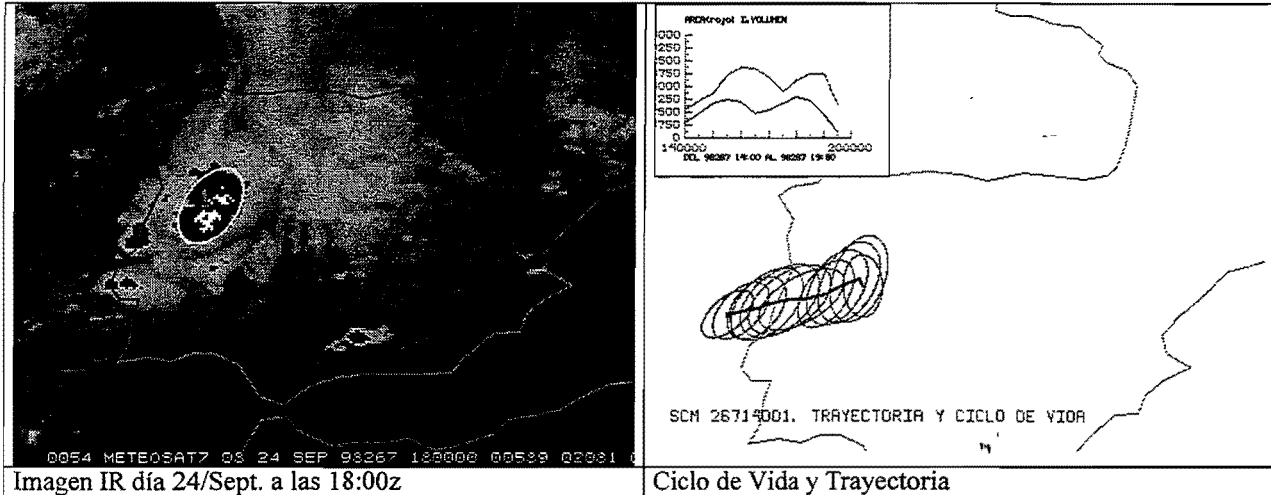
El SCM nace al este de las islas Baleares. A las 07:30z se fusiona con otro (26705001), fusión no adecuadamente diagnosticada por el procedimiento, dando lugar a una mala predicción (Ver Problemas identificados: Predicción errónea después de una fusión). Posteriormente, a las 09:30z se fusionará también con otro (26709001).

Se reproduce a continuación comentario remitido por el GPV de Baleares:

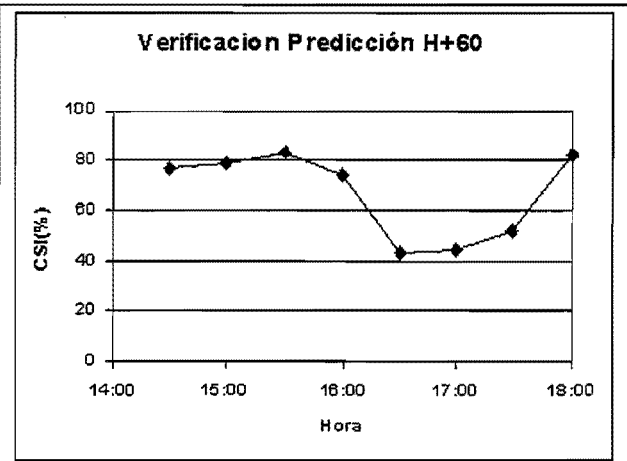
"A las 20:30z del día 23 de Septiembre de 1998 se había formado en el mar al sur de Baleares un pequeño sistema convectivo cuya área era menor de 5.000 km² aunque sus temperaturas eran inferiores a -52°C. A las 00z del día 24 comenzó a llover en Mahón. A las 05:30z el procedimiento detectó el sistema convectivo y hasta entonces habían caído sobre el pluviómetro unos 45 mm. La precipitación cayó entre las 00 y 08z, totalizando 61,3 mm. La escasa utilidad del procedimiento, de cara a la generación de avisos de muy corto plazo, es debido a que las dimensiones de este SC eran más pequeñas que las requeridas por lo cual ha resultado inservible para pronosticar el comienzo de las precipitaciones, sin embargo, ha sido útil para el de su finalización."

CODIGO : 26714001 FECHA : 24/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
14:30	19:30	5 h	Portugal	20.107 km ²	11.507 km ²	-63 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Se trata de convección embebida dentro de un sistema frontal. Aunque existen dudas de que se trate de un verdadero SCM, el procedimiento funcionó de manera aceptable, sobre todo por lo que se refiere al desplazamiento previsto.

CODIGO : 26718301 **FECHA :** 24/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
19:00	23:00	4 h	Norte Africa	25.531 km ²	27.155 km ²	-69 °C

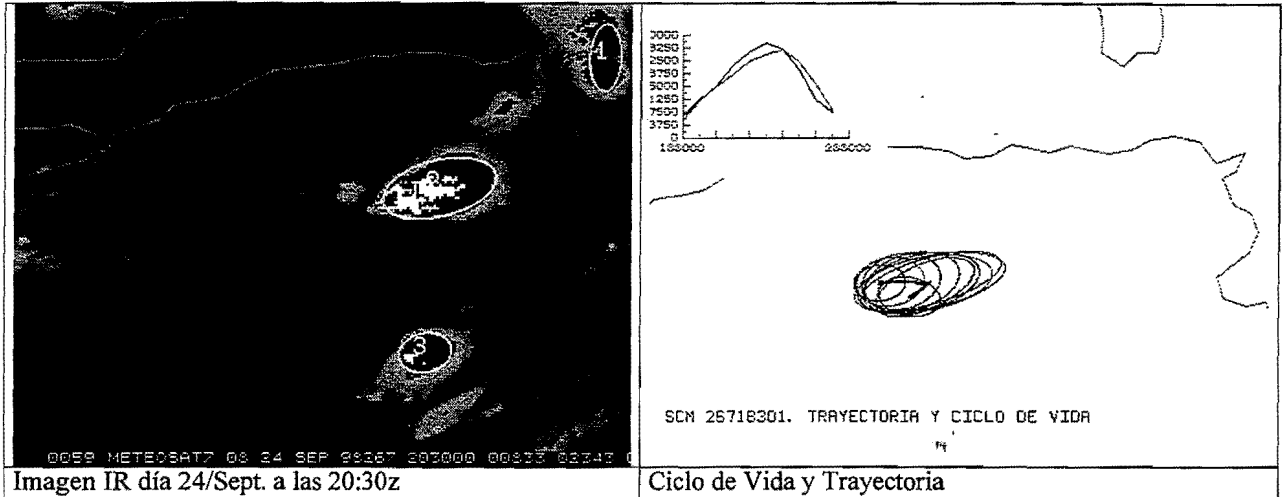
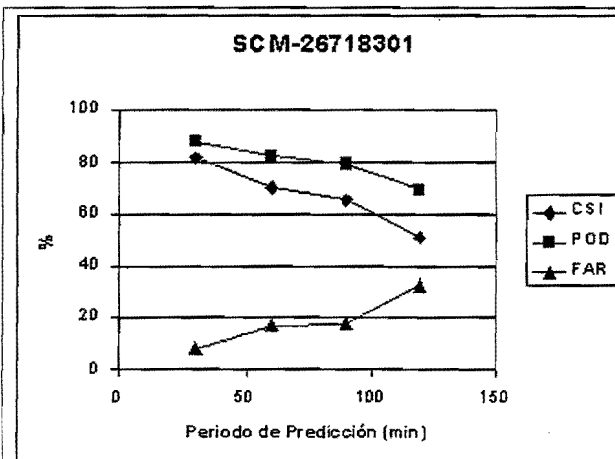
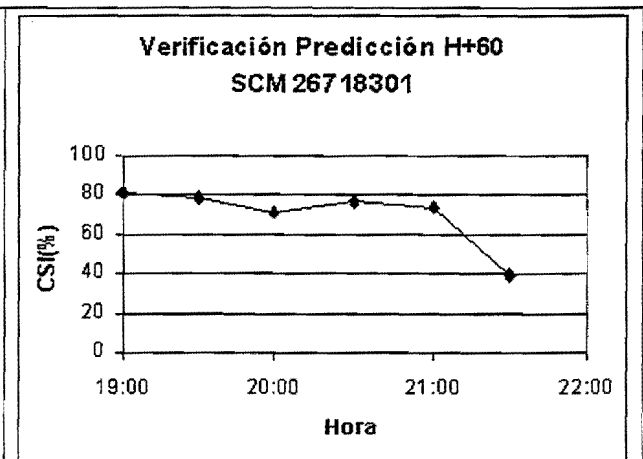


Imagen IR día 24/Sept. a las 20:30z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



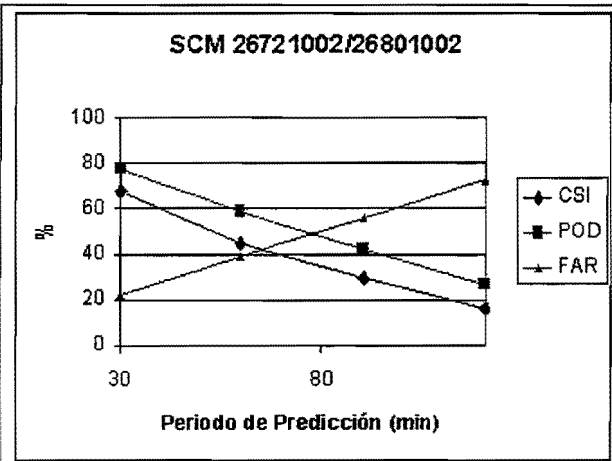
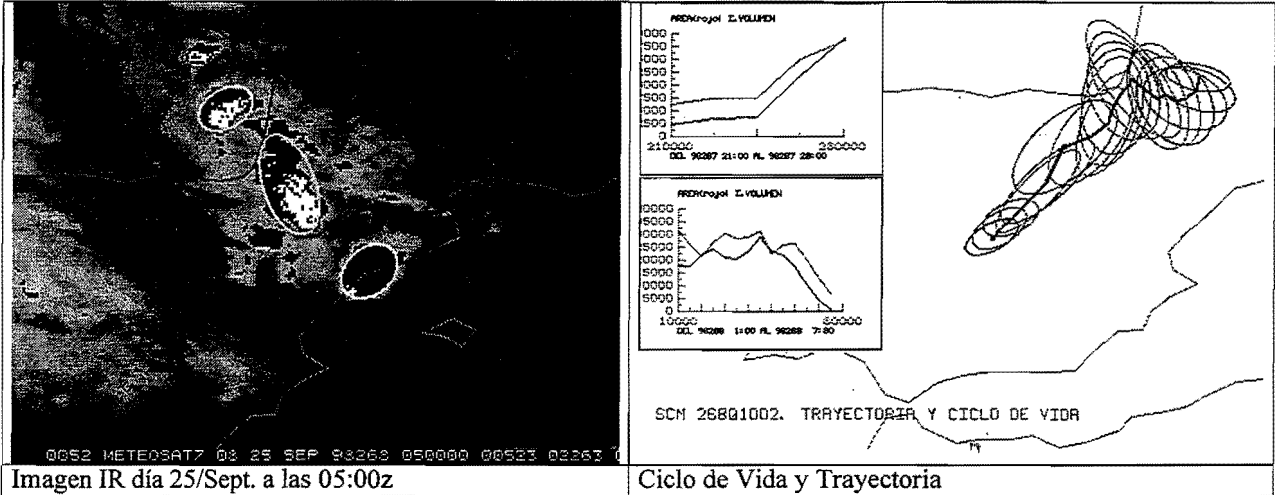
Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

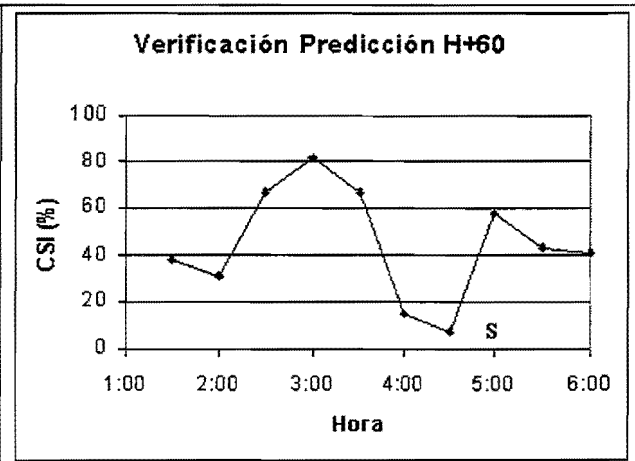
Se trata de un SCM no demasiado grande pero presenta un ciclo de vida que se ajusta muy bien al modelo conceptual que se viene utilizando, lo cual explica los valores altos del CSI salvo para el periodo final en que el SCM desaparece por fragmentación en varios núcleos.

CODIGO : 26721002/26801002 **FECHA :** 24-25/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
22:30	07:30	9 h	Centro y NNE	30.970 km ²	28.326 km ²	-65 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

La verificación objetiva da valores muy bajos.

CODIGO : 26805001 **FECHA :** 25/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
05:00	> 09:30	> 5 h	Golfo Vizcaya	28.278 km ²	26.464 km ²	-65 °C

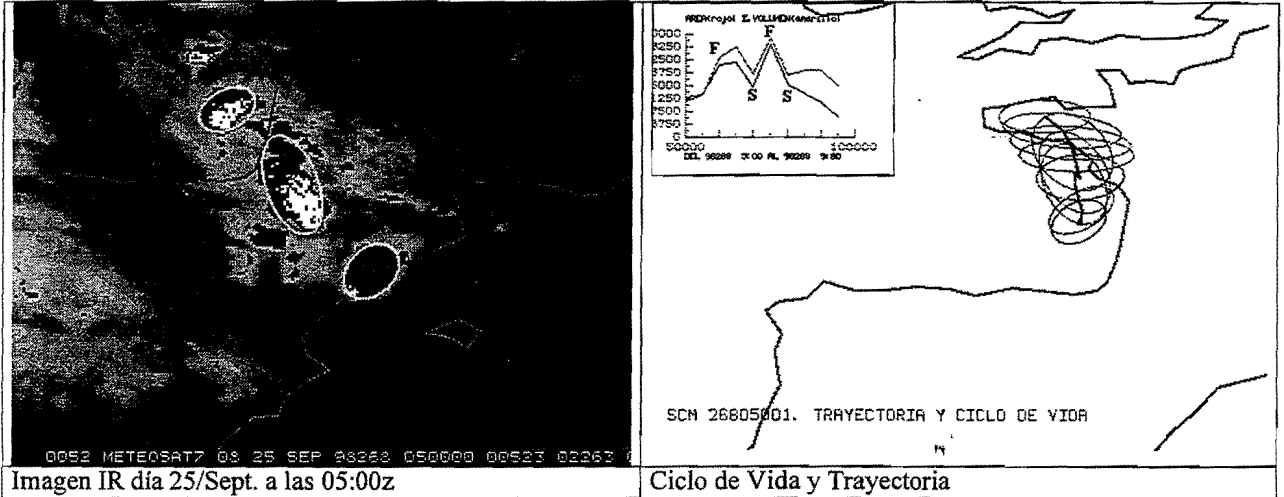
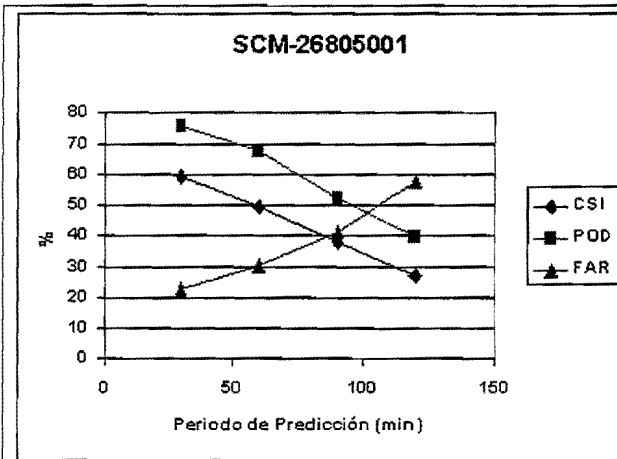
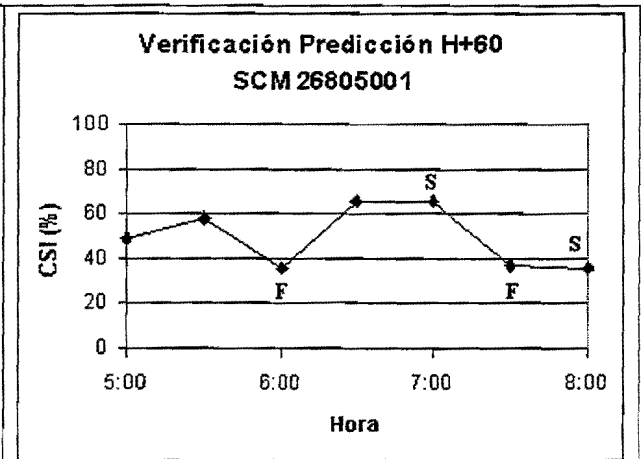


Imagen IR día 25/Sept. a las 05:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

Este SCM surge a las 05:00z como consecuencia de la división en dos del SCM 26801002. Su ciclo de vida viene marcado por interacciones con otros núcleos dando lugar a fusiones (F) y divisiones (S) lo que hace que los resultados de la verificación objetiva sean muy bajos. No se dispone del ciclo de vida completo puesto que a las 10:00 el SCM sale de la ventana de trabajo.

CODIGO : 26804301 FECHA : 25/Septiembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
05:00	10:00	5 h	Cataluña	24.895 km ²	12.973 km ²	-63 °C

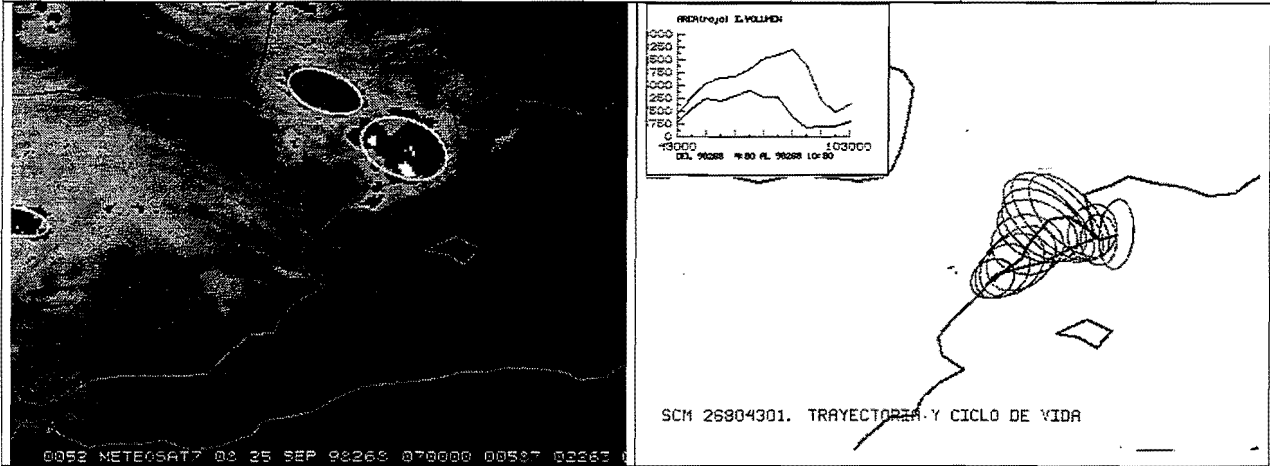
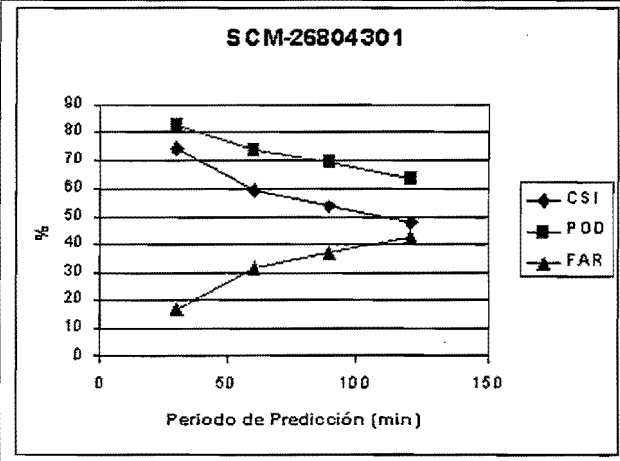
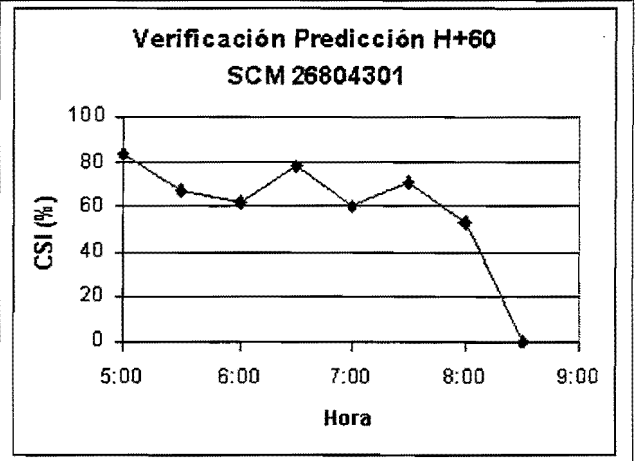


Imagen IR día 25/Sept. a las 07:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

El valor nulo del CSI de la predicción a H+60 las 08:30z es debido a que el procedimiento extrapola con una velocidad errónea. El error proviene del hecho de que el SC presenta una parte más activa al sur y una parte estratiforme al norte. La parte estratiforme se disipa rápidamente y queda solo el núcleo del sur, lo cual hace que el centroide del SC sufra un desplazamiento hacia el sur y se diagnostique una velocidad errónea.

El GPV de Barcelona nos ha remitido el siguiente comentario:

" Para el día 25 había Aviso. A primera hora ya se habían registrado tormentas muy fuertes con un total de 42 mm en Reus hasta que se estropeó la EMA. A media mañana se registraron fuertes tormentas en el área de Barcelona que dieron en varios puntos cantidades superiores a los 30 mm/h. El Aeropuerto tuvo que cerrarse algún tiempo. Las cantidades más destacadas fueron: 93 mm en Gavá (junto al Apto), 48 en el Apto, 25 en el Centro. En Cataluña se registraron entre 30 y 50 mm en el norte de Lérida, entre 20 y 40 en el interior de la provincia de Barcelona y entre 25 y 55 en la de Gerona. La pega que le pusimos al proceso es que anduvo un poco errático en definir claramente su desplazamiento en alguna de las actualizaciones que hicimos y que en algún momento lo daba en extinción y poco después lo ponía cómo en desarrollo. En todo caso no eran variaciones de suma importancia ya que su camino hacia el NE estaba bastante claro y si disminuía o no de fuerza era en su camino hacia el mar donde no nos importaba mucho que pasara. "

CODIGO : 29200301 FECHA : 19/Octubre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
02:30	05:00	2:30	NW Med.	24.898 km ²	12.671 km ²	-66 °C

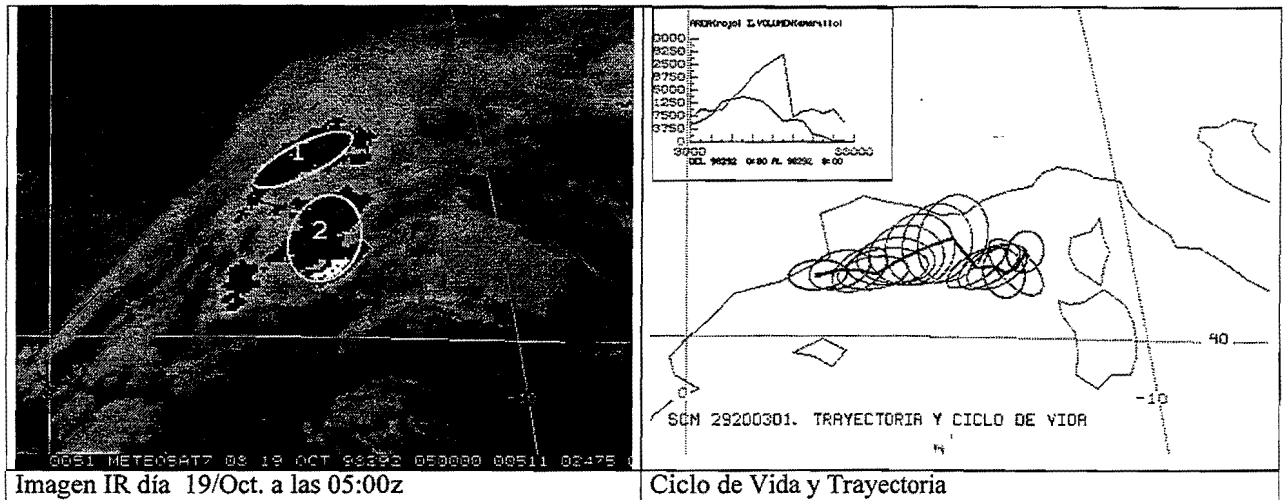
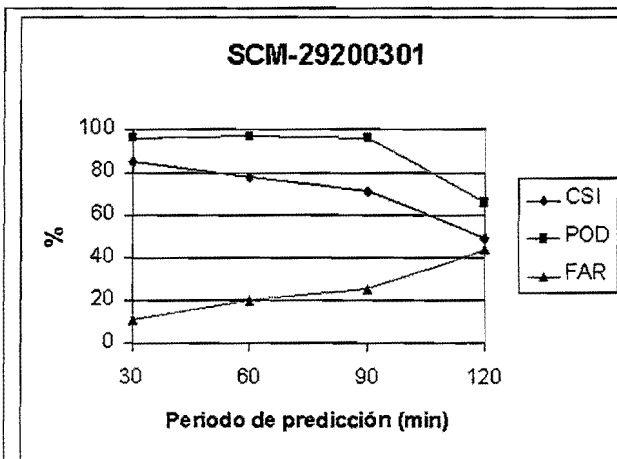
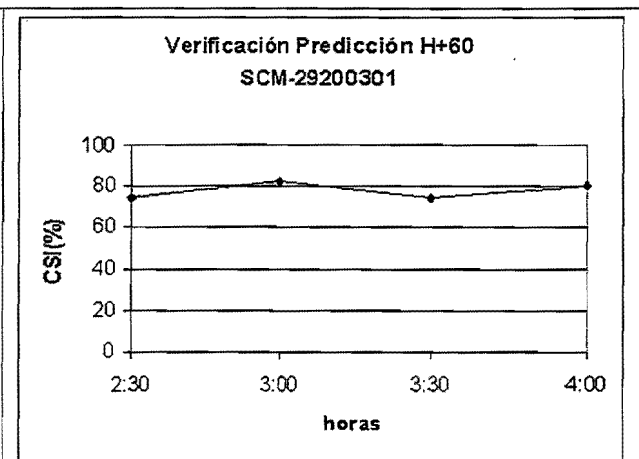


Imagen IR día 19/Oct. a las 05:00z

Ciclo de Vida y Trayectoria



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

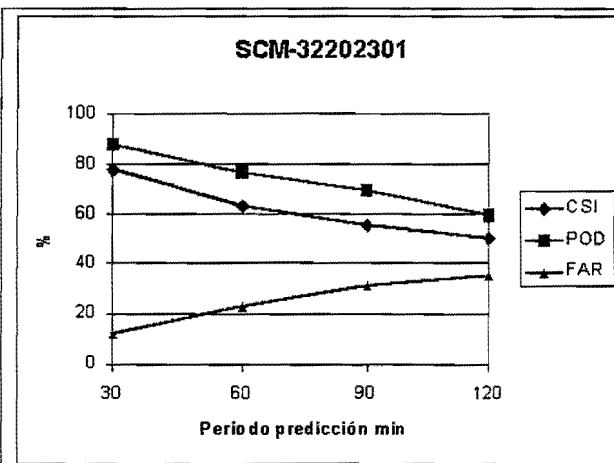
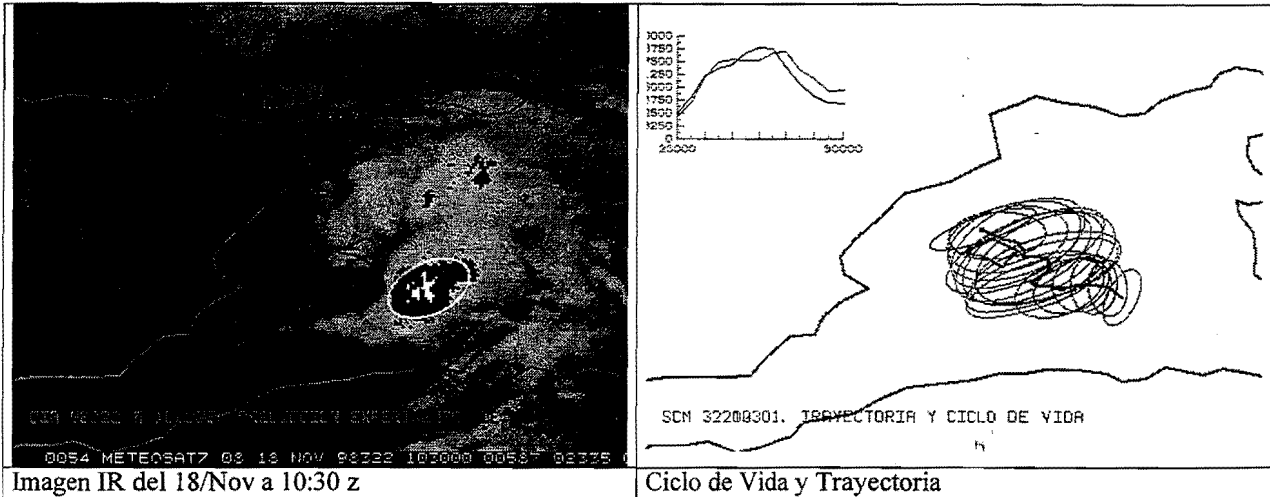
A lo largo del día 19 un frente atravesó la Península de W a E con varias células convectivas embebidas, algunas de ellas alcanzaron tamaños que superaron los 5.000 km² por lo que fueron identificadas y seguidas, por el procedimiento. La célula estudiada en este capítulo fue considerada SCM, aunque al estar rodeada de nubosidad con topes fríos, y que continuamente se fusiona y se separa del núcleo principal, origina que el procedimiento diagnostique excesivas fases de madurez y reactivación a lo largo del ciclo de vida. Esta característica se observará principalmente en SCM embebidos en estructuras nubosas más grandes (frentes, bandas asociadas al chorro subtropical,..) y pone de manifiesto que quizás haya que irse a temperaturas más bajas (o no fijar de antemano la temperatura umbral), para estudiar este tipo de situaciones.

En las imágenes de satélite se muestra el momento en que gran cantidad de nubosidad se separa del sistema convectivo. También se aprecia en el descenso brusco de la curva A (-52°C) en la gráfica del ciclo de vida. Hay que señalar que el procedimiento siguió algunas zonas del frente (número 1 en la imagen IR) que no son SCM y, que por sus características de tamaño y temperaturas de los topes, fueron consideradas como tales. Como ya se ha dicho en otros casos, el predictor debe ser capaz de discriminar estas zonas no deseadas hasta que posteriores versiones del procedimiento lo realicen de forma automática.

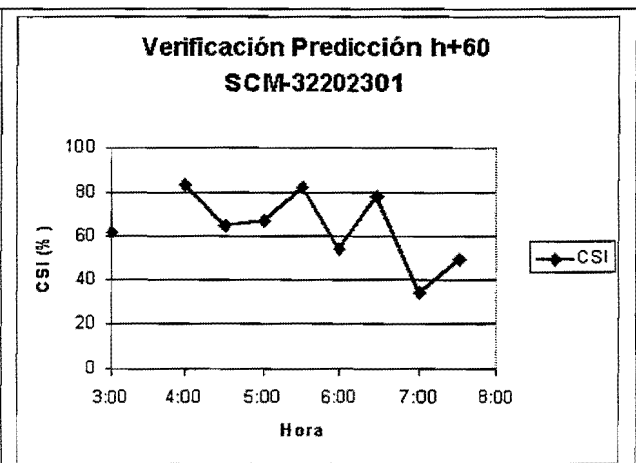
CODIGO : 32202301-32210301

FECHA : 18/Noviembre/1998

Inicio	Disipación	Duración	Zona Afectada	Area Máxima	Iv. Máximo	Temp. Mínima
02:30	12:00	9:30 h	Baleares	41.548 km ²	43.764 km ²	-67 °C



Valores medios de los índices de verificación



Evolución del CSI para la predicción a una hora

Comentarios

En la madrugada del día 18 de noviembre se formó una línea de turbonada al noroeste de Baleares, que haciendo uso del loop de imágenes se pudo predecir que en las próximas horas afectaría a Mallorca. Entre otras precipitaciones destaca la registrada en la zona de Lluçmajor situada junto a la costa del levante isleño de 140 mm en tres horas.

Fue cogida la evolución por el método experimental aunque el área que pronosticaba abarcaba Mallorca y Menorca. Durante el día continuó lloviendo pero el método no proporcionó ninguna información al respecto.



ANEXO II

ESQUEMAS MD UTILIZADOS EN EL PROCEDIMIENTO

Dentro del procedimiento se hace uso de cuatro tipos diferentes de MD, con distintos esquemas:

1. MD que almacena objetos. Esquema SCM
2. MD que almacena características de los SCM. Esquema SCMC
3. MD que almacena predicciones. Esquema SCMF
4. MD que almacena verificaciones. Esquema SCMV

Los datos que se distribuyeron a los usuarios a través del entorno McIDAS fueron los contenidos en los MD con esquema SCMF.

A continuación se presentan los diferentes esquemas.

Esquema SCM

```

"   NAME VSN DATE ID "TEXTID
"   -----
SCHEMA SCM 1 97133 0 "CARACTERISTICAS SCM
" KEY SCALE   UNITS   DESCRIPTION
" ----  ----  -----
ROWS 48
DAY      YD      "DIA EN JULIANO (YYDDD)
TIME     HMS     "HORA DE LA MEDIDA
CMAX     .       "NUMERO DE SCM DETECTADOS

COLUMNS 200

DATA
NSCM           "NUMERO DEL SCM
LATC 4         DEG      "LATITUD CENTROIDE
LONC 4         DEG      "LONGITUD CENTROIDE (OESTE POSITIVO)
LATF 4         DEG      "LATITUD NUCLEO FRIO
LONF 4         DEG      "LONGIT. NUCLEO FRIO (OESTE POSITIVO)
PIXM 2         KM2     "AREA DEL PIXEL MEDIO EN KM2
NPIX          "NUMERO DE PIXELS
RMA 2         KM      "LONGITUD RADIO MAYOR ELIPSE
RME 2         KM      "LONGITUD RADIO MENOR ELIPSE
ANGR         DEG     "ORIENTACION GEOGRAFICA DE LA ELIPSE
NP32         "NUMERO DE PIXELS -32 C
NP36         "NUMERO DE PIXELS -36 C
NP40         "NUMERO DE PIXELS -40 C
NP44         "NUMERO DE PIXELS -44 C
NP48         "NUMERO DE PIXELS -48 C
NP52         "NUMERO DE PIXELS -52 C
NP56         "NUMERO DE PIXELS -56 C
NP60         "NUMERO DE PIXELS -60 C
NP64         "NUMERO DE PIXELS -64 C
NP68         "NUMERO DE PIXELS -68 C
NP72         "NUMERO DE PIXELS -72 C
TMIN 1        K       "TEMPERATURA MINIMA
COD          CHAR    "CODIGO DE SELECCION DE SCM
DIS          KM      "DISTANCIA CON RESPECTO AL REGISTRO
                ANTERIOR
DIR          DEG     "DIRECCION METEOROLOGICA DEL
                MOVIMIENTO
VEL 2        MSG     "VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
ENDSCHEMA

```


Esquema SCMC

```

"   NAME VSN DATE ID "TEXTID
"   -----
SCHEMA SCMC 1 98161 0 "CICLO VIDA SCM
" KEY SCALE   UNITS   DESCRIPTION
" ---  ---  ---
ROWS 48
DAY          YD      "DIA EN JULIANO (YYDDD)
TIME        HMS     "HORA DE LA MEDIDA
CMAX                "NUMERO DE SCM DETECTADOS

COLUMNS 200

DATA
NSCM                "NUMERO DEL SCM
COD                 "CODIGO DEL SCM
AREA                KM2    "AREA SCM
IVOL                KM2    "INDICE DE VOLUMEN DEL SCM
LATC 4             DEG    "LATITUD CENTROIDE
LONC 4             DEG    "LONGITUD CENTROIDE (OESTE POSITIVO)
RMA                KM     "LONGITUD RADIO MAYOR ELIPSE
RME                KM     "LONGITUD RADIO MENOR ELIPSE
ANGR              DEG    "ORIENTACION GEOGRAFICA DE LA ELIPSE
TMIN              K      "TEMPERATURA MINIMA
FASE              CHAR   "FASE DEL SCM
DIR              DEG    "DIRECCION METEOROLOGICA DEL
MOVIMIENTO
VEL              KMH    "VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
DIRM             DEG    "DIRECCION MEDIA
VELM            KMH    "VELOCIDAD MEDIA
DURA           "DURACION
VELA           "VELOCIDAD CRECIMIENTO AREA
VELI           "VELOCIDAD CRECIMIENTO IVOL
IANT           "CODIGO IMAGENES ANTERIORES
EVO1          CHAR   "CODIGO EVOLUCION PRECEDENTE
PADR           "CODIGO SCM PADRE
MADR           "CODIGO SCM MADRE
HERM           "CODIGO SCM HERMANO
EVO2          CHAR   "CODIGO EVOLUCION POSTERIOR
HIJ1          "CODIGO SCM HIJO 1
HIJ2          "CODIGO SCM HIJO 2
ENDSCHEMA
    
```

Esquema SCMF

```

"   NAME VSN DATE ID "TEXTID
"
  SCHEMA SCMF 1 98186 0 "PREDICCIONES SCM
" KEY SCALE      UNITS      DESCRIPTION
" ----
ROWS 48
DAY              YD          "DIA EN JULIANO (YYDDD)
TIME             HMS          "HORA DE LA MEDIDA
CMAX             "NUMERO DE SCM DETECTADOS

COLUMNS 200          "ESPACIO PARA 200 SCM

DATA             "DATOS COMUNES EN EL REGISTRO
NSCM             "NUMERO DEL SCM
COD              "CODIGO DEL SCM
IVOL             KM2         "INDICE DE VOLUMEN DEL SCM
ANGR             DEG         "ORIENTACION GEOGRAFICA DE LA ELIPSE
TMIN            K           "TEMPERATURA MINIMA
FASE            CHAR        "FASE DEL SCM
DIR             DEG         "DIRECCION METEOROLOGICA DEL
MOVIMIENTO
VEL             KMH         "VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
DIRM            DEG         "DIRECCION MEDIA
VELM            KMH         "VELOCIDAD MEDIA
DURA           "DURACION
VELA            "VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DEL AREA
VELI            "VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE IVOL
EVO1            CHAR        "CODIGO EVOLUCION PRECEDENTE
FLAG

REPEAT 7         " GRUPO DE DATOS REPETIDOS
                 " UN GRUPO PARA CADA PREDICCION DE SCM
                 " DESDE H+00 HASTA H+03 A INTERVALOS DE 30 MIN
FTIM            MIN         "PERIODO DE PREDICCION EN MINUTOS
AREA            KM2         "AREA DEL SCM
LATC 4          DEG         "LATITUD CENTROIDE
LONC 4          DEG         "LONGITUD CENTROIDE (OESTE POSITIVO)
RMA             KM          "LONGITUD RADIO MAYOR ELIPSE
RME             KM          "LONGITUD RADIO MENOR ELIPSE
ENDSCHEMA

```

Esquema SCMV

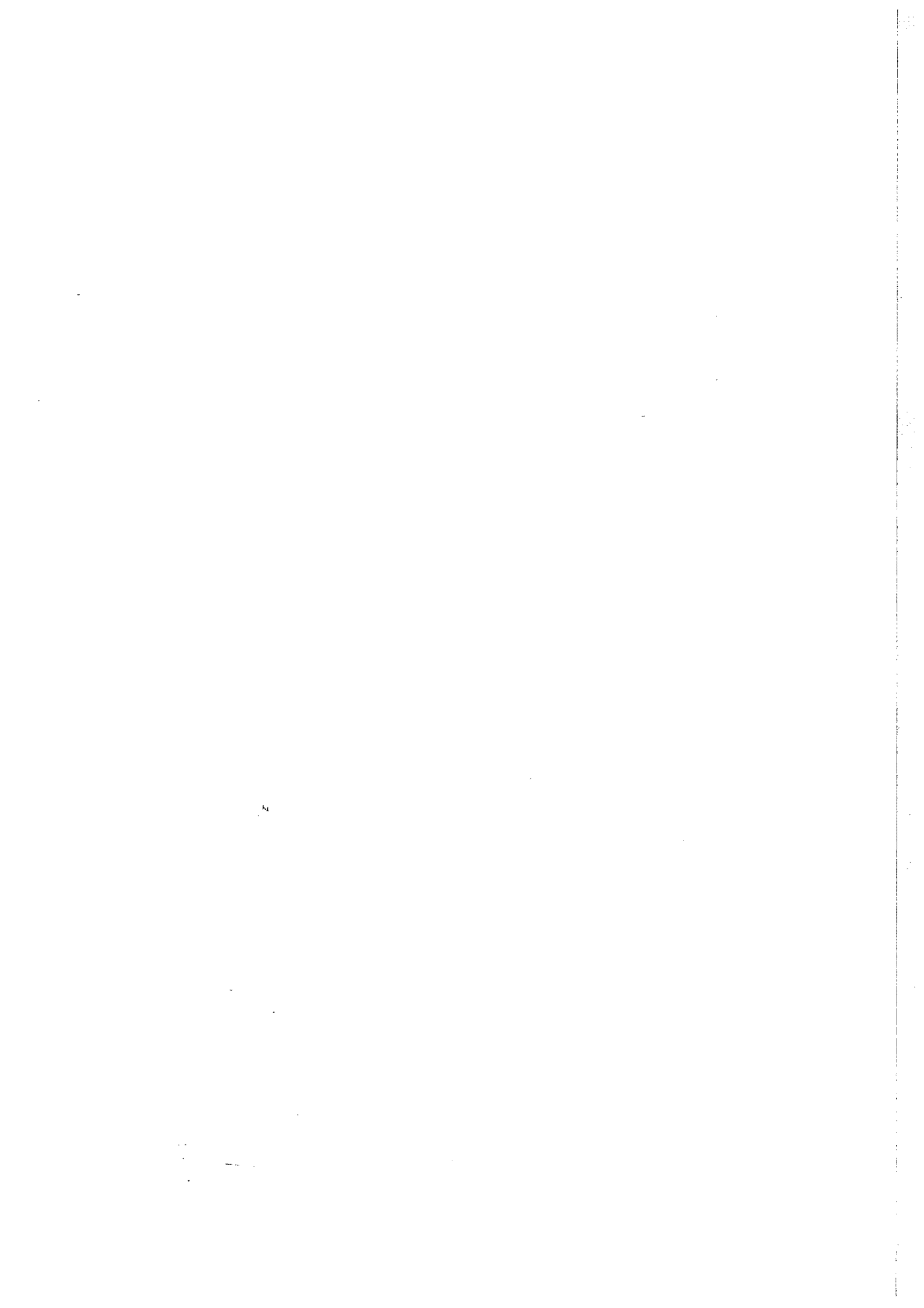
```

"   NAME VSN DATE ID "TEXTID
"   -----
  SCHEMA SCMV 1 98186 0 "VERIFICACIONES SCM
" KEY SCALE   UNITS   DESCRIPTION
" ---
ROWS 48
DAY          YD      "DIA EN JULIANO (YYDDD)
TIME        HMS     "HORA DE LA MEDIDA
CMAX                "NUMERO DE SCM DETECTADOS

COLUMNS 200                "ESPACIO PARA 200 SCM

DATA          "DATOS COMUNES EN EL REGISTRO
NSCM          "NUMERO DEL SCM
COD           "CODIGO DEL SCM
IVOL          KM2     "INDICE DE VOLUMEN DEL SCM
ANGR         DEG     "ORIENTACION GEOGRAFICA DE LA ELIPSE
TMIN         K       "TEMPERATURA MINIMA
FASE         CHAR    "FASE DEL SCM
DIR          DEG     "DIRECCION METEOROLOGICA DEL
MOVIMIENTO
VEL          KMH     "VELOCIDAD DEL MOVIMIENTO
DIRM         DEG     "DIRECCION MEDIA
VELM         KMH     "VELOCIDAD MEDIA
DURA        "DURACION
VELA         "VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DEL AREA
VELI         "VELOCIDAD DE CRECIMIENTO DE IVOL
EVO1         CHAR    "CODIGO EVOLUCION PRECEDENTE
FLAG

REPEAT 7      " GRUPO DE DATOS REPETIDOS
              " UN GRUPO PARA CADA PREDICCIÓN DE SCM
              " DESDE H+00 HASTA H+03 A INTERVALOS DE 30 MIN
FTIM         MIN     "PERIODO DE PREDICCIÓN EN MINUTOS
EARA         KM2     "ERROR PREDICCIÓN AREA
EDIS         KM      "ERROR EN DISTANCIA
FCOR         "FRACCIÓN CORRECTA
POD          "PROBABILIDAD DE DETECCIÓN
FAR          "FRACCIÓN FLASAS ALARMAS
CSI          "CRITICAL SUCCES INDEX
ENDSCHEMA
  
```



BIBLIOGRAFIA

- Arnaud, Y., M. Desbois and J. Maizi., 1992: Automatic tracking and characterization of African Convective Systems on Meteosat Pictures. *J. Appl. Meteor.*, **31**, 443-453.
- Augustine J.A. and Howard K.W., 1988: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1985. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 685-701.
- Bartels, D. L., J. M. Skradski and R. D. Menard, 1984: Mesoscale Convective Systems : A satellite-data-based Climatology. NOAA Technical Memorandum ERL ESG-8.
- Benech, B., H. Brunet, V. Jacq, M. Payen, J.C. Rivrain et P. Santurette, 1993: La catastrophe de Vaison-La-Romain et les violentes precipitations de septembre 1992: Aspects Meteorologiques. *La Météorologie* 8e série Num. 1, 72-90.
- Canalejo, M., O. Carretero y R. Riosalido, 1993: Sistemas convectivos de mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-90. Parte I:Caracterización a partir de las imágenes de satélite. Parte II:Evolución de los sistemas convectivos. Nota Técnica STAP N° 9. INM Madrid
- Canalejo, M., O. Carretero y R. Riosalido, 1994: Sistemas convectivos de mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-92. Parte I:Caracterización a partir de las imágenes de satélite. Parte II:Evolución de los sistemas convectivos. Nota Técnica STAP N° 14. INM Madrid.
- Carretero, O., M. Canalejo y R. Riosalido, 1993: Sistemas convectivos de mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-91. Parte I:Caracterización a partir de las imágenes de satélite. Parte II:Evolución de los sistemas convectivos. Nota Técnica STAP N° 12. INM Madrid
- Cotton W.R., M.S. Lin , R.L. McAnelly and G.J. Tremback, 1989: A Composite model of a Mesoscale Convective Complexes. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 765-783
- Dixon, M. and G. Wiener, 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting. A Radar based methodology. *J. Atmos. and Ocean Technology*. **10**, 785-797.
- Doswell, C.A. III, 1987: The distinction between large-scale and mesoscale contribution to severe convection. A case study example. *Wea. Forecasting*, **2**, 3-16
- Fernandez, C, M.A. Gaertner, C. Gallardo and M. Castro. 1995: Simulation of a long-lived meso-beta scale convective system over the Mediterranean coast of Spain. Part I: Numerical Predictability. *Meteorol. Atmos. Phys.* **56**, 157-179
- 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

Jansá, A., J.A. García-Moya and E. Rodriguez, 1991: Numerical experiments on heavy rain and Mediterranean cyclones. Report of the 4th session of the Steering Group on Mediterranean Cyclones Study Project (Sofia, Bulgaria, 25-28 March 1991). PSMEP N° 33 WMO/TD N° 240

Kane R.J., Chelius C.R. and Fritsch J.M. 1987: Precipitation characteristics of Mesoscale Convective weather Systems. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 1345-1357

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

Laing, A. and J. M. Fritsch, 1993: Mesoscale convective complexes over the Indian monsoon region. *J. Climate*, **6**, 911-919

Maddox, R.A. 1980: Mesoscale Convective Complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **61**, 1374-1387.

Maddox R.A., D.M. Rodgers and K.W. Howard, 1982: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1981-Annual Summary. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 1501-1514.

Maddox R.A., 1983: Large-Scale Meteorological Conditions associated with Midlatitude Mesoscale Convective Complexes. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1475-1495

McAnelly R.L. and Cotton W.R., 1986: Meso-Beta-Scale characteristics of an episode of Meso-Alfa-Scale Convective Complexes. *Mon. Wea. Rev.*, **114**, 1740-1770

Miller, D. and J. M. Fritsch, 1991: Mesoscale convective complexes in the western Pacific region. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 2978-2992

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.

Riosalido R., 1990: Estudio sobre algunos parámetros atmosféricos asociados a la formación y evolución de Sistemas Convectivos de Mesoescala. II Simposio Nacional de Predicción del INM. Madrid 20-22 Nov. 1990, pp.369-383

Riosalido R., 1991: Sistemas Convectivos de Mesoescala. Campaña Previmet Mediterraneo-89. Parte I: Características según las imágenes de satélite. Parte II: Evolución de los sistemas convectivos. Nota Técnica STAP N° 1. INM Madrid.

Riosalido R., F. Elizaga, O. Carretero y F. Martín, 1998: Climatología satélite de Sistemas Convectivos de Mesoescala en las proximidades de la Península Ibérica: Aplicación a la

predicción de lluvias torrenciales. Memoria de Investigación Proyecto CICYT CLI95-1776. Nota Técnica STAP N°29. Instituto Nacional de Meteorología Madrid

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

Rodgers D.M., K. W. Howard and E. C. Johnston, 1983: Annual Summary: Mesoscale Convective Complexes over the United States during 1982. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 2363-2369.

Szejwach, G. and M. Desbois, 1978: Dynamic classification of mesoscale cloud pattern. *J. Appl. Meteor.*, **17**, 1406-1411.

Tollerud, E.I. and J. A. Augustine, 1992: Cloud top characteristics of mesoscale convective systems in 1986. Preprints Symposium on Weather Forecasting. AMS Atlanta, Georgia pp. J3-J7

Velasco I. and Fritsch J.M. 1987: Mesoscale Convective Complexes in the Americas. *Journal of Geophysical Research*, **92**, 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.

