



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Estudio de sistemas convectivos mesoscalares en la zona mediterránea occidental mediante el uso del radar meteorológico

Tomeu Rigo Ribas



Aquesta tesi doctoral està subjecta a la llicència **Reconeixement- NoComercial 4.0. Espanya de Creative Commons**.

Esta tesis doctoral está sujeta a la licencia **Reconocimiento - NoComercial 4.0. España de Creative Commons**.

This doctoral thesis is licensed under the **Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0. Spain License**.

7. Conclusiones

7.1. Conclusiones generales

De los 43 episodios de lluvias fuertes detectados para el periodo 1996-2000, un 35% se ha registrado en otoño, un 33% en verano, 18% en invierno y 14% en primavera. De los umbrales considerados para seleccionar episodios de lluvias fuertes, en un 77% de los casos se superó el umbral de 35 mm en 1 h en al menos un pluviómetro, en un 44% los 100 mm/24 h en al menos un pluviómetro, en un 54% los 60 mm/24 h en 5 pluviómetros o más, y, finalmente, en un 19% los 200 mm en al menos un pluviómetro. Mientras que en más de un 50% de los casos en que se superaron los 35 mm en 1 h, no se superó ningún otro de los umbrales, lo que apunta a episodios breves y muy locales, los umbrales de 60 y 100 suelen hallarse más vinculados, apuntando a episodios más extensos. Respecto a aquellos en que se superan los 200 mm, en todos se superaron los 60 mm en más de 5 estaciones, y en un 63% de los casos, los 35 mm/h.

En 5 de ellos se han superado los 250 mm en algún punto de la red SAIH de las CIC, siendo la máxima totalizada de 332 mm (15/12/1997). En estos casos la duración del episodio se halla comprendida entre 95 y 286 h. De los 5 episodios 3 se registraron en diciembre y enero y 2 en noviembre. En general estos episodios afectan a la casi totalidad de las CIC.

La máxima precipitación acumulada en 1 h ha sido de 137 mm (2/9/1996), en tanto que la máxima intensidad 5-minutal ha sido de 241 mm/h (13/9/1997). A diferencia de la distribución estacional de los episodios en que se superan los 250 mm, aquellos en que se registran las máximas intensidades horarias se concentran en los meses comprendidos entre agosto y octubre. Por otro lado, para los episodios de más de 200 mm se observa que existe una proporcionalidad inversa entre la precipitación total y la precipitación horaria máxima registrada en el episodio.

El episodio más extenso ha sido el de diciembre de 1996, en el que se han superado los 100 mm en más de 50 estaciones, siendo el valor máximo de 242 mm. La zona más afectada por episodios de lluvias fuertes ha sido la parte norte de las CIC, destacando la zona pirenaica, en la que se registraron más de 100 mm en más de un 20% de los casos. Si se consideran las CIC divididas en 5 regiones geográficas, en 21 episodios se superaron los 100 mm en más de una región, un 15% de los cuales afecta a más de 5 regiones (muy generales) y un 50% a más de 3 (generales). Frente a lo que se podría pensar, un 62% de los episodios que se registran en

Capítulo 7: Conclusiones

verano son generales, en tanto que en invierno lo son un 60% y en otoño, un 38%. La diferencia entre verano y otoño estriba sin embargo en que los máximos en verano se hallan más localizados, respondiendo al patrón convectivo que rige esta estación. La segunda mitad del año 1996 se caracterizó por el elevado número de episodios en que se superaron los 100 mm en la mayor parte de las regiones.

El cálculo del parámetro β permite conocer si la precipitación registrada en la zona de estudio, en cada uno de los episodios de lluvia, es de carácter convectivo y en que grado. Así, un 26% de los días registrados en el periodo 1996-2000 han registrado $\beta > 0$. De éstos, un 66% han sido fuertemente convectivos ($\beta > 0.8$) en algún punto, un 32%, moderadamente convectivos ($0.3 < \beta < 0.8$) y tan sólo un 2%, débilmente convectivos. Es decir, en un 98% de los episodios, más de un 30% de la precipitación acumulada procedía de intensidades 5-min superiores a 35 mm/h. Las estaciones de verano y otoño son las que presentan un mayor grado de precipitación convectiva, con un 87% y 86% en valor medio en algún punto, respectivamente. El 39% de los días de lluvia de verano superan ese umbral de intensidad, frente a tan sólo el 14% de los días en invierno. De los 43 episodios de lluvias fuertes seleccionados, un 75% han sido fuertemente convectivos y el 25% restante, moderadamente convectivos.

Es posible dividir los episodios meteorológicos de lluvias fuertes, en subepisodios, de precipitación, imponiendo un tiempo sin precipitación superior a 1 h entre uno y otro. De aquellos subepisodios que duran menos de 6 h, en un 93% la precipitación convectiva se centra en una única zona, con un 67% de los casos fuertemente convectivos. En promedio se trata de episodios que duran unas 3 h y media. En un 50% de los subepisodios que duran entre 6 h y 72 h la precipitación convectiva afecta a menos de 3 zonas y un 13% a más de 5 zonas. En este caso se trata de episodios que duran en promedio más de 23 h. Finalmente, aquellos que duran más de 72 horas suelen afectar a 6 o más zonas, predominando las situaciones moderada y débilmente convectivas. En valor medio, su duración es de unos 4 días.

La distribución en superficie de la precipitación convectiva moderada y fuerte está, en general, muy bien correlacionada con las descargas eléctricas registradas en superficie. La comparación del campo de β estimado a partir de los pluviómetros con el estimado a través del radar corrobora la validez de la propuesta y apunta a considerar el umbral de 43 dBz como el más representativo para identificar la convección.

7.2. Conclusiones respecto a las estructuras convectivas en 2D

Se han identificado un total de 62.989 centroides de estructuras 2D, en el PPI más bajo, para el total de imágenes analizadas. La morfología cambiante de las estructuras de precipitación convectiva (interacción, fusión, formación, etc.) conlleva a que solamente puedan ser identificadas como tales 24.931, de las cuales sólo para el 30% se detecta una duración superior a 10 minutos. Del 70% restante, 37 de ellas superan los 200 Km², lo que indica que no son identificadas en todo su ciclo de vida (gran distancia del radar, fases no detectadas en 2D, ...).

En general presentan una reflectividad máxima inferior o igual a 45 dBz, aunque pueden superar los 60 dBz. El vil-grid tiende a ser más elevado cuanto mayor sea la estructura, si bien habitualmente no supera los 10 kg/m² y los valores de ecotop se sitúan entre 9 y 10 km. Para estructuras pequeñas (< 50 Km²) y breves (10 min), los valores típicos suelen ser inferiores a 45 dBz, 5 Kg/m² y 8 Km, respectivamente. Para estas últimas, un 98% de ellas no supera una precipitación acumulada en 10 min de 3 mm.

Las estructuras 2D detectadas sobre el mar tienden a tener un movimiento más lineal que las que se observan sobre tierra firme. Las pocas desviaciones que se aprecian se pueden deber, generalmente, a la interacción con otras estructuras próximas o bien a una variación en el flujo general en que se hallan. Si se detectan sobre tierra, la orografía altera el movimiento, provocando desviaciones o ralentización. El paso tierra-mar o viceversa suele dar lugar a una variación en el comportamiento y movimiento de la estructura.

Analizando el ciclo de vida normalizado respecto al valor máximo se obtiene que para todas las variables consideradas (área, ecotop, vil, reflectividad máxima y precipitación máxima estimada) la plena madurez tiene lugar a los 20 minutos, con un notable descenso de la probabilidad de que una estructura se desarrolle más allá de los 60 minutos. La duración media de las estructuras es de unos 30 minutos, con una duración máxima de casi 5 horas, mientras que solamente un 10% supera 1 h y un 0.24% las 3 horas.

La máxima distancia recorrida ha sido de 53 Km, mientras que el valor medio se sitúa cercano a los 4 Km. El desplazamiento puede ser en cualquier dirección, aunque predominan las direcciones O-E y SO-NE. Concluyendo, el desplazamiento de las estructuras de precipitación convectiva en 2D a lo largo de su ciclo de vida suele ser pequeño.

7.3. Conclusiones respecto a las estructuras convectivas

3D

Se han identificado un total de 8682 centroides considerando únicamente aquellas estructuras que se encontraban dentro de un rango inferior a los 140 Km respecto al radar. Ese número de centroides corresponde a 4704 estructuras 3D, de las cuales un 44.85 % presentaron una duración superior a los 10 minutos. Un 76 % de los centroides 3D fueron identificados sobre algún punto del territorio catalán, mientras que un 53 % afectaron a las CIC.

En el ciclo de vida de las estructuras 3 D hay que considerar los siguientes parámetros: el volumen, la reflectividad máxima, las alturas de la base, el centroide y la cima de la estructura, el VIL y la densidad de VIL. El desarrollo de un modelo de ciclo de vida celular contempla fases de debilitamiento y revitalización de la célula. La máxima actividad tiende a darse durante una de las dos primeras imágenes en las que se identifica una estructura 3D, produciéndose un notable decrecimiento en las imágenes posteriores.

La duración media de una estructura 3D es de unos 28 minutos, mientras que el máximo tiempo en el que se ha identificado a una misma estructura es de 90 minutos. De hecho, un 53 % no superan los 20 minutos, y el 93 % de ellas tienen una duración igual o inferior a la hora. Se concluye, pues, que lo más idóneo es que la predicción en 3D no supere 1 h de antelación. Las estructuras que superan 1 h presentan intensidades moderadas, normalmente están poco desarrolladas verticalmente (< 8 Km), su centroide se halla a una altura de unos 4 Km, y sus dimensiones horizontales no son muy grandes. Asimismo se observan tanto sobre el mar como sobre tierra, y si bien algunas siguen una trayectoria lineal, otras son más erráticas. No existe por tanto ninguna característica propia que ayude a predecir si la duración será superior o no a 1 h.

Por lo que se refiere al movimiento, la distancia máxima recorrida es de unos 106 Km siendo el valor medio de 15 Km. Un 95% tienen un desplazamiento entre los 10 y los 30 Km. Aunque se han identificado células con desplazamiento en cualquier dirección, predominan aquellas con movimientos de SE a NO (27%), E a O (23%) y S a N (16%), es decir, desde el mar hacia tierra. Por lo tanto, la dirección predominante coincide con la de las estructuras 2D.

7.4. Conclusiones respecto a las estructuras de precipitación

En este caso se considera tanto la parte convectiva de la estructura como la estratiforme, para lo cual se utilizan los algoritmos desarrollados en 2D. Se han identificado 167 estructuras de precipitación en las 5000 imágenes analizadas. Cada una de ellas está caracterizada por la fecha, el tipo de estructura principal detectada y el máximo de precipitación diario acumulado. A fin de poder caracterizar los sistemas que dan lugar a lluvias fuertes en la zona de estudio, se propone la siguiente clasificación:

- a) Sistemas convectivos mesoescalares (SCM), que a su vez se subdividen en lineales (TS y LS, según la parte estratiforme se sitúe en la parte trasera o en la delantera, respectivamente, y NS, sin apenas precipitación estratiforme), y en clusters (CLU).
- b) Sistemas multicelulares (MUL)
- c) Convección embebida en precipitación estratiforme (EST-EMB)
- d) Convección aislada (IND)
- e) Estratiformes (EST)

Las supercélulas no se incluyen por no disponer de imágenes doppler. El análisis muestra un predominio de las estructuras multicelulares y los SCM, con un 35% en ambos casos. Para el resto de las estructuras, se identificaron en un 19% las estructuras aisladas, un 10% de precipitación convectiva embebida en estratiforme y, finalmente, un 3% de estructuras estratiformes. En verano y otoño predominan estos dos tipos de estructuras, representando un 35% del total, en tanto que en invierno y primavera, sólo constituyen el 23% del total. En primavera, sin embargo, sólo se han registrado estructuras del tipo MCS-CLU, MCS-NS, MUL y EST, predominando las estructuras multicelulares.

7.5. Conclusiones acerca de los sistemas convectivos de mesoescala en Catalunya

El análisis de los SCM a partir de satélite y de radar, muestra que si bien es posible encontrar una cierta coincidencia en la localización según ambos sistemas, el radar presenta la ventaja de proporcionar información sobre la estructura tridimensional interior de las estructuras de precipitación. Consecuentemente se revela como una mejor herramienta para caracterizar el ciclo de vida de un SCM.

Capítulo 7: Conclusiones

En las estaciones de verano y otoño se ha registrado un promedio de 1.6 y 1.8 SCM, respectivamente, por episodio analizado, mientras que para las otras estaciones los valores son bastante inferiores. Esta variación se produce para todos los tipos de SCM. Predominan los MCS de tipo CLU en todas las estaciones del año, representando siempre más del 40%, y llegan en invierno a constituir el 67% del total. La falta de una organización de la convección dentro de CLU es una de las causas de que no sean estructuras generadoras de inundaciones súbitas. Asimismo los TS predominan frente a los LS en cuanto a porcentaje total, si bien se hallan concentrados entre junio y noviembre, con un máximo en septiembre. Cabe decir que la proporción de TS respecto al total de las estructuras organizadas linealmente (41 %), es inferior a la obtenida por Parker and Johnson (2000), donde se llegaba al 58%. Tales autores trabajaban, sin embargo, con un menor número de situaciones y centrados en una época del año.

El seguimiento de las estructuras de precipitación y, en particular, de los SMC, con un único radar está limitado por el rango de observación del mismo (hasta unos 240 km), y a menudo, parte de su ciclo de vida puede darse fuera del espacio de visión de la herramienta. Este es el aspecto más negativo del radar frente a otros sistemas de observación, como es el caso de los satélites. Así, aunque en un gran número de casos, el recorrido total no queda completamente reflejado dentro de la zona cubierta por el radar utilizado, las direcciones predominantes del movimiento de los SCM son: de O a E, de SO a NE y de S a N. Debido a la larga duración de los SCM, que excede a las 6 h e, incluso, a las 12 h, la frecuencia con que se detectan en los diferentes intervalos 6-horarios en que se puede dividir el día (00-06, 06-12, 12-18, y 18-24) apenas registra diferencias, con un máximo del 28% entre las 12 h y las 18 h, y un mínimo del 22% entre las 06 h y las 12 h. Para períodos horarios, existe un máximo absoluto alrededor de las 12 UTC, y varios máximos relativos (0, 3, 16 y 21 UTC), en tanto que la menor frecuencia se sitúa entre las 5 y las 9 UTC.

El tamaño medio de los SCM es de en unos 25.000 Km², en tanto que el máximo registrado fue de 69.000 Km². El valor medio del eje máximo es de unos 129 km, y el máximo fue de 195 Km. La reflectividad máxima es, en promedio, de 47 dBz, aunque se identificaron varios casos con valores por encima de los 64 dBz. La máxima altura a la que se superó el valor de los 18 dBz estuvo, en promedio, cercana a los 11 Km.

7.6. Conclusiones respecto al seguimiento y nowcasting

Dado que el ciclo de vida de una estructura convectiva 3D ha demostrado ser en numerosos casos inferior a 1 h, difícilmente el nowcasting en 3D va a poder superar este periodo. Asimismo, la predicción del movimiento de estructuras 2D va a estar vinculada a esta limitación al darle un peso sobre su movimiento a la componente 3D. Desde el punto de vista de las estructuras de precipitación, más duraderas, así como de la precipitación en superficie, la mejor estima de las zonas sujetas a precipitación convectiva y estratiforme permite una mejor aplicación del algoritmo propio de cada tipo de precipitación. La aplicación de diversos índices de acierto a la predicción de la precipitación en superficie en aquellos casos que afectaron a la cuenca del Besós, muestra buenos resultados, que son óptimos si nos referimos a la superación de diversos umbrales de alerta.

7.7. Conclusiones respecto a la termodinámica

El análisis de los radiosondeos de Barcelona, Palma de Mallorca, Murcia, Nimes y Zaragoza muestra que, en general, los más representativos para estos episodios son los dos primeros, lo que es coherente tanto por la cercanía a la zona afectada, en el primer caso, como por tratarse de episodios usualmente con flujo del SE en bajos niveles. Cabe decir, sin embargo, que en los episodios registrados en invierno el radiosondeo de Zaragoza aporta información respecto a la CAPE, pudiéndose registrar valores más altos que en Palma. Considerando el radiosondeo más próximo al periodo de máxima precipitación acumulada 12-horaria, así como el periodo que comprende 24 h antes y 12 h después, y refiriéndose a valores medios, la CAPE no alcanza los 380 J/kg en Barcelona, y los 680 J/kg en Palma, en tanto que el índice LI llega a ser de -2.5°C y de -0.8°C , en las dos estaciones respectivamente. Los valores extremos de ambas variables son de 2910 J/kg y 3785 J/kg, y de -10.2°C y -5.4°C , en Barcelona y Palma respectivamente. El valor de la CAPE sólo supera los 1500 J/kg en un 19 % de casos, en ambos puntos, en tanto que el LI es inferior a -3°C en un 79 % y un 19 % de los casos en las citadas estaciones.

Los valores más elevados de CAPE en esas dos estaciones se dan en otoño, estación para la que los valores medios son superiores a 800 J/kg en el caso de Palma, y a 300 J/kg, en el caso de Barcelona, en tanto que el LI muestra en esta localidad el valor medio más bajo en verano. Una posible interpretación sería el que la CAPE informa de una convección más extensa y organizada, en tanto que si bien el LI da cuenta de la inestabilidad vertical existente y de la

posible convección, más propia del verano, no así de su extensión e intensidad. Se trataría de un índice más local, lo que justificaría la discrepancia con Palma de Mallorca

El análisis termodinámico en relación con el tipo de episodios de lluvias fuertes muestra que los valores de CAPE y LI de Palma de Mallorca son más representativos que los de Barcelona, para aquellos casos muy intensos y extensos, y con precipitación acumulada superior a los 200 mm, con valores máximos de más de 1900 J/kg frente a 850 J/kg, y -3°C frente a -1°C . Cabe decir que en algunas de tales situaciones es posible que el radiosondeo de Barcelona no se haya podido concluir, pero también debe considerarse el contexto termodinámico favorable a la convección organizada y extensa, en el sector Mediterráneo noroccidental, centrado en las Baleares, como principal justificación. La misma situación se observa para el umbral de 100 mm y episodios extensos e intensos, con valores de más de 1700 J/kg frente a 1300 J/kg, y de -3.1°C frente a -4.8°C . Finalmente, para aquellos con elevada intensidad de lluvia horaria y/o extensos, pero que no llegan a acumular los 100 mm, los topes se hallan en 1400 J/kg y 1200 J/kg, respectivamente, siendo en todos los casos el LI inferior a 0.

Se concluye que si bien la CAPE es tanto mayor cuanto más intenso y extenso sea el episodio, con valores extremos de más de 2900 J/kg en Barcelona y de 3700 J/kg en Palma, no es posible imponer el umbral mínimo de 1500 J/kg para caracterizar todos los episodios de lluvias fuertes. En el caso del umbral impuesto al LI, el valor de -3°C en Barcelona, es aceptable en 79% de los casos, pero sólo se puede extender al 100% el valor de 0. La evolución del nivel de presión de la isocero, apunta a la entrada de aire cálido en niveles bajos. Finalmente, cabe decir que el hecho de que se obtengan valores altos de CAPE y LI en Palma, pese a que en general el episodio se centre en la parte peninsular, indica la necesaria existencia de otros factores para liberar la inestabilidad potencial.

7.8. Conclusiones respecto al análisis mesoescalar y la ciclogénesis

7.8.1. Análisis objetivo. Mesoescala- α

Para la detección de la posible relación entre ciclones mediterráneos y episodios de lluvias fuertes se ha recurrido a la base de ciclones desarrollada por el CMT de las Islas Baleares dentro del proyecto MEDEX, limitando el área a la comprendida entre 35°N y 45°N y -

5°E y 5°W, e imponiendo una extensión horizontal de radio superior a 100 km y vertical, desde superficie hasta 300 hPa. Se ha analizado tanto la existencia de precipitación condicionada por la presencia de un ciclón, como la presencia de un ciclón condicionada por el registro de un episodio de lluvias fuertes. De las 3654 franjas 6-h que comprende el periodo 1996-2000 se ha detectado un ciclón en un 9 % de las franjas, cuya presión media en superficie es de unos 1008 hPa. Exceptuando los episodios con precipitación inferior a los 35 mm, en que la mínima presión en el centro de la baja coincide con el periodo de máximas lluvias, en los restantes casos el mínimo se alcanza unas 6 h antes. No existe, sin embargo, un criterio que permita relacionar la profundidad de la baja con la precipitación registrada. Por otro lado, en un 60% de los episodios de lluvias fuertes se ha detectado la proximidad de una baja mediterránea. Respecto a la posición, en general la baja se sitúa próxima al golfo de Valencia, aunque también es posible encontrarla en el Mar de Alborán o en la costa catalana.

El reanálisis con el HIRLAM y el FNL ha mostrado que en el 52% de los episodios de lluvias fuertes se ha detectado un mesociclón en el Mar Balear, que tanto ha contribuido a reforzar el flujo cálido y húmedo del SE, como, en algunas ocasiones, a finalizar el episodio debido a su propio movimiento. A ello debe añadirse que en un 62% de los casos se ha detectado una onda secundaria, producida a veces por un efecto orográfico, que puede ser coetánea con la presencia de la baja. Debe destacarse que de los casos en que se han superado los 100 mm/24 h, un 53% estuvieron vinculados a un mesociclón, pero que si el umbral desciende hasta 90 mm, el porcentaje aumenta hasta el 83%. Para el umbral de 100 mm/24 h se detecta una onda secundaria en un 39% de los casos.

7.8.2. Análisis subjetivo. Mesoescala- β

Referido a los episodios de lluvias fuertes que afectaron a la cuenca del Besós, se observa siempre una baja mesoescalar al NO de Mallorca, que dirigía el flujo cálido y húmedo hacia la costa central, produciendo lluvias más cuantiosas cuanto más próxima a la costa catalana se encontrase. En estos casos la presión en su centro oscila entre 998 hPa y 1004 hPa, lo que muestra la importancia del reanálisis manual en el diagnóstico de estos episodios (la base MEDEX no detecta valores tan bajos).

El análisis conjunto de la información radar y los datos en superficie de que se dispone a través de las EMA's, permite identificar la existencia de una línea de convergencia, asociada a la baja mesoescalar y a su propio movimiento, bajo el SCM. Tal fue el caso del episodio de junio del 2000, en que fue la responsable de disparar la convección así como de la traslación del

sistema. Por otro lado, los campos de humedad y temperatura en superficie, muestran la existencia de valores máximos bajo el SCM, y, junto al viento, permiten identificar los flujos salientes así como la realimentación del sistema, e incluso, el movimiento ciclónico detrás del mismo asociado a la cúpula de aire frío que se forma bajo la tormenta. En el caso particular del episodio de enero de 1996, tanto la imagen radar, como el movimiento del sistema hacia la derecha del viento medio y la entrada de aire caliente por el flanco trasero derecho, apuntan a la formación de una estructura supercelular, con un eje de más de 40 km y una duración superior a las 5 h.

7.9. Síntesis de las conclusiones finales

Respecto a los objetivos planteados al inicio de la tesis se concluye:

1. Identificar y caracterizar los tipos de estructuras nubosas asociadas a precipitaciones intensas en las Cuencas Internas de Catalunya utilizando el radar meteorológico

Se ha propuesto la siguiente clasificación de las estructuras de precipitación a través del radar meteorológico: Sistemas convectivos mesoescalares (SCM), que a su vez se subdividen en lineales (TS, LS y NS) y en clusters (CLU); Sistemas multicelulares (MUL); Convección embebida en precipitación estratiforme (EST-EMB); Convección aislada (IND); y Estratiformes (EST). Existe un predominio de las estructuras multicelulares y de los sistemas convectivos mesoescalares (SCM), destacando en los meses de verano y otoño, que son además los que registran un mayor número de episodios de lluvias fuertes. A continuación se hallan las estructuras aisladas, la precipitación convectiva embebida en estratiforme y, finalmente, las estructuras estratiformes. No se descarta la formación de supercélulas, como muestra el caso del 28 de enero de 1996.

En aquellos episodios asociados a SCM, es usual que se desarrolle más de un sistema por episodio. Un ejemplo es el caso del 10 de junio de 2000. Predominan los MCS de tipo CLU y de los lineales, los TS. El tamaño medio de los SCM es de en unos 25.000 Km², en tanto que el máximo registrado fue de 69.000 Km². El valor medio del eje máximo es de unos 129 km, y el máximo fue de 195 Km. La reflectividad máxima es, en promedio, de 47 dBz, aunque se identificaron varios casos con valores por encima de los 64 dBz. La máxima altura a la que se superó el valor de los 18 dBz estuvo, en promedio, cercana a los 12 Km. La mayor frecuencia de MCS se detecta hacia las 12 UTC y primeras horas de la tarde. Suelen desplazarse de O a E, SO a NE y de S a N.

Capítulo 7: Conclusiones

2. Analizar la estructura de los sistemas convectivos con especial incidencia en la caracterización y ciclo de vida de las células convectivas

Se han identificado 24.931 estructuras convectivas 2D, que forman parte de alguna estructura de precipitación. Tanto por escaparse al rango de observación del radar, como por limitaciones en los algoritmos de detección, sólo un 30% se observa durante más de 10 minutos. En general presentan una reflectividad máxima inferior o igual a 45 dBz, el vil-grid tiende a ser más elevado cuanto mayor sea la estructura, si bien habitualmente no supera los 10 kg/m² y los valores de ecotop se sitúan entre 9 y 10 km.

Las estructuras breves (10 min) y pequeñas (< 50 km²) producen precipitaciones inferiores a los 5 mm y su desarrollo vertical no supera los 8 km. Sólo un 10% de las estructuras más longevas supera la duración de 1 h, y menos de un 1%, las 3 h, siendo su duración media de 30 min y alcanzando su madurez a los 20 min. A lo largo de su ciclo vital pueden desplazarse hasta más de 50 km, pero su desplazamiento medio es de unos 4 km, en general, paralelamente a la costa.

Se han identificado 4704 estructuras convectivas 3D de las cuales se puede asegurar que un 45% de ellas duraron más de 10 min. Sólo un 7% dura entre 1 h y 1 h y media, siendo su duración media de unos 30 min. Su máxima actividad se alcanza entre los primeros 10 y 20 min de vida. Son usuales valores de reflectividad máxima de unos 50 dBz e incluso superiores; valores de vil-cell cercanos a los 2 kg/m², aunque pueden llegar a 15 kg/m²; y altitudes del centroide próximas a los 2 km. No existe ninguna característica propia, ni en tamaño, ni en intensidad, que permita prever la duración de la célula. Los movimientos de las células son más erráticos que los de los sistemas 2D, pero pueden llegar a desplazarse longitudes superiores que las detectadas en 2D para el CAPPI más bajo. Así un 95% se desplaza entre los 10 y los 30 km.

3. Establecer una relación entre la estructura espacial del campo de precipitación en superficie y el volumen radar

Las estructuras habituales en los episodios de inundaciones suelen presentar una gran organización, facilitando la mayor duración de las células convectivas, además de su regeneración. La utilización de los algoritmos propuestos permite una mejor identificación de la zona con precipitación convectiva y, consecuentemente, una mejor aplicación de los algoritmos de transformación Z-R a los campos convectivo y estratiforme.

4. Analizar la estima del tipo de precipitación tanto desde el punto de vista del radar como de pluviómetros

La comparación con las imágenes radar así como con las descargas eléctricas, permite evaluar positivamente la identificación de la precipitación convectiva a partir de los pluviógrafos automáticos utilizando el parámetro β . Asimismo, la confrontación de los campos de precipitación convectiva estimados mediante el radar y los pluviógrafos, conduce a la selección del umbral de 43 dBZ como el más idóneo para la identificación de estructuras 2D con la metodología propuesta en esta tesis. En base a ello es posible afirmar que de los 43 episodios un 75% han sido fuertemente convectivos en algún punto de las Cuencas Internas de Cataluña y el 25% restante, moderadamente convectivos. Asimismo los episodios pluviométricos que duran menos de 6 h son en su mayoría fuertemente convectivos y locales, frente a aquellos que duran más de 72 h, que afectan a casi toda la región y son moderada o débilmente convectivos.

5. Identificar las zonas de las Cuencas Internas de Catalunya (CIC) más sensibles a la precipitación de intensidad elevada asociadas a los sistemas convectivos

La zona más afectada por episodios de lluvias fuertes es la parte septentrional de las CIC, destacando la zona pirenaica, en la que se registraron más de 100 mm en más de un 20% de los casos. Es importante subrayar que este tipo de episodios, aunque se produzcan en verano (estación más frecuente conjuntamente con el otoño), suelen desarrollarse dentro de un contexto propicio para que las lluvias afecten a una parte importante de la región de estudio.

6. Identificar y analizar meteorológicamente (con especial incidencia en los aspectos mesoescales) los diversos entornos favorables para la formación y el desarrollo de las estructuras convectivas

El entorno termodinámico muestra valores bajos de CAPE, que en término medio no llegan a 700 J/kg, si bien, excepcionalmente pueden superar los 3000 J/kg. Aunque la CAPE es tanto mayor cuanto más intenso y extenso sea el episodio, no es posible imponer el umbral mínimo de 1500 J/kg para caracterizar todos los episodios de lluvias fuertes. Se plantea la posibilidad de disminuir dicho umbral o de considerar toda la energía positiva. En el caso del umbral impuesto al LI, el valor de -3°C es más aceptable. Asimismo la CAPE se revela como una buena herramienta de diagnóstico para los casos de convección organizada, extensa e intensa, en tanto que el LI lo es para situaciones de convección más dispersa en un entorno más estable. La evolución del nivel de presión de la isocero, apunta a la entrada de aire cálido en niveles bajos. Finalmente, cabe decir que en la evaluación del contexto termodinámico

favorable a este tipo de episodios es muy útil disponer de los radiosondeos de Palma y Zaragoza, además del de Barcelona.

En más de un 60% de los casos se ha localizado una baja mesoescalar en el Mediterráneo, situada bien en el Mar Balear, bien en el Golfo de Valencia. Este porcentaje pasa a ser de más del 80% para aquellos episodios en que se superaron los 90 mm. Aunque del análisis objetivo se extrae un valor medio de 1004 hPa en el centro de la baja, el reanálisis en la mesoescala- β apunta a valores próximos a 1000 hPa. Usualmente la baja favorece la entrada de aire cálido y húmedo en bajos niveles, y en algunas ocasiones la formación de líneas de convergencia sobre las que se desarrollan los principales movimientos convectivos. Consecuentemente el movimiento de las principales estructuras de precipitación puede ir asociado a la traslación de la baja.

El análisis del campo de humedad, viento y temperatura en superficie, conjuntamente a la imagen radar, se ha revelado como una buena herramienta para identificar posibles supercélulas cuando no se dispone de imagen doppler. También es útil para determinar algunas características típicas de SCM, como pueden ser el embolsamiento de aire frío bajo la tormenta o los vórtices que genera la interacción del flujo saliente con el entorno.

7. Mejorar la predicción a muy corto plazo (“nowcasting”) del movimiento de las células y sistemas convectivos

El movimiento de los sistemas convectivos 2D se halla fuertemente vinculado tanto al de los 3D, así como al balance entre las direcciones de propagación y desplazamiento. Aquellos casos en que los sistemas 2D eran cuasiestacionarios estaban vinculados a la presencia de trenes convectivos, o bien al desplazamiento de las células 3D en el seno del sistema 2D, en direcciones divergentes con respecto a éste.

El “nowcasting” de los sistemas convectivos 2D y 3D se ha mejorado imponiendo la influencia del movimiento en 3D sobre el 2D, y teniendo en cuenta el ciclo de vida de las estructuras. La duración de las mismas, usualmente inferior a 1 h, limita la aplicación a este intervalo. No así en el caso de los sistemas de precipitación, más duraderos y para los que se ha aplicado otro algoritmo válido para las 3 h, y cuyo interés radica no tanto en la predicción cuantitativa exacta, sino en la predicción de la probabilidad de superación de un umbral de peligro.

8. Selección, adaptación y desarrollo de las herramientas informáticas necesarias para la identificación y “nowcasting” de sistemas y células convectivas así como de la introducción del análisis termodinámico y mesoescalar

Se han desarrollado en lenguaje IDL las herramientas informáticas necesarias para el tratamiento de las imágenes radar, desde la visualización de sus productos hasta su análisis meteorológico, teniendo siempre presente su aplicación en el campo operativo. Estas herramientas contemplan la mejora de los métodos de identificación de estructuras convectivas 2D y 3D que existen en la bibliografía, imponiendo condiciones desarrolladas por el autor. Incluyen además la integración de ambas estructuras, la identificación y clasificación de estructuras de precipitación y el seguimiento y nowcasting de todas ellas, con una metodología desarrollada en gran parte en esta tesis. Como herramientas anejas se han desarrollado los programas para análisis de la precipitación 5-minutal a partir de los datos SAIH, así como para el análisis mesoescalar a partir de los datos de las estaciones automáticas de la XAC, pudiéndose implementar otras redes.