

Estudio de un evento de convección intensa

ASOCIADA A UNA POSIBLE SUPERCÉLULA EN CALANDA (TERUEL), EL 22 DE JUNIO DE 2014

RAMÓN PASCUAL BERGHAENEL (AEMET BARCELONA), ISMAEL SAN AMBROSIO BEIRÁN (AEMET ZARAGOZA), GABRIELA CUEVAS TASCÓN (AEMET BARCELONA)

Introducción

Durante la tarde del día 22 de junio de 2014 hubo una fuerte tormenta en las proximidades de la localidad turolense de Calanda (Bajo Aragón), que dio lugar a una fuerte granizada. El hecho más singular de este caso es que la tormenta fue muy probablemente de tipo supercelular, a juzgar por la interpretación de los productos radar disponibles durante el episodio.

Las supercélulas son las estructuras convectivas con un grado de organización interno más elevado, lo cual conlleva mayor duración de la tormenta (entre 2 y 3 horas) y, con mucha frecuencia (90%), presencia de uno o varios fenómenos severos en superficie: granizo de diámetro superior a 1.9 cm, rachas máximas de viento con velocidad superior a 100 km/h y/o tornados de variada magnitud (Burgess y Lemon, 1990, 1991). Además van acompañadas de frecuentes y abundantes descargas eléctricas (más de 200 descargas intranube por minuto), siendo mucho más numerosas las descargas nube-tierra positivas que las negativas, y en ocasiones, llevan asociadas precipitaciones cuantiosas de elevada intensidad (Quirantes, 2008; Quirantes *et al.*, 2014).

El diagnóstico de una célula convectiva como supercélula (de alguno de sus tipos) se realiza a partir básicamente de dos clases de observaciones: visual y radárica, siendo considerada la identificación de un mesociclón en las imágenes radar de viento Doppler como el elemento definitivo para “certificar” la presencia de una supercélula, siempre que dicho mesociclón tenga las dimensiones y duración suficientes (de 3 a 10 km de anchura, con forma cilíndrica y una duración de 20 minutos aproximadamente) (Browning, 1964, 1977; Doswell y Burgess, 1993). En cuanto a los aspectos visuales relativos a esta estructura convectiva es interesante ver el video: <https://www.youtube.com/watch?v=eLWc-kGA7qY>. En éste se puede apreciar a la derecha lo que sería el *Forward Flank Downdraft* (FFD), así como la base nubosa del mesociclón en rotación, de la cuál en algún momento parece desprenderse otra estructura típica de las supercélulas, la *Wall Cloud*.

La identificación temprana de una supercélula e incluso la caracterización de un entorno sinóptico y mesoscalar como favorable al desarrollo de supercélulas, son herramientas imprescindibles para la predicción de este tipo de tormentas y la consecuente emisión de avisos de fenómenos meteorológicos adversos por tormenta y/o precipitaciones fuertes (Davies-Jones *et al.*, 1990; Gilmore y Wicker, 1998).

Resumen de fenomenología asociada

La tormenta, con una trayectoria de suroeste a noreste, no provocó daños graves. Afectó principalmente a las localidades de Crivillén, Calanda y Castelserás (municipios del Bajo Aragón). No obstante, según la prensa, Crivillén fue “barrido” por el granizo y la lluvia, dejando muchas viviendas inundadas y múltiples destrozos en la huerta y en los árboles. También se reportó granizo en Calanda y Castelserás, aunque no afectó a la huerta calandina. A su paso por Alcañiz, la tormenta descargó lluvia fuerte aunque sin granizo. También hubo chubascos débiles en Mas de las Matas, Samper de Calanda y Maella, y en Montalbán (comarca de Cuencas Mineras) se produjo un incendio por el impacto de un rayo.

El granizo reportado en Calanda tenía aproximadamente el tamaño de una moneda de uno o de dos euros (2 cm de diámetro). Según datos de la red de estaciones automáticas (EMA) de AEMET, en Calanda se recogieron 13,6 mm entre las 15:20 y las 16:20 UTC, de los cuales 8 cayeron en 10 minutos (intensidad muy fuerte). En Alcañiz tan sólo se registraron 0,2 mm en 10 minutos. Según datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro, en una hora se recogieron 9,6 mm en Gallipuéen (de 14 a 15 UTC), 8,4 mm en el Embalse de la Estanca (de 16 a 17 UTC) y cantidades inferiores a 5 mm en Azud de la Estanca y Santa Bárbara.

En cuanto al viento, hubo rachas de hasta 67 km/h en Calanda al paso de la tormenta (a las 16:10 UTC); en Alcañiz el viento alcanzó una velocidad de 31 km/h. Por otra parte, se detectaron en un radio de 15 km en torno a Calanda hasta 51 descargas (red de detección de rayos de AEMET), entre

las 15 y las 17 UTC. Entre éstas, la proporción de rayos positivos fue elevada (23 descargas positivas).

Para completar los datos de precipitación aportados por las redes de estaciones automáticas, se muestra en la Fig. 1 la imagen de acumulación hexahoraria del radar de Zaragoza de las 18:00 UTC. En ella se distingue un área con un máximo muy marcado entre Montalbán, Andorra, Calanda y Alcañiz. Los valores que se aprecian cerca de Calanda están comprendidos entre los 10 y los 20 mm, valores que se corresponden con una buena precisión con el registro de la EMA de Calanda (13.6 mm).

Análisis sinóptico y mesoscalar

La situación sinóptica a las 12 UTC del día 22 de junio de 2014 estaba definida, según los análisis del modelo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio (CEPPM), por la presencia de una baja fría centrada unos 1000 km al oeste-noroeste de Lisboa (Fig.2). En 500 hPa, la temperatura era de -19°C en el centro de la baja.

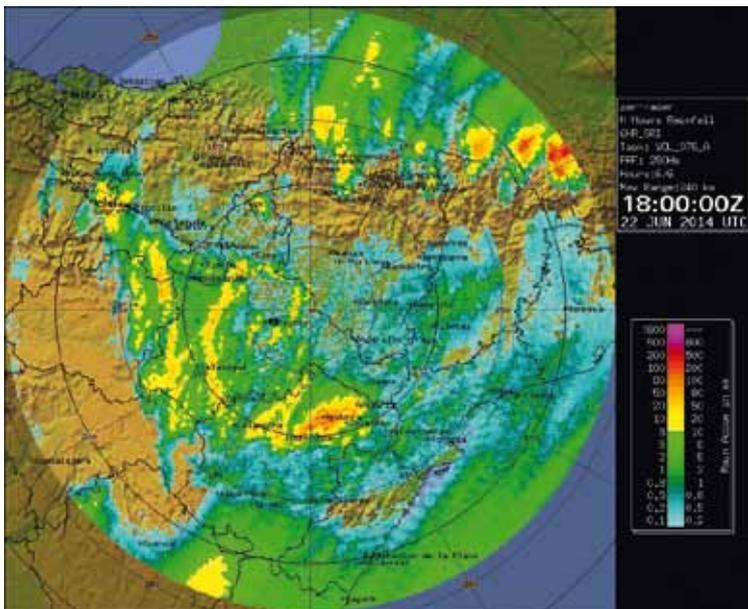


Figura 1. Imagen de acumulación en 6 horas del radar de Zaragoza, del día 22/06/2014 a las 18:00 UTC.

Aragón quedaba bajo un flujo del SSW moderado a fuerte en 500 hPa, muy ligeramente difluente y bajo la isoterma de -15°C a ese nivel. El máximo de viento en 300 hPa estaba bastante alejado hacia el sur, sobre el occidente de Marruecos.

En 850 hPa, lo más destacable era la dorsal cálida que se extendía desde el norte de África hasta los Alpes, abarcando todo el Mediterráneo Occidental, con su eje principal situado entre Túnez y los Alpes Occidentales. Se aprecia una dorsal mesoescalar, como un ramal de la primera, que se alargaba con valores del orden de unos 18°C , entre Baleares, la Depresión del Ebro y el Pirineo Central (figura 4). La diferencia de

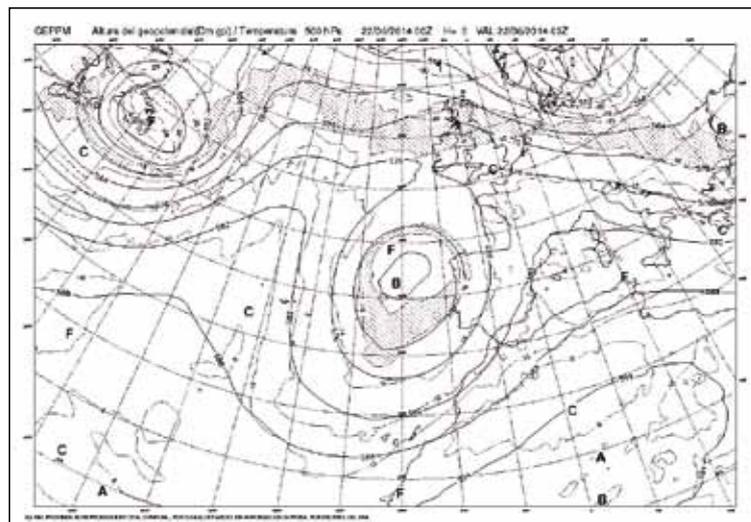


Figura 2. Análisis de altura geopotencial (Z) (líneas continuas) y temperatura (T) (líneas de puntos) a 500 hPa a 12 UTC del 22/06/2014. Modelo del CEPPM.

temperatura entre 500 y 850 hPa era de 33°C , valor elevado, indicativo de una notable inestabilidad en la estratificación. A escala sinóptica y según el análisis del modelo numérico, el índice Total de Totales (TT) tenía valores ligeramente superiores a 50 en una amplia zona que cubría el nordeste peninsular y parte del Mediterráneo Occidental (Fig.4). En el valle del Ebro alcanzaba el valor 51, indicativo de una moderada-fuerte inestabilidad.

El radiosondeo de Zaragoza de las 12 UTC mostraba un perfil bastante estable y relativamente seco, aunque sin ninguna inversión de temperatura. Algunos índices de estabilidad clásicos tenían los siguientes valores, que denotaban una inestabilidad moderada: Lifted Índice (LI) = 1.3, TT = 47 e índice K= 27. La energía convectiva potencial disponible (CAPE) valía 0 para partículas elevadas desde la superficie en Zaragoza, a poco más de 100 m de altitud. Se debe señalar, sin embargo, que durante esa tarde las tormentas de primera generación se formaron en el norte de la provincia de Teruel, a distancias del orden de 80-100 kilómetros del emplazamiento de la estación de radiosondeo y a altitudes superiores a los 800 m.

Se puede considerar, por lo tanto, que dicho radiosondeo no era representativo de la zona de origen de la convección, aunque en los sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 (con una resolución de 15 km en la horizontal) para puntos próximos a donde se desarrolló la tormenta (Fig. 3) sí que se aprecia una marcada inestabilidad a juzgar por los valores de algunos índices, destacando en especial los intensos valores de CAPE (932 J/Kg y 850 J/Kg) en los dos sondeos, así como una importante cizalladura del viento en niveles bajos. La fecha y el lugar donde surgieron los primeros núcleos sugieren que el terreno a cierta altitud y caldeado actuó como una fuente elevada de calor (Banta, 1990).

El campo de presión en superficie a 12 UTC mostraba una extensa área de bajas presiones relativas (1016 hPa) que abarcaba todo el Mediterráneo Occidental, la península Ibé-

Estudio de un evento de convección intensa

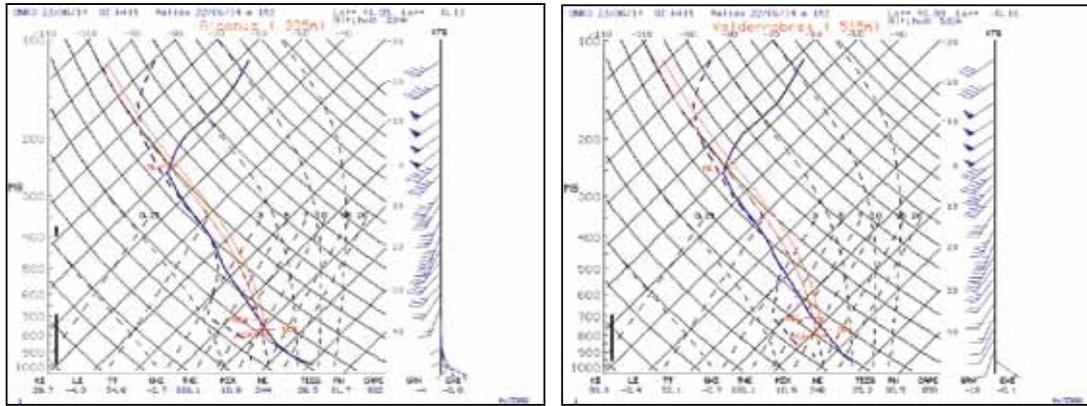


Figura 3. Sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 para las localidades de Alcañiz (izquierda) y de Valderrobres (derecha), próximas a la zona de estudio, a las 15 UTC (pasada de las 00 H+15) del 22/06/2014.

rica y el área atlántica colindante, bajo el núcleo depresionario en niveles medios y altos. A mesoscala existía un mínimo de presión de 1015 hPa sobre el valle del Ebro, sin duda de origen térmico. Este mínimo de presión, de escasa entidad (Fig.4), era, sin embargo, capaz de generar una débil zona de convergencia del viento en superficie (Álvarez *et al.*, 2011).

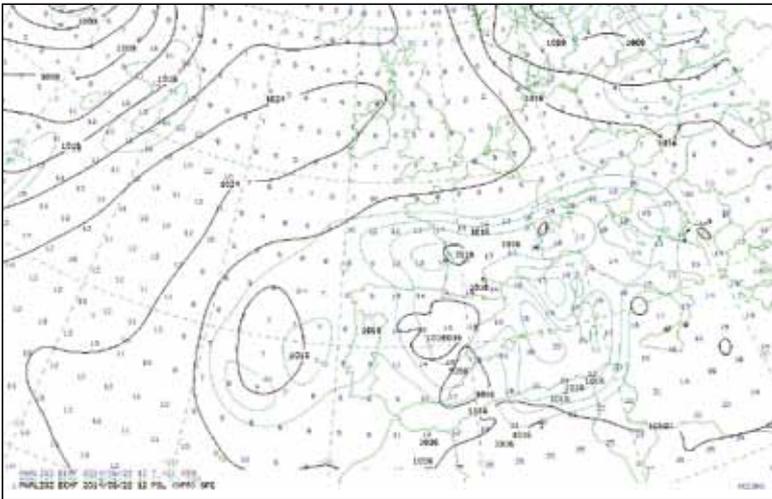


Figura 4. Análisis de presión en superficie (líneas negras), índice TT (líneas azules) y temperatura en 850 hPa (ploteo azul) a 12 UTC del 22/06/2014. Modelo del CEPPM.

Análisis general de las estructuras convectivas

En la imagen del canal visible de alta resolución (HRVIS) del MSG3 de las 12 UTC (no mostrada) se observa abundante nubosidad convectiva somera en el norte de la provincia de Teruel y cielos despejados en el centro del valle del Ebro, corroborando lo dicho respecto al papel del primer sector como fuente elevada de calor. A las 12:30 UTC ya aparece la primera señal de convección profunda sobre la comarca de Matarra-

ña, en el límite entre la provincia de Teruel y la de Tarragona. Esta primera tormenta se trasladó hacia el NNE sin afectar al área de Calanda.

La nubosidad cumuliforme en el norte de la provincia de Teruel siguió ganando extensión y profundidad con el tiempo. Aunque los núcleos maduros se trasladaban lentamente

hacia el NNE, con el flujo de SSW de niveles medios (700-500 hPa), las células nuevas se formaban siempre sobre una misma área, aproximadamente lineal, con orientación NW-SE. A partir de las 15:00 UTC se conforma claramente un núcleo cumuliforme muy compacto que va a persistir hasta más allá de las 17:00 UTC. En él se aprecia su carácter intenso por la presencia de *overshootings* y además, como se ve en la imagen de las 15:45 UTC (Fig. 5) se observa la presencia de una *flanking line* muy bien definida, que es un tipo de estructura nubosa asociada habitualmente al desarrollo de supercélulas (Markowski y Richardson, 2010; Quirantes *et al.*, 2014).

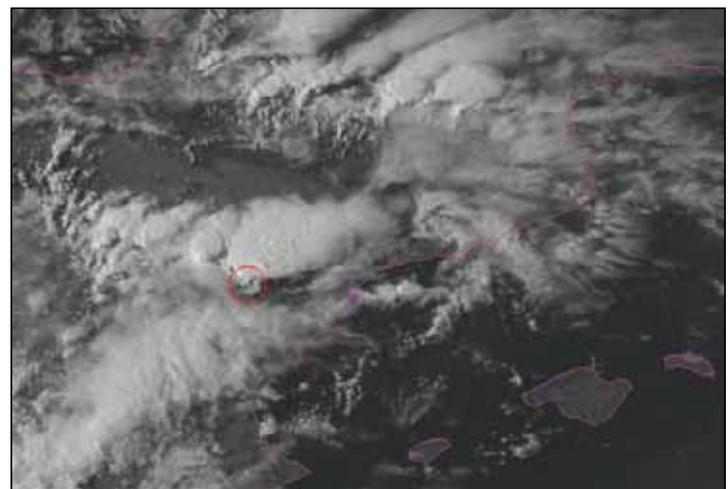


Figura 5. Imagen del canal HRVIS del satélite MSG del día 22/06/2014 a las 15:45 UTC. Se observa la estructura nubosa supercelular y la *flanking line* asociada a la misma (círculo rojo).

En la imagen radar del PPI de reflectividad de las 13:50 UTC del radar de Zaragoza aparecen los primeros ecos de precipitación en el norte de Teruel, que posteriormente evolucionarían y darían lugar al nacimiento de núcleos convectivos más grandes, profundos y organizados en el caso de la supercélula de estudio.

Se superan los 54 dBz en dos estructuras convectivas independientes a las 14:20 UTC, 30' después de las primeras señales y solamente 10' más tarde ya se superan los 60 dBz, valor que sugiere la posible presencia de granizo. A las 14:40



Figura 6. Imagen del PPI de Reflectividad del día 22/06/2014 a las 14:40 UTC.

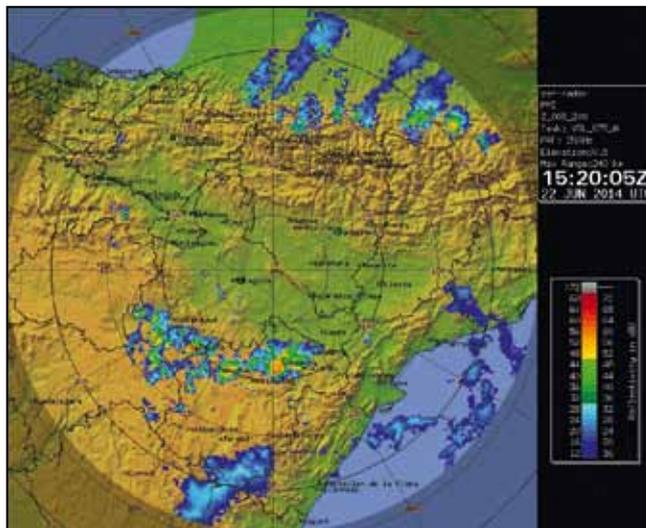


Figura 7. Imagen del PPI de Reflectividad del día 22/06/2014 a las 15:20 UTC.

UTC existen, sobre una línea mesoscalar de unas decenas de kilómetros de largo, orientada WSW-ENE, tres células convectivas principales en las que se superan los 55 dBz, siendo la más oriental la que tiene los valores más elevados de reflectividad (65 dBz) (Fig. 6). La línea, asociada a una zona de convergencia mesoscalar en niveles bajos, se traslada lentamente hacia el NNE, al tiempo que se alarga hacia el oeste mediante la aparición de nuevas células. Entre las 14:40 y las 15:10 UTC se mantienen 4 células individualizadas sobre la línea de convergencia (aunque la célula más oriental ha sufrido *splitting*) pero a las 15:20 UTC se produce la fusión de las dos células más orientales (Fig. 7), formando una estructura de mayores dimensiones horizontales.

A partir de las 15:20 UTC, los valores de reflectividad en el PPI más bajo van disminuyendo progresivamente hasta el punto de que la célula situada en el centro de la línea se extingue, quedando a las 15:30 UTC solamente la gran estructura del extremo oriental de la línea y una más pequeña situada en el extremo occidental. Estas dos estructuras van a perdurar por lo menos hasta las 16:50 UTC, cuando los valores de reflectividad son ya inferiores a los 45 dBz. En ese momento, ambas estructuras están penetrando por el sur de la provincia de Zaragoza.

Como resumen de este apartado, señalemos que se observan en el norte de la provincia de Teruel desarrollos convectivos entre las 14:00 UTC y las 16:50 UTC, es decir, durante unas 3 horas, de limitada extensión pero con valores de reflectividad muy elevados (> 65 dBz) durante algunos periodos de sus ciclos de vida.



Figura 8. Máximos y perfil vertical de Reflectividad del radar de Zaragoza. 22/06/2014 a 15:20 UTC.

Análisis detallado de la supercélula de Calanda

A continuación se analizan ciertas imágenes del radar de Zaragoza en las que se puede observar un grado de organización muy alto en la estructura convectiva que nos ocupa y que podría ser un claro indicio de su carácter supercelular (Martín *et al.*, 2001, 2002).

En primer lugar, se puede ver en las imágenes de Máximos de Reflectividad radar en paneles entre las 14:30 y las 16:30 UTC, que en las estructuras convectivas situadas al

Estudio de un evento de convección intensa

nordeste de la provincia de Teruel (entre Montalbán, Andorra y Calanda) se aprecia la marcada extensión vertical de las mismas. Éstas estructuras muestran valores intensos de reflectividad a mucha altura, además de una fuerte inclinación en la vertical, la presencia de una zona abalconada y su correspondiente RED (Región de Eco Débil) en niveles bajos. Esta zona abalconada, visible a partir de las 15:00 UTC, parece tener incluso la forma de gancho en la vertical (ver la imagen de las 15:20 UTC, Fig. 8), definiendo a su vez una REDA (Región de Eco Débil Acotado), patrones típicamente asociados a la presencia de supercélulas (Lemon y Doswell, 1979; Martín *et al.*, 2002).

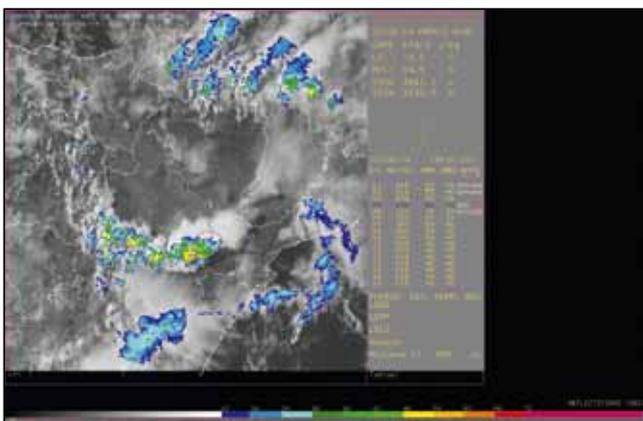
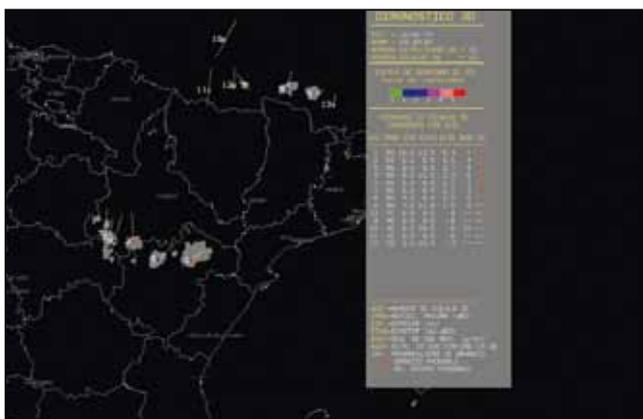


Figura 9. Imágenes de la aplicación YRADAR del día 22/06/2014 a las 15:20 UTC, salida del módulo de diagnóstico 2D (arriba) y del módulo de diagnóstico 3D (abajo).



Es ilustrativo ver también algunas imágenes de los módulos 2D y 3D de la aplicación YRADAR (San Ambrosio, 2011). En este caso se puede apreciar, por un lado, en las imágenes del módulo 2D entre las 14:30 y las 16:30 UTC, la formación de una estructura convectiva (estructura nº 1 en la figura 9, imagen de las 15:20 UTC) de considerable tamaño en el nordeste de la provincia de Teruel, con valores intensos de reflectividad (por encima de los 60 dBz en casi todo el intervalo), que parece ir adoptando una forma de gancho (se aprecia mejor en la imagen de las 15:50 UTC, aunque no se presenta).

Por otro lado, en las imágenes del módulo 3D (Fig. 9) se puede constatar la intensidad de esta célula convectiva (célula nº 1), ya que presenta también valores máximos de reflectividad muy próximos o superiores a 60 dBz, valores de DVIL (Vertical Integrated Liquid Density) muy elevados, posible indicio de la severidad de la convección (Amburn y Wolf, 1997), un espesor de la célula de 10 km así como un *echotop* celular superior a 12 km para un umbral de 12 dBz. Además, el módulo de granizo (San Ambrosio, 2005; San Ambrosio *et al.*, 2007) la caracteriza con probabilidad de dar granizo severo. Así mismo, la aplicación YRADAR es capaz de hacerle el seguimiento y extrapolación durante un intervalo de tiempo considerablemente largo. Además, en su movimiento, se aprecia que dicha célula, a partir de las 15:10 UTC, gira de manera clara a la derecha del flujo principal, para desplazarse hacia el ENE. Esta célula sería, por lo tanto, una típica *Right Mover* o *Right Moving Supercell* (Markowski y Richardson, 2010).

Finalmente, en las imágenes de viento radial Doppler entre las 14:46 y las 15:06 UTC se observa que en la zona donde se sitúan las células convectivas más intensas aparecen unas singularidades o patrones anómalos en el campo de viento radial que pueden asociarse a circulaciones especiales dentro de las estructuras convectivas. En especial, en la imagen de las 15:06 UTC (Fig. 10), se observa claramente que este patrón se corresponde perfectamente con el modelo conceptual de circulación mesociclónica característico (Martín *et al.*, 2001) que permite constatar la presencia de una supercélula.

Conclusiones

La tormenta que afectó a varias localidades de la comarca del Bajo Aragón y colindantes durante la tarde del 22 de junio de 2014, se formó en un ambiente sinóptico y mesoscalar favorable al desarrollo de convección profunda y muy organizada. Los ingredientes fueron: un flujo del SW en niveles medios, ligeramente difluente, una zona de convergencia mesoscalar en niveles bajos e inestabilidad entre moderada y fuerte, surgida de la presencia de bajas temperaturas en 500 hPa (-15°C) y altas en 850 hPa (18°C), asociadas a una dorsal cálida mediterránea, así como una marcada cizalladura del viento en niveles bajos.

El principal mecanismo de disparo de la convección estuvo asociado a la presencia de una línea mesoscalar de convergencia cuya existencia ha sido inferida indirectamente a partir de la interpretación de las imágenes radar. Por supuesto, la interacción entre células maduras (con sus frentes de racha asociados) y la propia línea de convergencia dio lugar a la formación de células de segunda generación.

El análisis detallado de imágenes de satélite y radar, tanto de reflectividad como de viento radial Doppler, muestra la evolución de dicha línea de tormentas con un cierto gra-

Bibliografía

- ▶ Álvarez, E., Espejo, F., Cortés, F.J., Lafragüeta, C. y R. Serrano, 2011. Caracterización sinóptica de los procesos convectivos en el interior del nordeste peninsular. Nota Técnica 3 de la Delegación Territorial de Aragón. Agencia estatal de Meteorología. NIPO: 784-11-008-8.
- ▶ Amburn, S. A. and P. L. Wolf, 1997. VIL Density as a Hail Indicator. *Wea. and Forecasting*, 12, 473-478.
- ▶ Banta, R. M., 1990. The role of mountain flows in making clouds. En W. Blumen (Ed). *Atmospheric processes over complex terrain*. Boston: American Meteorological Society.
- ▶ Browning, K. A., 1964. Airflow and precipitation trajectories within severe local storms which travel to the right of the winds. *J. Atmos. Sci.*, 21, 634-639.
- ▶ Browning, K. A., 1977. *The structure and mechanism of hailstorms*. Meteor. Monogr, 38, 1-39.
- ▶ Burgess, D. W., and L. R. Lemon, 1990. Severe thunderstorm detection by radar. Radar in Meteorology, D. Atlas, Ed., American Meteorological Society, Boston, MA, 619-647.
- ▶ Burgess, D. W. and L. R. Lemon, 1991. Characteristics of mesocyclones detected during a NEXRAD test. Preprints, 25th Int. Conf. on Radar Meteorology, Paris, France, Amer. Meteor. Soc., 39-42.
- ▶ Davies-Jones, R., D. Burgess and M. Foster, 1990. Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kananaskis Park, Alta., Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
- ▶ Doswell, C. A. III y D. Burgess, 1993. Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models. *The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction and Hazards*, Geophys. Monogr., No. 79, American Geophysical Union, 161-172.
- ▶ Gilmore, M. S. and L. J. Wicker, 1998. The influence of midtropospheric dryness on supercell morphology and evolution. *Mon. Wea. Rev.*, 126, 943-958.
- ▶ Lemon, L. R. and C. A. III Doswell III, 1979. Severe thunderstorm evolution and mesocyclone structure as related to tornadogenesis. *Mon. Wea. Rev.* 107 (9): 1184-97.
- ▶ Markowski, P. and Y. Richardson, 2010: *Mesoscale Meteorology in Midlatitudes*. Wiley-Blackwell.
- ▶ Martín, F., F. Elizaga, O. Carretero e I. San Ambrosio, 2001. Diagnóstico y Predicción de la Convección Profunda. Nota Técnica del STAP nº 35. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología.
- ▶ Martín, F. y O. Carretero, 2001: Análisis de estructuras y células convectivas mediante datos de radar regional: aplicación YRADAR ver. 2.0. Mayo 2001, Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología.
- ▶ Martín, F., I. San Ambrosio y O. Carretero, 2002. Supercélula severa en el área mediterránea. Nota Técnica STAP nº 37, Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología.
- ▶ Quirantes, J. A., 2008. Nociones básicas sobre supercélulas. <http://www.divulgameteo.es/uploads/Supercélulas.pdf>.
- ▶ Quirantes, J.A., Riesco, J. y J. A. Núñez, 2014. Características básicas de las supercélulas en España. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología.
- ▶ San Ambrosio, I., 2005. Módulo para la estimación de granizo basado en datos radar. Nota Técnica STAP nº 44. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología.
- ▶ San Ambrosio, I., Martín, F. and F. Elizaga, 2007: Development and behaviour of a radar-based operational tool for hailstorm identification. *Atmospheric Research*, 83, 306-314.
- ▶ San Ambrosio, I., 2011. Aplicación para la caracterización objetiva de estructuras y células convectivas mediante radar regional. ATAP. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología.

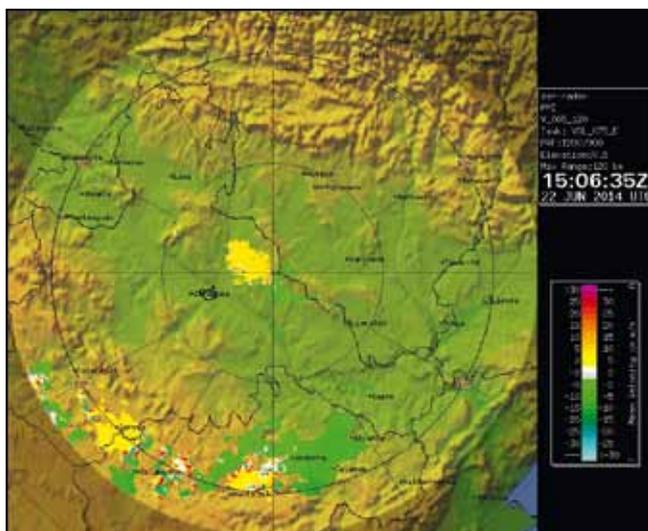
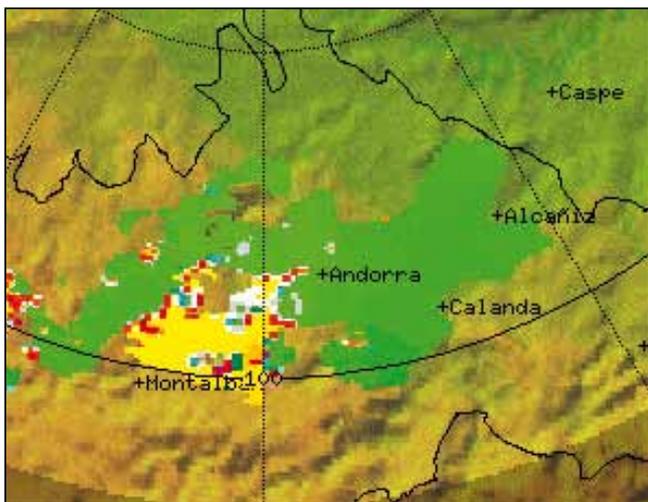


Figura 10. Imagen de viento radial del radar de Zaragoza del día 22/06/2014 a las 15:06 UTC (arriba), y detalle de la posible estructura que constituye el mesociclón (abajo).



do de organización, trasladándose lentamente hacia el NNE, y sobre todo la presencia, en su extremo oriental, de un estructura convectiva de mayores dimensiones horizontales y verticales que mostraba una formas tanto en 2D como 3D características de las llamadas supercélulas: forma abalconada, gancho, región de eco débil y región de eco débil acotado. Además, esta célula tenía valores de DVIL elevados. En las imágenes de viento radial Doppler se observa en la célula convectiva analizada la estructura típica que denota la existencia de un mesociclón, que confirmaría el carácter supercelular de la tormenta.

La tormenta tuvo como efecto más significativo en superficie alguna racha fuerte de viento, algún chubasco localmente muy fuerte y, sobre todo, una granizada severa en las localidades de Calanda y Crivillén, aunque, sin embargo, no hay constancia de que se produjese ningún tornado.