

# OBSERVACIÓN DE UN VÓRTICE GENERADO POR UN SISTEMA CONVECTIVO DE MESOESCALA EN EL INTERIOR PENINSULAR (\*)

Francisco Martín León  
Lucía de Esteban Jódar  
Ricardo Riosalido

(Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, S.T.A.P.; -INM-)

## RESUMEN

*En este trabajo se pone de manifiesto, mediante imágenes suministradas por satélite y el radar de Madrid, la existencia de un vórtice mesoescalar generado por un sistema convectivo. Se analizan los ambientes sinópticos y mesoescalar que pudieron generarlo y se estudian, objetiva y subjetivamente, las imágenes suministradas por los sensores de teledetección que ponen de manifiesto la existencia observacional de esta estructura. Se analizan las posibles causas, de tipo sinóptico que pudieron favorecer su aparición.*

### 1. Introducción.

Una de las características que comúnmente están asociadas a los "sistemas convectivos de mesoescala" (SCM desde ahora) en su fase madura es la existencia de tres circulaciones mesoescalares como podemos ver en la Fig. 1a (Maddox, 1981). La formación del núcleo cálido en niveles medios suele generar una circulación ciclónica de dimensiones mesoescalares, que incluso llegan a ser aparentes en las imágenes de satélite (VIS/IR).

La primera evidencia observacional de un vórtice generado a partir de un SCM (VSCM desde ahora) fue realizada por Johnston (Johnston, 1981), quien identificó numerosas circulaciones ciclónicas mediante secuencias de imágenes de satélite. Observó que dichas circulaciones apa-

recían después de la convección afirmando: "... se originaban en algún lugar del complejo convectivo mesoescalar ...". Debido al tamaño reducido del vórtice afirmaba que de vez en cuando eran detectados por la red de radiosondeos y datos de superficie.

Posteriormente estudios numéricos han demostrado que una circulación ciclónica es generada **dentro de la región de precipitación estratiforme de los complejos convectivos** (Zhang and Fritsch, 1987, 1988).

La existencia de estas estructuras ha llevado a algunos investigadores a realizar una climatología en EE.UU. basada en imágenes de satélite (Bartels y Maddox, 1989). En el área peninsular R. Riosalido (1991, Nota Técnica núm. 1 del S.T.A.P.)

---

(\*) En lo separata de este volumen hay varias imágenes en color correspondientes a esta comunicación.

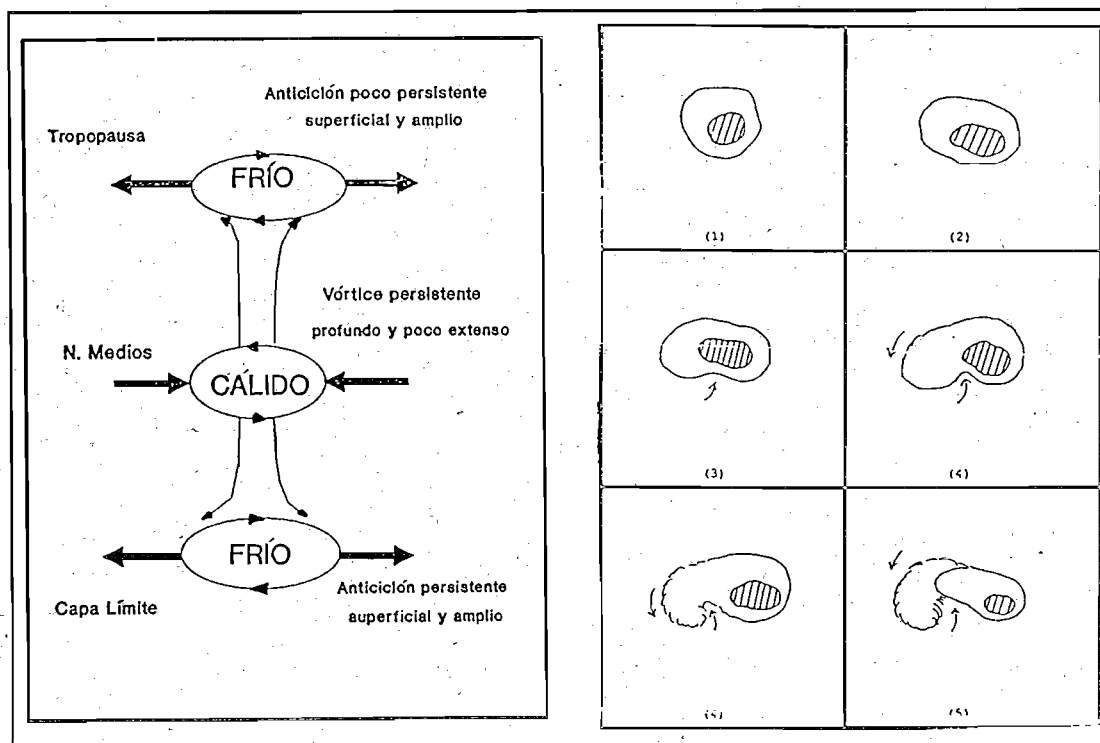


Figura 1.- a) Modelo conceptual de tres capas de un SCM maduro.  
 0) Evolución de algunos SCM en las cercanías de la Península según imágenes IR.

ha observado, mediante el uso de imágenes de satélites, la posibilidad de la existencia de esta organización interna al detectar estructuras en forma de ganchos o "hendiduras" en las imágenes IR de Meteosat, proponiendo un modelo conceptual de evolución, (Fig. 1b), en algunos SCM.

En la climatología realizada en EE.UU. se utilizaron las **imágenes visibles para identificar, inicialmente, dichas circulaciones** eliminando las que superaban los 500 km de diámetro, durante el período 81-88 en la zona central del país. Se detectaron 24 VSCM que se clasificaron en función de la actividad que más tarde generaron:

- No generaron actividad alguna.
- Células convectivas aisladas.
- Otro SCM.
- En serie: generando otro vórtice.

En este estudio observaron que, aunque las perturbaciones se generaban en niveles medios, el borde inferior del VSCM podía descender hasta

el nivel de condensación por ascenso (NCA) que junto con el calentamiento diurno podrían dar lugar a nuevos fenómenos convectivos durante la tarde-noche.

Analizando los mapas de trabajo de 500 mb se observaron tres situaciones sinópticas donde se dieron dichos elementos:

- Dorsal a gran escala
- Depresión aislada bloqueada por una dorsal más al Norte.
- Vaguada de onda corta sin dorsal de bloqueo al Norte.

Los resultados más importantes que desde el punto de vista sinóptico se obtuvieron los podemos resumir en:

- Forzamientos débiles a gran escala.
- Débil vorticidad relativa y cizalladura vertical en todos los niveles y tendiendo a decrecer con el tiempo.

- Viento, en niveles medios, no superior a 50 Kt y tendiendo a decrecer con el tiempo hasta los 20-30 Kt distribuidos en una capa profunda atmosférica.

- Fuerte inestabilidad.

La presencia de entornos sinópticos con fuerte vorticidad relativa suelen llevar asociados fuertes zonas de deformación y cizalladura que han demostrado ser áreas poco proclives a presencia de VSCM.

El objetivo de esta Nota es poner de inaniesto la existencia de estos elementos mediante el uso de las imágenes de satélite (IR/VIS) y radar, de un SCM que se originó a primeras horas del día 6 de septiembre de 1991 y que afectó al SE de la Comunidad de Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana. Se analiza el ambiente sinóptico y mesoescalar donde se desarrolló, presentando algunas imágenes de satélite y del radar de Madrid que demuestran su existencia. Se estudia la evolución del SCM, subjetiva y objetivamente, aplicándose el tratamiento básico que en la actualidad se está realizando sobre los SCM que se detectan en la zona peninsular. Por último se apuntan las posibles causas de la existencia de este VSCM.

## 2. Marco sinóptico y mesoescalar.

### 2.1. Marco sinóptico.

Durante el día previo del VSCM, día 5 de septiembre de 1991, una baja se situaba al W de las costas gallegas con una vaguada móvil difluente que afectaba a casi toda la Península y bloqueada por un potente anticiclón situado más al Norte. Las condiciones térmicas y dinámicas generaron durante la tarde-noche entornos sinópticos adecuados para el desarrollo de convección generalizada en casi toda la Península.

Como resultado de esta situación podemos observar a las 23Z del día 5 de septiembre de 1991 los restos de dos SCM en el Norte de España en fase de disipación (Imagen A14-1, en la separata del libro) mientras otro núcleo, comienza a ganar actividad en las zonas limítrofes de Jaén y Ciudad Real.

Las imágenes IR, mostradas en la Imagen A14-1 de la separata del libro, se encuentran realizadas según la tabla I.

**Tabla I**  
**Tabla de realce (IR)**

Marrón oscuro	$-32 \leq T \leq -36$
Marrón claro	$-36 \leq T \leq -40$
Amarillo	$-40 \leq T \leq -44$
Verde	$-44 \leq T \leq -48$
Cián	$-48 \leq T \leq -52$
Azul	$-52 \leq T \leq -56$
Rojo	$-56 \leq T \leq -60$
Blanco	$-60 \leq T \leq -64$
Gris	$-64 \leq T \leq -68$
Negro	$-68 \leq T$

(T en °C)

A las 00Z la vaguada penetró por el SW peninsular aumentando la inestabilidad y los vientos pasaron a ser del ESE en niveles bajos y del SW en niveles medios. La vaguada siguió estando parcialmente bloqueada por el anticiclón que se encontraba al W de Irlanda. Como consecuencia de todo ello los núcleos que afectaban a la parte Sur peninsular se activaron rápidamente en la noche del 5 al 6, mientras que los de Castilla-León tendían a desaparecer. En la Fig. 2a se recogen los análisis objetivos del LAM (Modelo de Área Limitada del INM): Z y T en 500 mb y Z en 1.000 mb y T en 850 mb a las 00Z del día 6. Las condiciones anteriores se fueron trasladando hacia las zonas de la Comunidad Valenciana en horas posteriores.

En este marco favorable se desarrollaron las primeras tormentas nocturnas que se agruparon en línea.

#### 2.1.1. Parámetros atmosféricos del LAM asociados a formación y evolución del SCM.

Siguiendo el estudio comenzado por R. Riosalido (Riosalido, 1991a) de relacionar ciertos parámetros del LAM con la fase inicial y de evolución de los SCM, se han analizado dichos parámetros para evaluar si estaban dentro del rango de valores objetivos obtenidos durante la campaña Pievimet-Mediterráneo del año 1989 y qué modificaciones habría que realizar al tratarse de un SCM formado en el interior peninsular.

##### Fase inicial.

Se ha tomado como fase inicial las 03Z del día 6 y se han calculado dichos parámetros con

el análisis objetivo del LAM de las 00Z del 6 de septiembre de 1991. Podemos resumir los resultados **coincidentes en:**

a) Fuerte inestabilidad latente y convectiva en la zona.

b) Forzamiento sinóptico positivo en niveles bajos (DivQ 850, 700) y débil o negativo en niveles medios (500, 300).

c) Advección de temperatura en niveles bajos (850 y 700).

d) Alto contenido de humedad en todos los niveles.

e) Flujo de componente Este en niveles bajos girando al SW en niveles medios.

El punto referente a la existencia de frontera o fuerte gradiente de THE en 1.000 mb, orientada de E-W, no se dio pero en cambio existió un máximo de THE en 850 mb en la zona.

Otros factores que favorecieron la convección pudieron ser dos: la existencia de advección diferencial de temperatura entre 850 y 500 mb, siendo positiva en la zona en cuestión, y la cizalladura vertical que resultó débil entre 300 y 700 mb a las 00Z. Esta última parece que suele organizar cierto tipo de convección (SCM y VSCM).

### Fase de madurez.

Se puede considerar que entre las 5 y 7Z el SCM llegó a tener su fase de madurez. Tomando como referencia los valores del análisis objetivo del LAM a las 06Z se podrían repetir los puntos anteriores.

En la tabla II podemos apreciar los distintos valores que tomaron algunos parámetros del LAM sobre la zona donde se generó y se trasladó el SCM.

### 2.2. Marco mesoescalar.

El análisis de los datos de superficie de 00Z del día 6 nos ponen de manifiesto la existencia de una mesoalta y microfrente de racha generado por la convección por uno de los SCM del día 5 y que se extendió por gran parte de Castilla - La Mancha; además existía un seno de bajas presiones relativas que afectaba a toda Andalucía y SE de Castilla - La Mancha. A las 3Z, Fig. 2b, el posible microfrente de racha había progresado hacia la zona limítrofe de Jaén, Ciudad Real y Córdoba donde se desarrollaron las primeras tormentas que dieron lugar al SCM nocturno. Estamos en la fase inicial de tormentas aisladas en fase de organización.

En horas posteriores, 06 (Fig. 2b) y 09Z, aparecen las estructuras en superficie típicas de

Tabla II

PARÁMETRO	FASE INICIAL 00Z	FASE MADUREZ 06Z
TT	56	54
THE 500-850 mb	-10°C	-8°C
THE 700-850 mb	-8°C	-6°C
DIVQ500 y 850 mb	5 -2 UQ*	0 -2 UQ*
MIX 700 y 850 mb	6 -8 g/kg	6 -9 g/kg
ADVEC. T850	2°C/12 horas	1°C/12 horas
FLUJO DEL SE AL SW	SÍ	SÍ

\*UQ: Unidades del vector Q en  $mb^{-1}s^{-3} \cdot 10^{-6}$

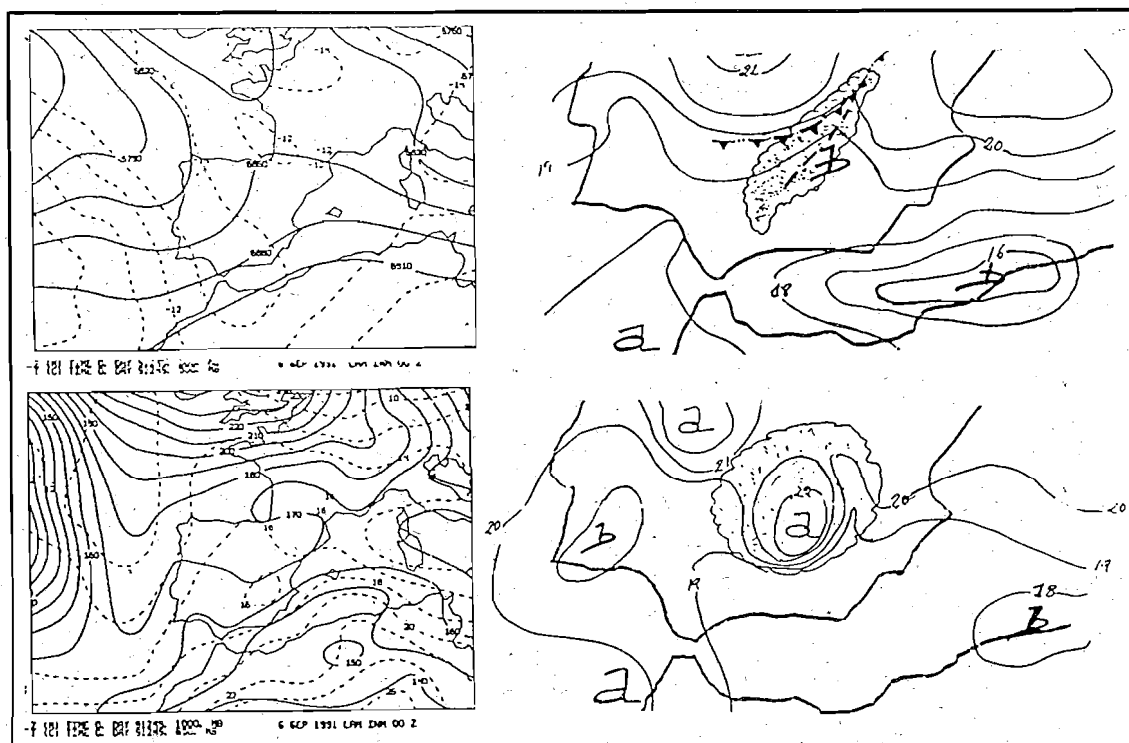


Figura 2.- a) Análisis objetivo del LAM a las 00Z del 6/Sep/91: Z, T en 500 mb (arriba, izquierda) y Z en 1.000 mb y T en 850 mb, con T a trazos (abajo, izquierda)  
 b) Análisis manual de 03Z y 06Z de superficie

un SCM: mesoalta bien definida y una zona de convergencia local, delante de la zona más activa.

Por lo tanto, a las condiciones sinópticas favorables para el desarrollo de la convección se unen las condiciones mesoescalares en niveles bajos: la convección del día anterior generó una mesoalta y un micro frente que pudo ser un elemento añadido a la baja que se situó en la parte oriental de Andalucía provocando una convergencia local en zona de alta inestabilidad y débil forzamiento dinámico en niveles medios.

### 3. Imágenes de satélite y radar.

#### 3.1. Imágenes de satélite.

Los modelos conceptuales de evolución encontrados en algunos SCM del área mediterránea, Fig. 1b, se ponen claramente de manifiesto en las imágenes de satélite cuando se estudia el sistema del 6 de septiembre. Lo que en principio fueron tormentas aisladas, agrupadas en línea y

generadas al Norte de Jaén y SE de Ciudad Real, se van organizando de forma que a las 04,30Z, tenemos ya un SCM bien definido. Las imágenes posteriores nos ponen de manifiesto la existencia de la hendidura, como se puede apreciar a las 07Z, Imagen A14-2a (en la separata del libro). A las 08Z aparece un nuevo núcleo, al SE del primero, que llega a tener una extensión apreciable. Posteriormente, y en el Golfo de Valencia, surge un tercer elemento de forma que a las 11Z han interactuado los tres formando una sola entidad. A las 20Z el sistema entró en fase de disipación y desplazándose por el Norte de Baleares.

Se ha analizado la evolución temporal de las áreas cubiertas por las isoterms desde -32 a -52°C en intervalos de 4°C de las imágenes IR, según el procedimiento utilizado por Riosalido en la elaboración de la climatología de los SCM del 1989. Los resultados obtenidos los podemos observar en la Imagen A14-2b (en la separata del libro).

En ella podemos ver la evolución del núcleo, que generó el VSCM, desde las 3Z hasta las

9Z. La cobertura de todas las áreas creció hasta las 05,30Z, a partir de ahí los topes más fríos se fueron reduciendo mientras el resto siguió su expansión hasta alcanzar; la de  $-32^{\circ}\text{C}$ , una cobertura de casi  $80.000\text{ km}^2$ . Destacar, unos hechos ya observados en otros SCM de que en la primera fase de desarrollo y expansión el área cubierta por los topes más fríos ocupa una amplia zona y más extensa, relativamente, que el resto de las isotermas y el desfase existente entre la máxima cobertura de los topes más fríos y la isotermia de  $-32^{\circ}\text{C}$  que en este caso fue de hora y media.

Se ha calculado la evolución temporal de otros parámetros asociados al SCM como son los ejes mayores y menores, asociados a la isoterma de  $-32^{\circ}\text{C}$ , su excentricidad y la trayectoria de núcleo frío del SCM. Su forma fue prácticamente **circular, excentricidad próxima a uno**, durante la fase inicial y de desarrollo, mientras que evolucionó a una estructura más elíptica en su fase final. El eje mayor llegó a alcanzar los 400 km y el menor los 320 km. El núcleo más frío afectó al S y SE de Ciudad Real, NW de Albacete y Valencia.

### 3.2. Imágenes radar.

Parte del ciclo de vida del SCM y de su vórtice asociado cayó dentro de la cobertura del radar de Madrid (240 km de radio en exploración modo normal), por lo que se pudo observar parte de la estructura interna del sistema, con las limitaciones inherentes al de las exploraciones realizadas por los radares (sobrelevación del haz para grandes distancias, táctica de exploración, etc.). Para el caso del radar en Madrid, la exploración más baja (PPI) se realiza a  $0,5^{\circ}$  de forma que el haz medio se encuentra a 4 km de altura sobre el borde de cobertura.

**Las primeras tormentas de Ciudad Real muestran una estructura sin organizar pero con reflectividades muy altas ( $>52\text{ dBZ}$  en el PPI).** A medida que pasa el tiempo **la organización aumenta y disminuyen las intensidades de reflectividad y *echotops***. Se aprecia en el PPI de las 5,50Z, Imagen A14-3a (en la separata del libro), una estructura en forma de coma, con una cabeza bien definida. La zona convectiva delantera está curvada ciclónicamente, y también se aprecia una amplia zona estratiforme con una nítida **hendidura** en su borde trasero así como una 'banda de precipitación orientada de Sur a Norte. A las 08Z la estructura no sólo se mantiene sino que se agudiza: hendidura, banda convectiva delantera curvada ciclónicamente, aumento de la zona es-

tratiforme, banda secundaria embebida en dicha zona.

Es interesante analizar, en la Imagen A14-3b (en la separata del libro), la estructura del *echorop* de las 06Z pues podemos advertir, de nuevo, la estructura del SCM. La zona convectiva delantera lleva asociado ecos de hasta los 11-12 km para bajar paulatinamente hasta los 2-3 km en la zona estratiforme. Se distinguen además dos brazos curvados con *echotops* más elevados que su entorno, que parten desde la provincia de Jaén girando ciclónicamente hacia la aparente cabeza, uno ligado al flanco delantero y otro embebido en la zona estratiforme con *echotops* de 8 km sobresaliendo del resto. La posible hendidura es más aparente que en las anteriores imágenes.

El sistema siguió evolucionando haciéndose más aparente el giro ciclónico; se acercó al radar de Madrid quedando mejor dentro de su radio de cobertura. En la Imagen A14-4 (en la separata del libro), tenemos una serie de PPI en intervalos de una hora, partiendo desde las 11Z hasta las 14Z, donde podemos observar cómo el VSCM conformó las posibles zonas de precipitación.

### Conclusiones.

La observación de un VSCM en niveles medios mediante satélite y radar el día 6 de septiembre de 1991, que afectó a Castilla-La Mancha y Comunidad Valenciana, demuestra la existencia de estas estructuras generadas en niveles medios, a partir de SCM, y confirman los modelos conceptuales con los que se está trabajando en la actualidad, Fig. 1a y b.

La observación mediante radar es la parte significativa de este trabajo que no sólo confirma su existencia sino que nos puede dar una idea de su estructura interna y evolución. Su formación y evolución en horas y en zonas que no están bien cubiertas por radiosondeos así como la cierta lejanía respecto al radar nos impiden realizar un estudio más profundo de su formación y la estructura del campo de vientos (con radares Doppler).

De cara a la predicción operativa es importante, no sólo el hecho en sí de la existencia de tales estructuras organizadas, sino ponerlas de manifiesto con la mismas herramientas de trabajo con las que se enfrenta a diario el predictor. Por otra parte, y desde el punto de vista de su predicción a corto plazo, sólo nos cabe encontrar

ambientes sinópticos favorables para la formación y evolución de dichos sistemas.

El hecho de que se hayan observado con poca frecuencia no sólo se puede deber a que los entornos sinópticos no sean muy numerosos o adecuados sino que se han empleado los canales VIS y/o IR para detectarlos. La utilización de nuevos elementos de detección, bien con el radar (exploraciones volumétricas) o bien redes densas de perfiladores de viento, pueden darnos un mayor número de casos de los que se detectan en la actualidad.

Respecto al origen de su formación poco podemos aportar con los medios utilizados. Indicar que la generación de un núcleo cálido en niveles medios en los SCM es un hecho observacional y probado numéricamente. De los estudios realizados en EE.UU., se puede deducir que una de las posibles causas podría estar en la liberación de calor latente producida por la lluvia estratiforme que generaría una anomalía cálida mesoescalar de temperatura en niveles medios (o anomalías de vorticidad potencial) respecto a su entorno. Hertenstein y Schubert (1991) realizaron unos estudios y simulaciones numéricas de dos líneas de turbonada, una de las cuales generó una amplia zona estratiforme en un área donde se realizaban experimentos de campo. De ambos análisis dedujeron que en la zona estratiforme se generaban anomalías de vorticidad potencial: una positiva en niveles medios (debida a los procesos de condensación) y dos negativas en niveles altos y bajos (debida a la evaporación) que a su vez llevaban asociadas circulaciones ciclónica y anticiclónica, respectivamente.

El hecho que evolucione hacia un vórtice ciclónico es un fenómeno que no es muy común observarlo mediante imágenes de satélites, sobre todo si se emplean las imágenes VIS, ya que no todos se encuentran en ambientes sinópticos propicios, tanto para su formación como en su evolución posterior. Como apuntan Bartels y Maddox, en su climatología para la zona central de EE.UU., los entornos sinópticos con fuertes vientos y cizalladura son ambientes poco proclives para la formación de dichos vórtices mesoescales

ya que tenderían a destruirlos. En nuestro caso se cumplieron las condiciones generales para la formación de posibles SCM y además aquellas que se señalan en la introducción para la formación de un VSCM.

#### Referencias.

*Curso básico de radares meteorológicos: Sistema del Centro Regional del INM (1989). Rev. 2. Servicio de Satélites y Radares. Publicación interna del INM.*

*Bartels, D.L.; Maddox, R.A. (1989). A satellite based climatology of mid-level cyclonic vortices generated by mesoscale convective complexes. Preprints 12th Conference on weather analysis and forecasting. AMS.*

*Hertenstein, R.F.A.; Schubert W.H. (1991). Potential vorticity anomalies associated with squall lines. Monthly Weather Review, 119, pp. 1.663-1.672.*

*Johnston, E.C. (1981). Mesoscale vorticity centers induced by mesoscale convective complexes. Master Thesis, University of Wisconsin, 54 pp.*

*Maddox, R.A.; Perkey, D.J.; Fritsch, J.M. (1981). Evolution of upper tropospheric features during the development of mesoscale convective complexes. Journal Atmospheric Sciences, 28, pp. 1.664-1.774.*

*Riosalido, R. (1991). Estudio sobre algunos parámetros atmosféricos asociados a la formación y evolución de SCM. II Simposio Nacional de Predicción del INM, pp. 369-383.*

*Riosalido, R. (1991). Sistemas convectivos de mesoescala. Campaña Previmet Mediterráneo-89, Parte II: Evolución de los SCM. Nota Técnica núm.1 del STAP del INM. Mayo-91.*

*Zhang, D.L.; Fritsch, J.M. (1987). Numerical simulation of meso-beta scale structure and evolution of the 1977 Jhonstown flood. Part II: Inertially stable warm-core vortex and the mesoscales convective complexes. J. Atmos. Sci., 44, pp. 2.593-2.612.*

*Zhang, D.L.; Fritsch, J.M. (1988). Numerical sensitivity experiments of varying model physics on structure, evolution and dynamics of two mesoscale convective systems. J. Atmos. Sci., 45, pp. 261-293, The 1977 Jhonstown flood*