

INFORME SOBRE LAS RACHAS DE VIENTO MUY INTENSO ASOCIADAS A LA CONVECCIÓN PROFUNDA Y MUY ORGANIZADA DEL DÍA 9 DE JUNIO DE 2014 EN ERLA Y LUNA (ZARAGOZA)

Ismael San Ambrosio Beirán

Jefe de la Unidad de Estudios y Desarrollos de
La Delegación Territorial de AEMET en Aragón



ÍNDICE

1. Introducción.....	2
2. Situación sinóptica.....	4
3. Situación mesoescalar y entorno preconvectivo.....	7
4. Imágenes de satélite.....	18
5. Imágenes radar y descargas eléctricas.....	20
6. Datos observados de la red de EMAS.....	31
7. Conclusiones.....	38
8. Bibliografía.....	39
9. Agradecimientos.....	40

1. INTRODUCCIÓN

Durante la tarde del lunes 9 de junio de 2014 se desarrollaron una serie de líneas de turbonada, sistemas convectivos formados por tormentas organizadas en línea, que se iniciaban en la zona S de la provincia de Zaragoza (área de la Cordillera Ibérica y valle del Jalón). Mientras estas líneas se mantuvieron casi estacionarias, las tormentas dentro de las mismas se desplazaban hacia el N, bajando hacia el valle del Ebro para luego remontar hacia los Pirineos atravesando la comarca de las Cinco Villas.

Una de estas tormentas, especialmente intensa es la que entre las 18:00 y las 18:20 hora local (16:00 y 16:20 UTC) afectó con vientos muy fuertes a las localidades de Erla y Luna, en la comarca de Las Cinco Villas (Zaragoza), produciendo daños importantes en naves agrícolas e industriales, en arbolado de la zona y en una central fotovoltaica en el municipio de Luna (ver figuras 1 y 2). Algunos de estos daños tuvieron su repercusión en determinados medios de comunicación (Heraldo de Aragón, por ejemplo), y todos ellos están debidamente documentados en los correspondientes informes periciales elaborados para el Consorcio de Compensación de Seguros por los peritos D. Jorge Cáncer Marín y D. Salvador Castán Bañeras.



Figura 1. Noticia en periódicos, arriba. Situación del municipio de Erla, abajo (fuente: Internet y wikipedia)

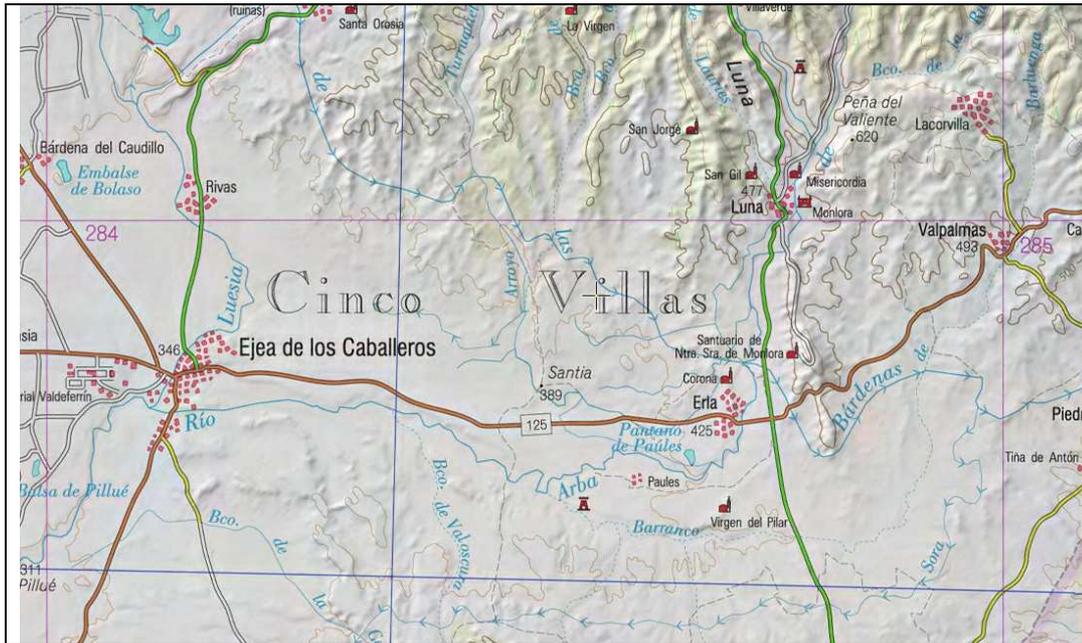


Figura 2. Situación de la zona más afectada entre los municipios de Esla y Luna (fuente: SIGPAC)

El presente informe pretende analizar la situación meteorológica en la que se desarrolló el fenómeno, describir la variabilidad espacial de la intensidad de los efectos adversos observados en superficie, y esclarecer en la medida de lo posible la naturaleza del fenómeno convectivo que causó los principales daños. No se hace ninguna valoración ni descripción de los mismos, que quedan perfectamente descritos en los documentos periciales antes mencionados. Durante todo el informe, y si no se dice lo contrario, se utilizará la hora UTC. La hora local u oficial se obtiene sumando dos horas a ésta.

2. SITUACIÓN SINÓPTICA

Se va a comentar brevemente la situación sinóptica del día 9 de junio en torno a las 18 UTC, momento cercano al cual se produjeron los fenómenos que nos ocupan en este informe. En 500 hPa (figura 3) aparecía una vaguada situada al NW de la Península con varios núcleos de aire frío (entorno a los -20°C). Esta vaguada durante la primera parte del día se fue inclinando tomando su eje una orientación NW - SE a las 18 UTC, a la vez que se iba desplazando lentamente. A partir de estos momentos su movimiento se acelera y se mueve con rapidez hacia el N, para afectar a las islas Británicas. Prácticamente toda la Península y en especial su mitad E, quedan situadas en la zona delantera de esta vaguada, en una zona de convergencia de vientos.

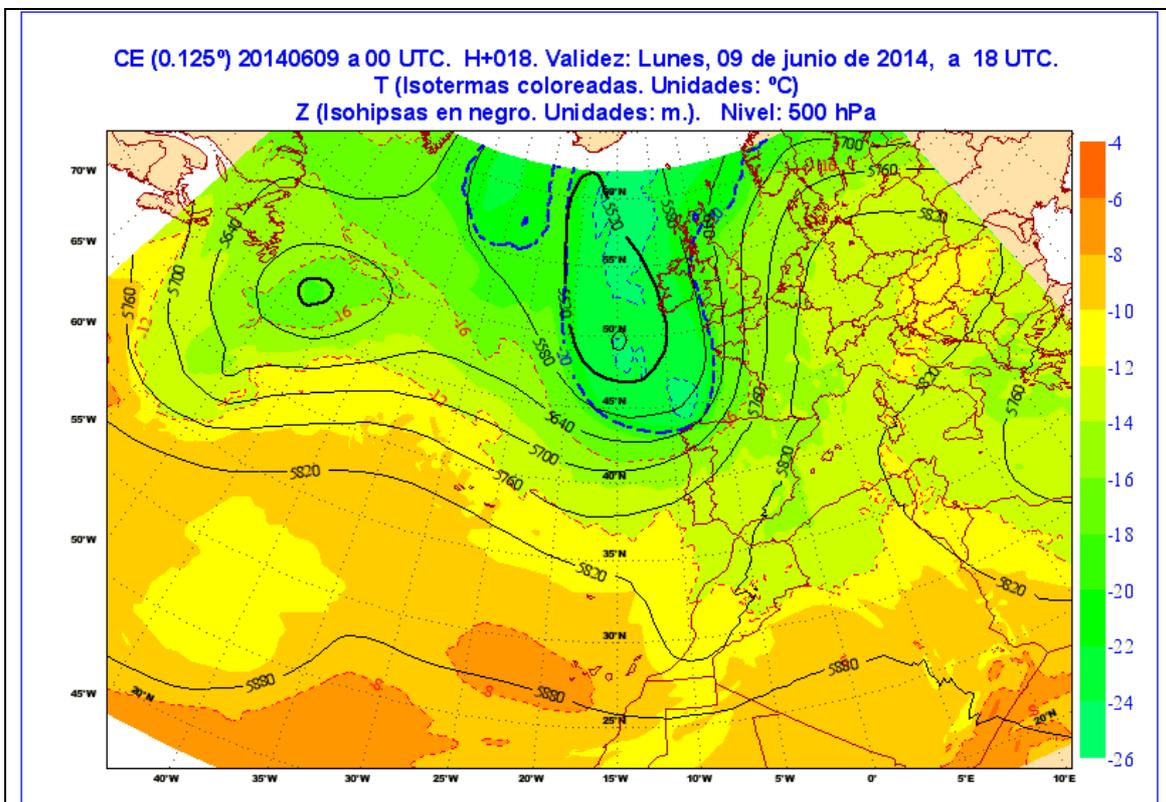


Figura 3. Análisis de ECMWF de geopotencial y temperatura en 500 hPa el día 9 de junio de 2014 a las 18 UTC.

En la figura 4, se observa la imagen de vapor de agua, WV, del MSG (Meteosat Segunda Generación) en la que se aprecia un chorro en niveles altos (300 hPa) que se curva sobre el extremo NW de la península Ibérica y que tiene dirección SW en la parte delantera de la vaguada. Se puede ver que el chorro tiene velocidades de más de 80 kt, en la zona NW y de unos 40 kt en el resto de la Península.

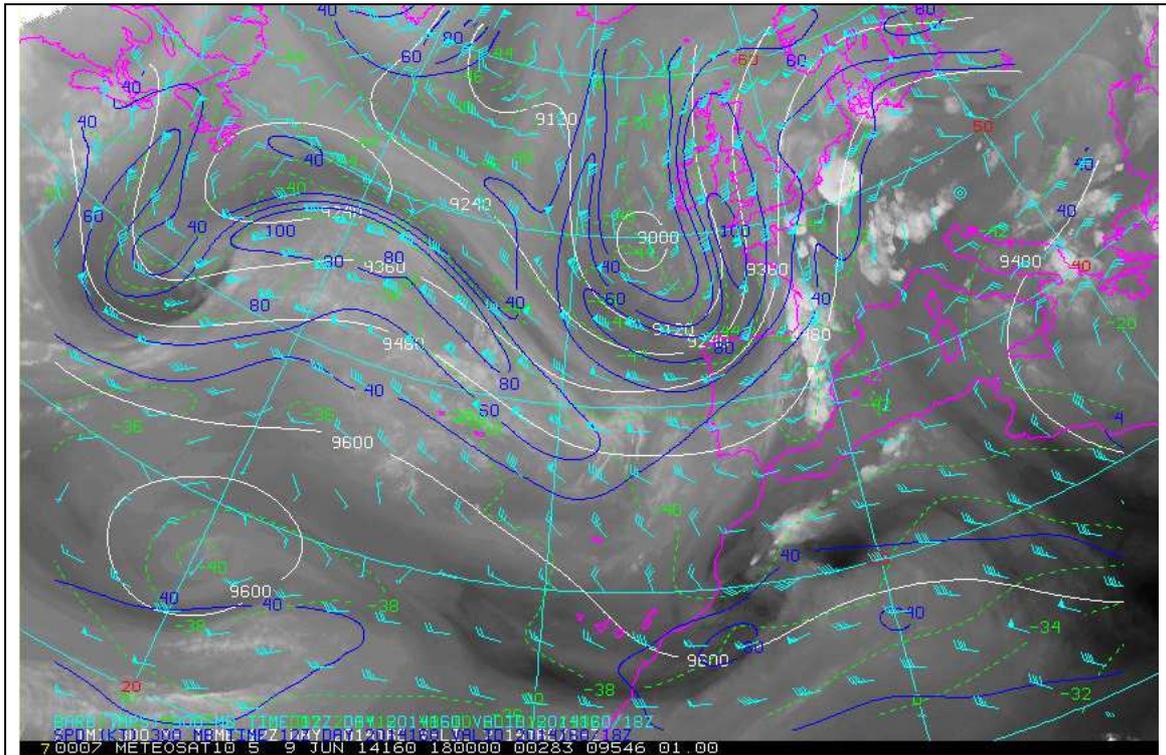


Figura 4. Imagen de vapor de agua del MSG con campos superpuestos de viento (barbas, azul claro, e isotacas en nudos, azul oscuro), temperatura (líneas verdes discontinuas, °C) y geopotencial (líneas blancas), en 300 hPa del HIRLAM 0.16°, el día 9 de junio de 2014 a las 18 UTC.

En la figura 5 podemos ver la situación en niveles bajos por medio de la imagen del canal infrarrojo, IR, del MSG. En superficie destaca un marcado anticiclón sobre el Atlántico, desplazado hacia las latitudes de Canarias mientras que la península Ibérica queda en una zona de transición con una cuña anticiclónica entre varias depresiones. En 850 hPa y en superficie se aprecia, sobre todo en la mitad E de la Península, una zona de frontera térmica entre aire más frío de procedencia atlántica y aire mucho más cálido (de hasta 20 y 22° C) sobre el Mediterráneo occidental. Esta frontera no llega a constituir un frente como tal, pero da lugar, al coincidir con ella la zona de convergencia que se menciona antes, a un área propicia a desarrollos convectivos, ya que aporta al menos un mecanismo de disparo eficaz. Tanto en las imágenes IR como en las WV se aprecian núcleos convectivos de gran desarrollo en esta zona de convergencias por delante de la vaguada.

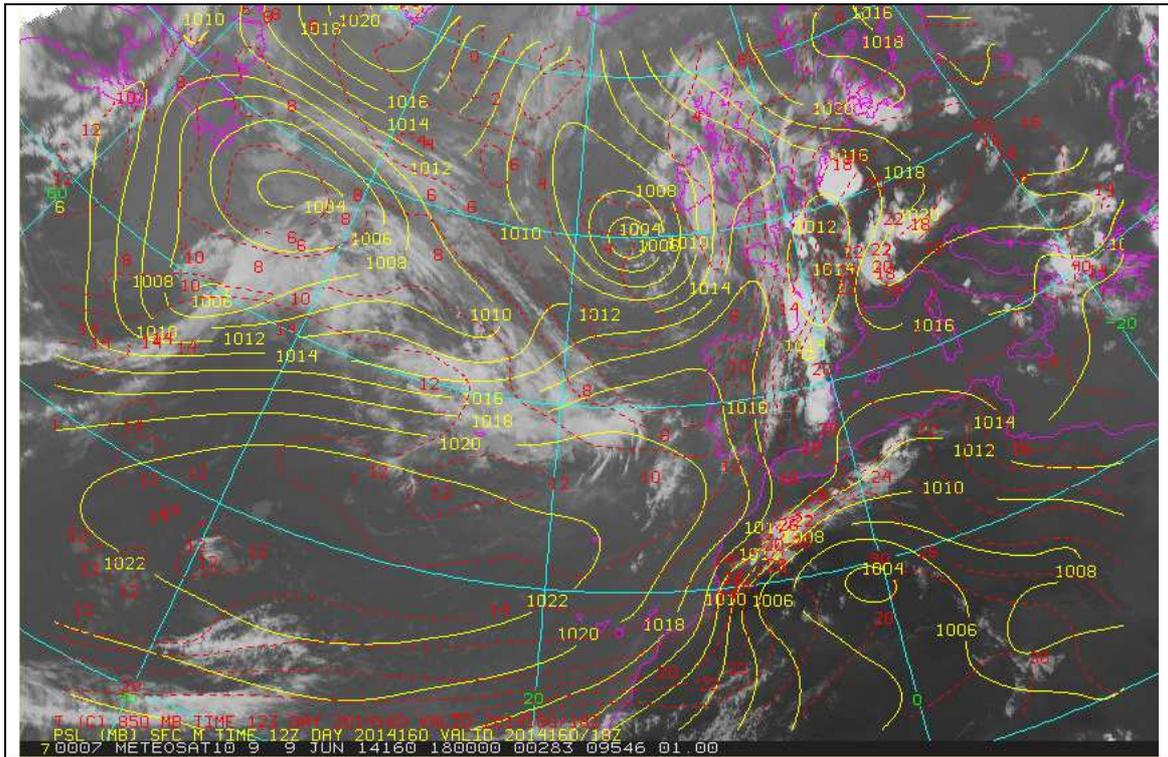


Figura 5. Imagen IR del MSG con campos superpuestos presión a nivel del mar (PSL, líneas de color amarillo en hPa) y temperatura en 850 hPa (líneas rojas discontinuas, ° C) del HIRLAM 0.16°, el día 9 de junio de 2014 a las 18 UTC.

3. SITUACIÓN MESOESCALAR Y ENTORNO PRECONVECTIVO

SITUACIÓN MESOESCALAR

La zona de interés, como hemos visto, está situada en la parte delantera de una vaguada. Se trata además de una zona baroclina que se desplaza a lo largo del día hacia el E de la Península. Se aprecia también en 500 hPa una dorsal térmica que afecta a casi todo el W y S de la península Ibérica, mientras que en la vertiente cantábrica y en el cuadrante NE las temperaturas son más frías (ver figuras 6 y 7).

En niveles medios, 700 hPa, el flujo es fuerte (20-30 kt) del SW, similar al que aparece en niveles altos, se aprecia la marcada zona de convergencia de vientos (figura 8), entre el flujo atlántico, de dirección SW, y el flujo mediterráneo, de dirección SE, que se extiende desde el Pirineo navarro hasta el Cabo de Palos. En 850 hPa se aprecia una configuración de flujo similar (figura 9) con la misma zona de convergencia que revela el aporte de aire cálido y húmedo del Mediterráneo.

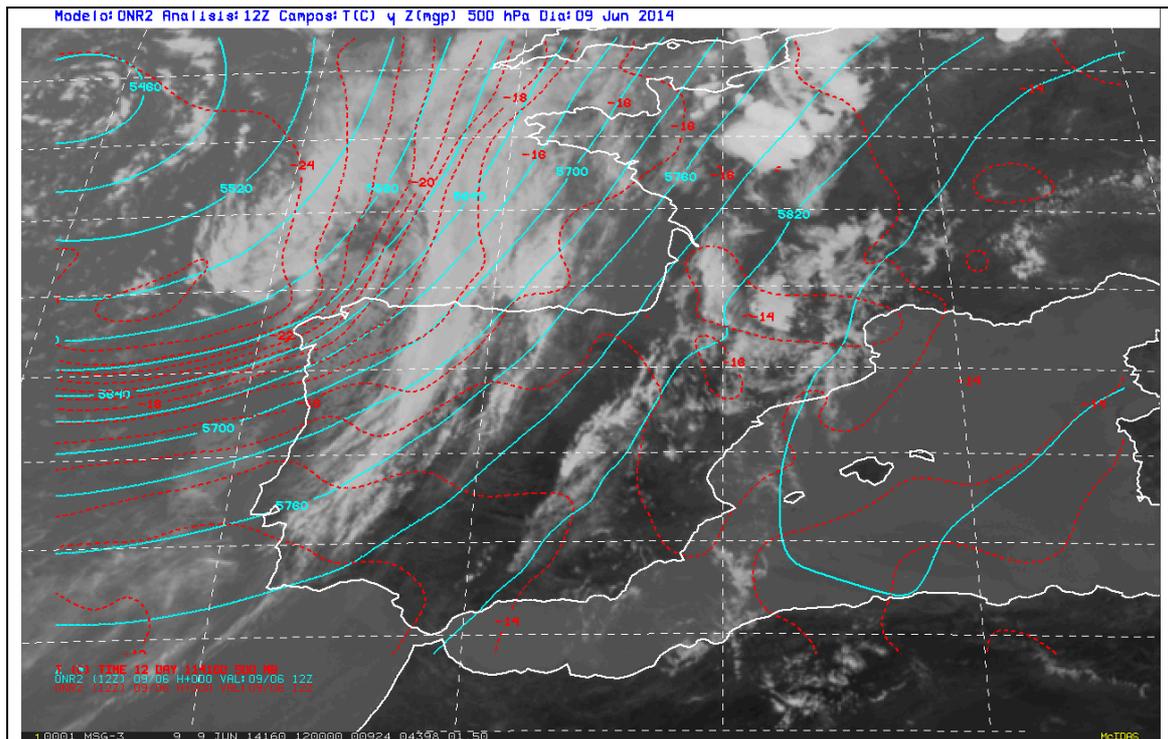


Figura 6. Imagen IR del MSG con campos superpuestos del análisis de temperatura, línea roja discontinua en °C, y geopotencial en 500 hPa, línea azul continua, del HIRLAM 0.16° del día 9 de junio de 2014 a las 12 UTC.

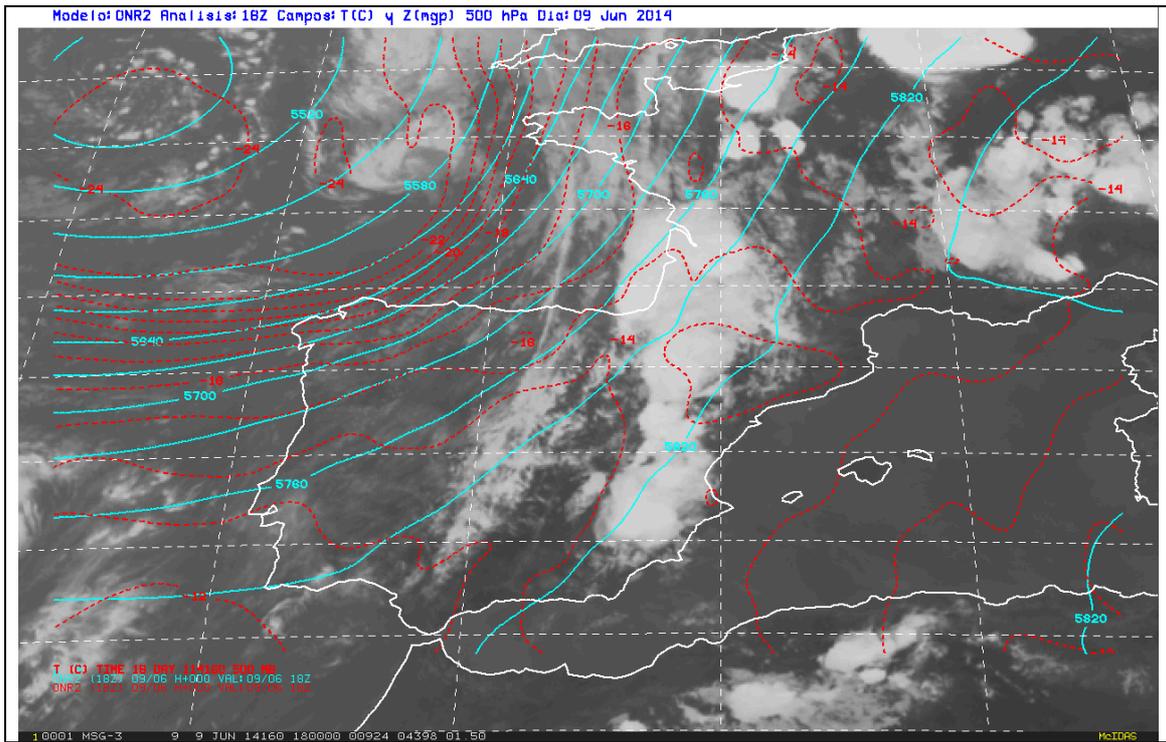


Figura 7. Imagen IR del MSG con campos superpuestos del análisis de temperatura, línea roja discontinua en °C, y geopotencial en 500 hPa, línea azul continua, del HIRLAM 0.16° del día 9 de junio de 2104 a las 18 UTC.

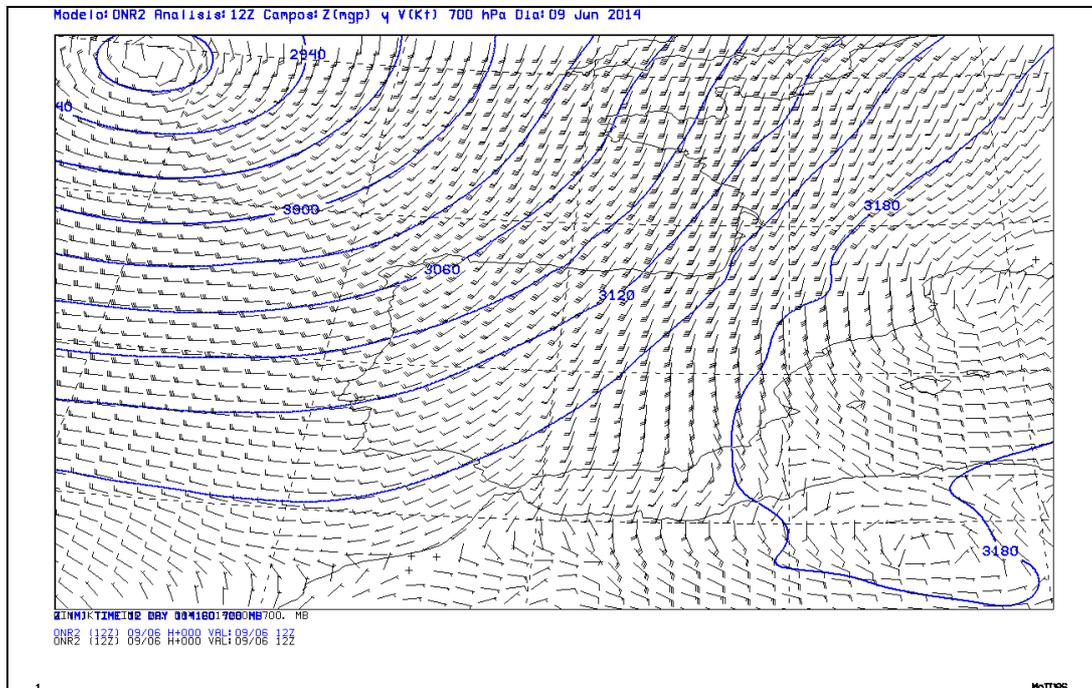


Figura 8. Análisis de viento, barbas, y geopotencial en 700 hPa, líneas azules, del HIRLAM 0.16°, el día 9 de junio de 2014 a las 12 UTC.

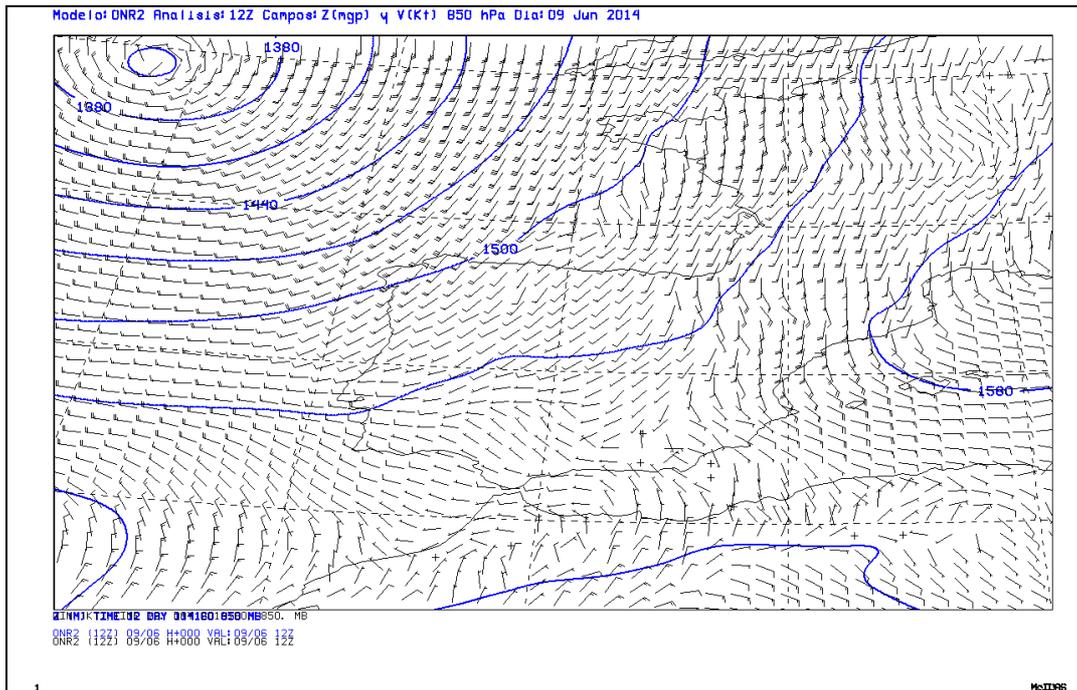


Figura 9. Análisis de viento, barbas, y geopotencial en 850 hPa, líneas azules, del HIRLAM 0.16°, el día 9 de junio de 2014 a las 12 UTC.

En superficie el modelo HIRLAM 0.05 muestra a las 15 UTC una mesoalta situada sobre el Pirineo oriental y una zona muy marcada de bajas presiones relativas centrada en el valle del Ebro que condiciona la aparición en superficie de un flujo de componente E que sube por el Valle del Ebro hasta Las Cinco Villas y el centro de Navarra (figura 10).

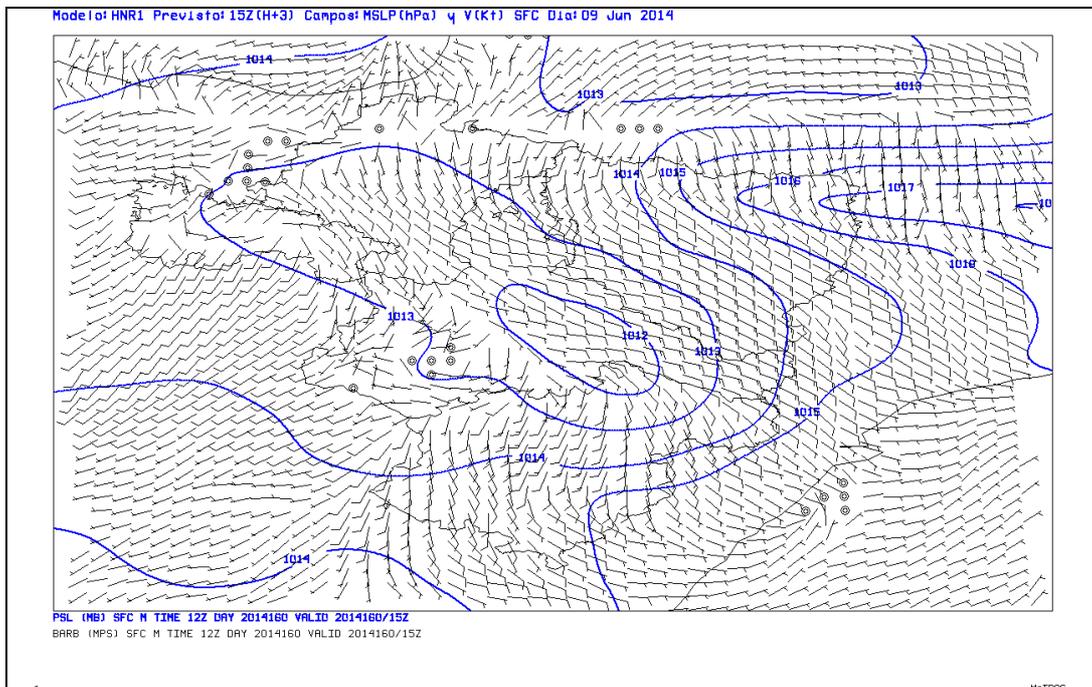


Figura 10. Análisis de viento, barbas, y presión a nivel del mar, líneas azules, del HIRLAM 0.05°, el día 9 de junio de 2014 a las 15 UTC.

La configuración del viento es muy parecida entre 500 y 700 hPa pero por debajo de este último nivel y hasta superficie los modelos predicen una cizalladura moderada de dirección SSW, que refleja también una advección cálida. Los modelos muestran además una marcada convergencia de vientos y de humedad en el valle del Ebro especialmente en Navarra y la provincia de Zaragoza (ver figuras 11). En el área de interés el modelo HIRLAM 0.16 da valores de convergencia de humedad en 925 hPa en torno a 10 g/Kg/6h a las 15 y a las 18 UTC.

Con la información analizada hasta ahora, se puede decir que en la zona de interés los modelos muestran un entorno favorable a desarrollos convectivos con posibilidad de valores de cizalladura moderados, adecuados para que la convección sea organizada.

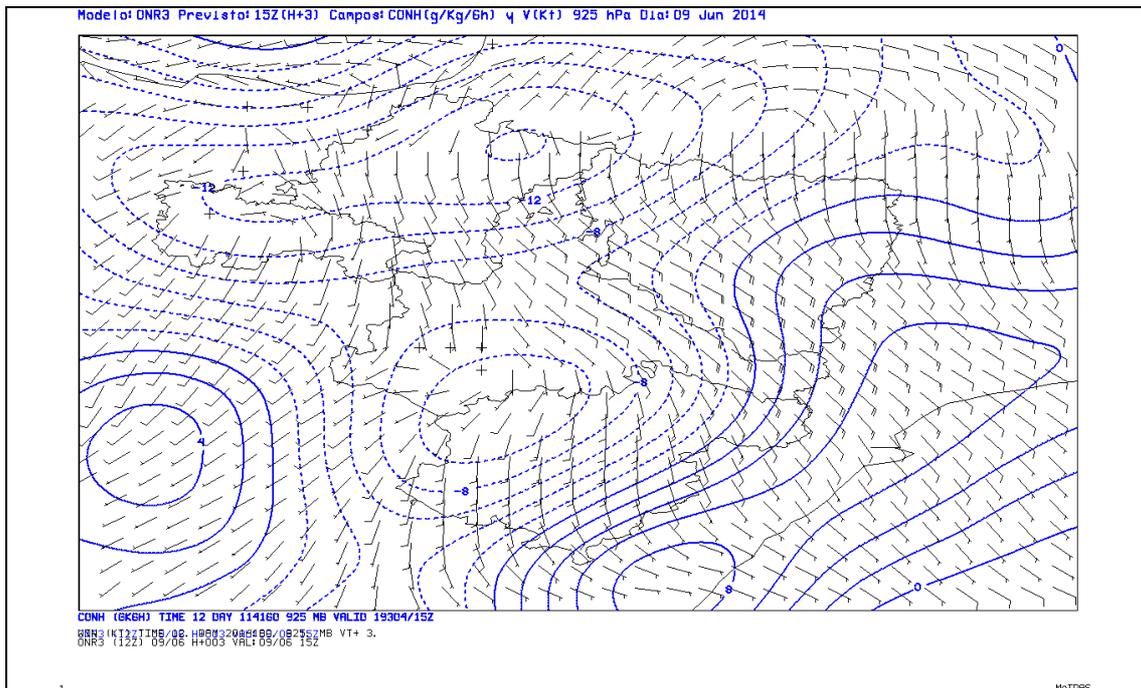


Figura 11. Convergencia de humedad, líneas azules, y viento, barbas, en 925 hPa, HIRLAM 0.16°, el día 9 de junio de 2014 a las 15 UTC.

ENTORNO PRECONVECTIVO

La zona de interés se encontraba en un entorno donde se podían formar desarrollos convectivos, como se aprecia por la presencia de inestabilidad, asociada a una vaguada en 500 hPa. Además hay cizalladura en la estructura vertical de viento, con lo cual estos desarrollos podrían ser organizados. Considerando en detalle los campos de viento en niveles bajos, encontramos otros ingredientes que favorecen el desarrollo de convección profunda, hay un importante aporte de humedad, dado el flujo del SE de aire cálido y húmedo del Mediterráneo que asciende por el valle del Ebro. Se pueden apreciar también zonas de convergencia de vientos y convergencia de humedad (ver figuras 8 a 11) en el W y N de la provincia de Zaragoza, zona central del valle del Ebro y E de Navarra, que podrían haber actuado como mecanismos de disparo.

Si analizamos más en detalle los campos de diagnóstico de la convección, se pueden apreciar los siguientes aspectos en las salidas de la pasada de las 12 UTC del HIRLAM 0.16 para las 15 y 18 UTC del día 9 (ver figuras 12 a 17):

- Se observan valores de *Lifted Index* (LI) entre -2 y -4 °C, e incluso inferiores a -4 °C (a las 15 UTC), que se corresponde con zonas de bastante inestabilidad.
- Valores de CAPE (Energía Potencial Convectiva Disponible) previstos por el modelo HIRLAM entre 700 y 1100 J/Kg, e incluso superiores a 1100 J/Kg, previstos para las 15 UTC, y algo inferiores para las 18 UTC con valores entre 400 y 1100 J/Kg, si bien para esta hora el modelo ya ha resuelto bastante precipitación convectiva. En la Península se pueden considerar significativos valores superiores a 400 J/Kg.
- Se aprecia un máximo de inestabilidad potencial muy marcado en el estrato 850-500 hPa que se extiende en dirección N-S por el E de la península ibérica, abarcando desde Navarra y W de Aragón hasta Murcia y Almería. En toda esta área presenta valores del parámetro ESTW en 700 hPa inferiores a -3, e inferiores a -4 especialmente en la zona de Navarra y Aragón.
- Se pronostican valores de CIN (Inhibición Convectiva) entre 150 y 300 J/Kg en el área de interés, aunque en algunos puntos podrían ser superiores a 300 J/Kg. Estos valores suponen cierta dificultad para el desarrollo de la convección.
- Se aprecian zonas de convergencia de vientos en superficie, mencionadas en el apartado anterior, así como convergencias de humedad en 850 hPa significativas. Las convergencias de humedad al igual que las de viento pudieron tener un papel importante como mecanismos de disparo para vencer los valores de CIN mencionados en el punto anterior. Son también una evidencia del aporte de humedad en capas bajas, necesario para el desarrollo de fenómenos convectivos, y por otro lado suelen llevar aparejado un importante aumento de la inestabilidad potencial.
- Contenido elevado de agua precipitable hasta 300 hPa: entre 27 y 37 mm.
- Valores significativos de la cizalladura vertical hasta 6 km en la zona de estudio, se observan valores entre 10 y 13 m/s. También se ven valores significativos de helicidad relativa a la tormenta (SRH), entre 100 y 150 m²/s² previstos para las 15 UTC, que aumentan a valores entre 150 y 250 m²/s² a las 18 UTC. Este parámetro nos indica un entorno favorable a la organización de la convección, como ya indica la cizalladura vertical, pero además es una medida de la componente horizontal de vorticidad paralela al flujo que alimenta la tormenta, y es útil como una estimación de la capacidad para generar rotación en la corriente ascendente. Se puede considerar que valores superiores a 150 m²/s² son significativos de cara al posible desarrollo de supercélulas.
- Este modelo prevé en las áreas de interés de este informe cantidades significativas de precipitación y de precipitación de origen convectivo, que superan valores de 5 e incluso de 10 mm en 6 horas.
- Por otro lado y como diagnóstico global de todos estos parámetros aparece una zona alargada en dirección N-S en la que existen las condiciones adecuadas para que se pueda desarrollar convección profunda. En especial en el extremo N de esta franja (que coincide con Navarra y NW de Aragón) estas condiciones son favorables para convección profunda y organizada. También se puede ver en las figuras 16 y 17 dos imágenes que resumen el tipo de convección a partir de un análisis combinado de diferentes parámetros e índices convectivos. Se aprecia que el área de interés es favorable al desarrollo de convección organizada HSHC (High Shear/High CAPE, es decir de altos valores de cizalladura y de CAPE), y por otro

lado que se trata también de un área favorable a que aparezcan rachas intensas de viento de origen no tornádico.

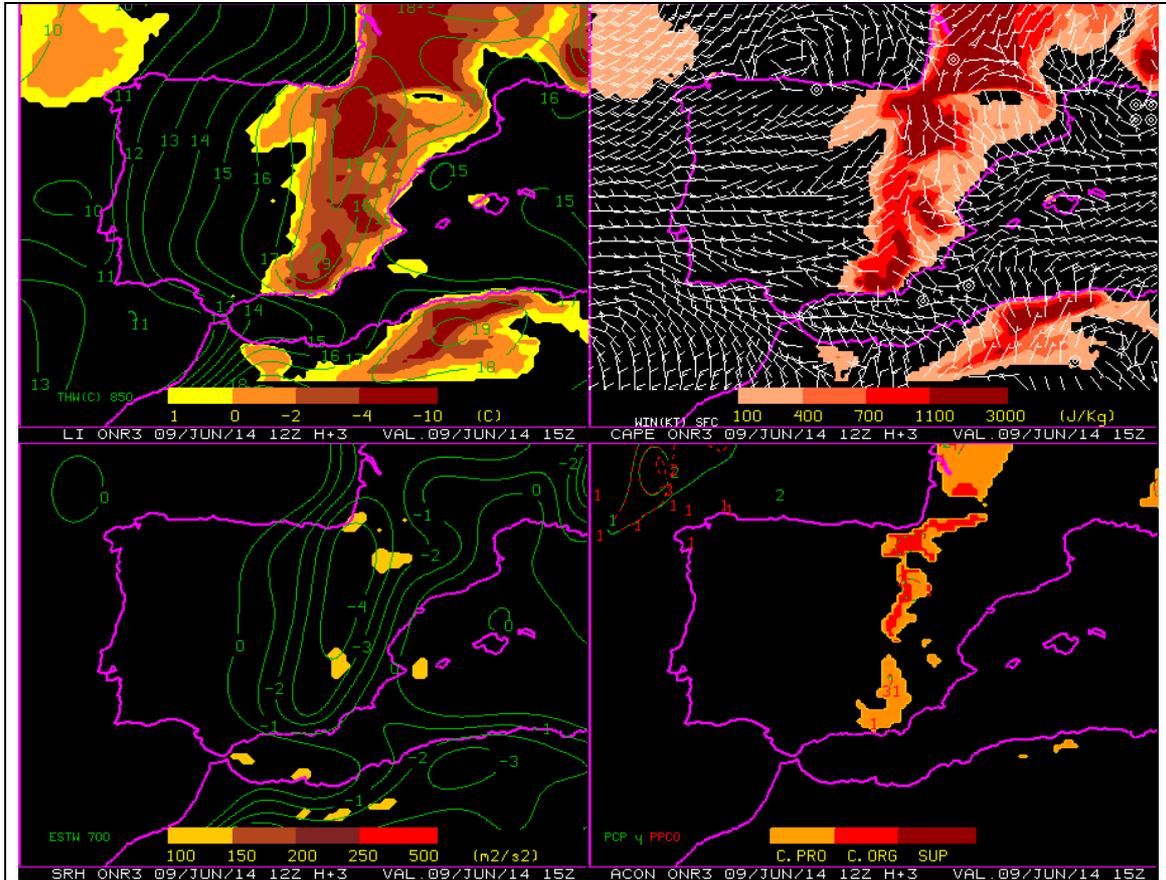


Figura 12. Índices de diagnóstico convectivo previstos por HIRLAM 0.16 para las 15 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+3). Arriba a la izquierda: LI (coloreado) y temperatura potencial del termómetro húmedo en 850 hPa. Arriba a la derecha: CAPE coloreado y barbas de viento en superficie. Abajo a la izquierda: Helicidad relativa a la tormenta (coloreada) e inestabilidad potencial en 700 hPa. Abajo a la derecha: diagnóstico de convección profunda, organizada o supercelular (coloreado) y precipitación total y convectiva prevista en 6 horas centradas en la hora de diagnóstico.

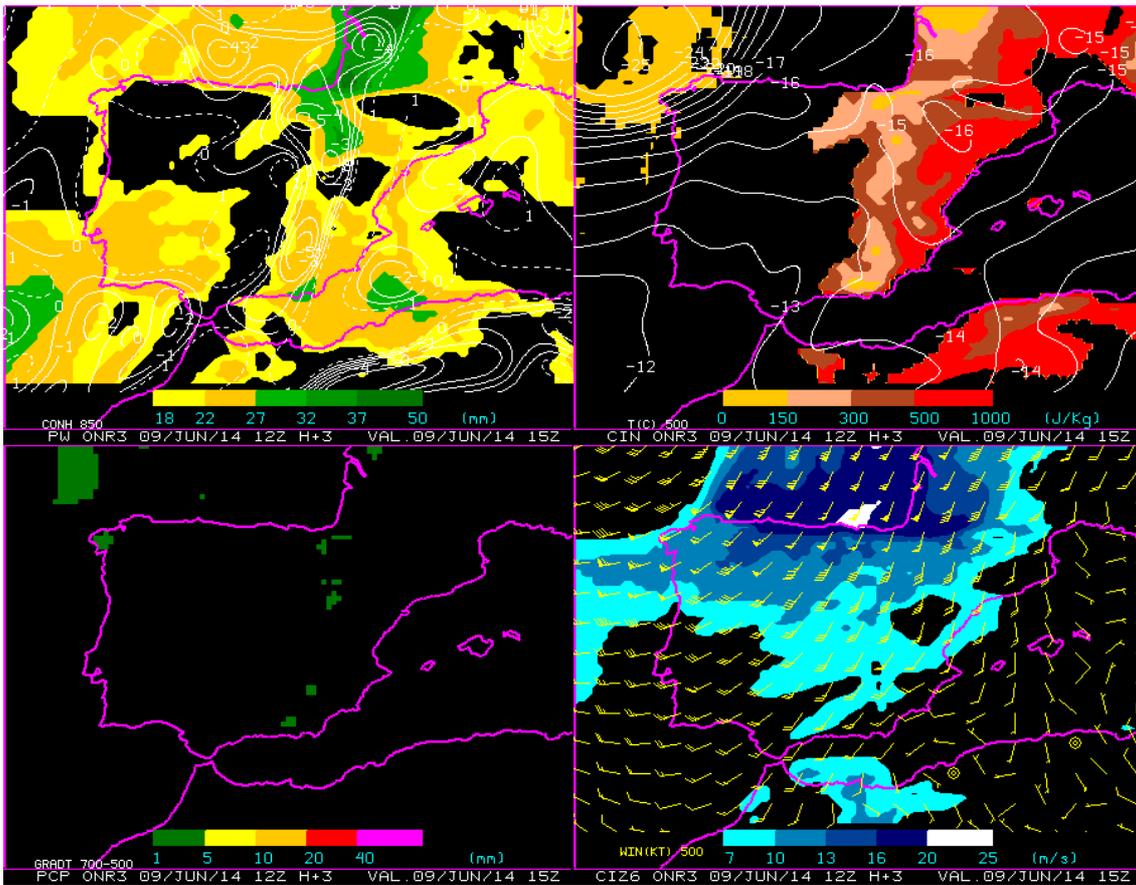


Figura 13. Índices de diagnóstico convectivo previstos por HIRLAM 0.16 para las 15 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+3). Arriba a la izquierda: agua precipitable hasta 300 hPa coloreada y convergencia de humedad en 850 hPa. Arriba a la derecha: CIN coloreado y temperatura en 500 hPa. Abajo a la izquierda: Precipitación convectiva prevista en las 6 horas centradas en la hora de diagnóstico (coloreado) y gradiente de temperatura 700-500 hPa. Abajo a la derecha: Cizalladura entre el viento medio en los primeros 500 m y el viento medio en los primeros 6 Km (coloreada) y barbas de viento en 500 hPa.

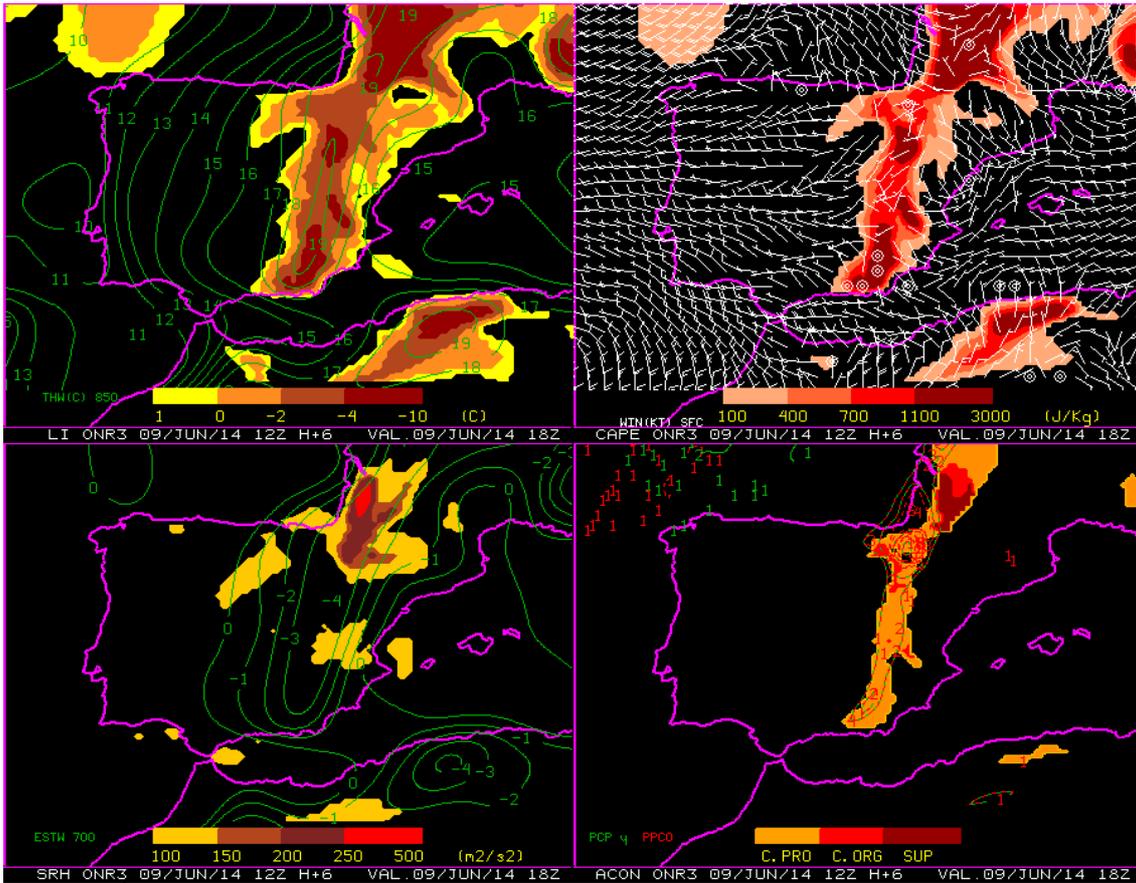


Figura 14. Índices de diagnóstico convectivo previstos por HIRLAM 0.16 para las 18 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+6). Arriba a la izquierda: LI (coloreado) y temperatura potencial del termómetro húmedo en 850 hPa. Arriba a la derecha: CAPE coloreado y barbas de viento en superficie. Abajo a la izquierda: Helicidad relativa a la tormenta (coloreada) e inestabilidad potencial en 700 hPa. Abajo a la derecha: diagnóstico de convección profunda, organizada o supercelular (coloreado) y precipitación convectiva prevista en 6 horas centradas en la hora de diagnóstico.

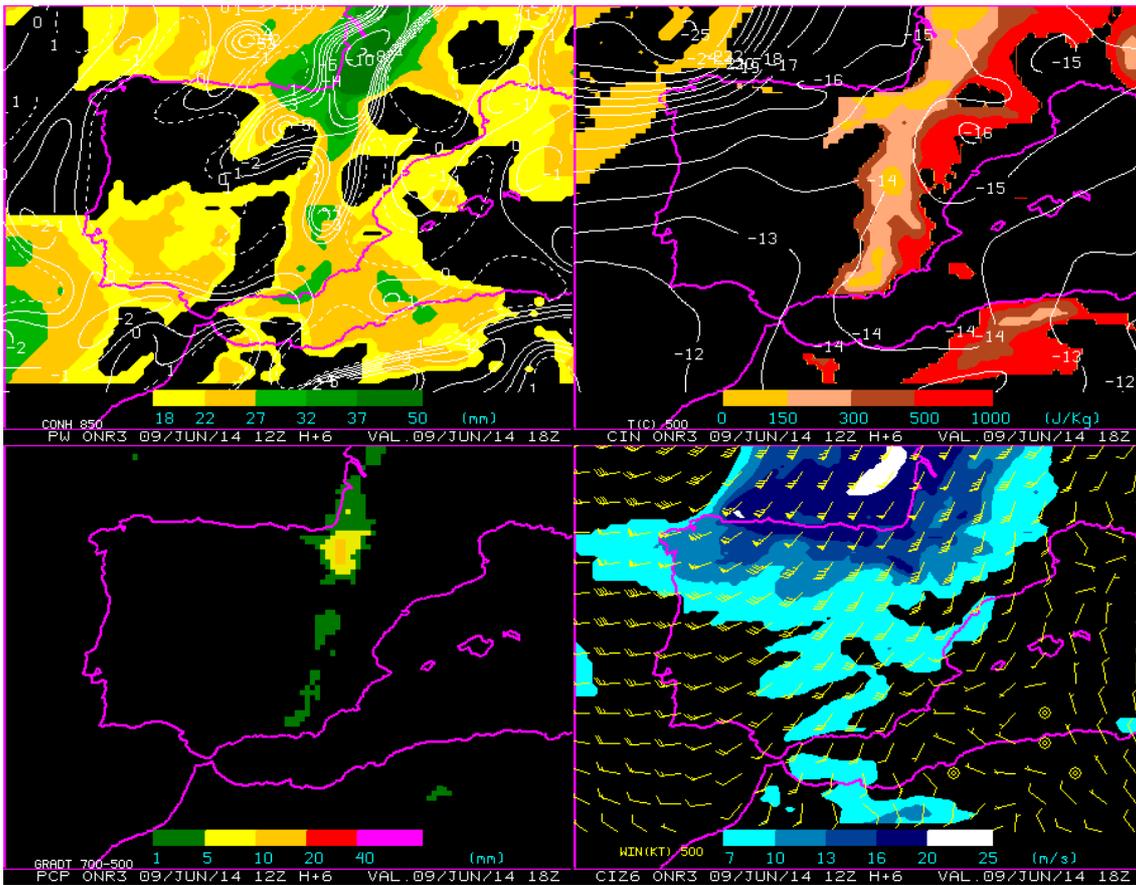


Figura 15. Índices de diagnóstico convectivo previstos por HIRLAM 0.16 para las 18 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+6). Arriba a la izquierda: agua precipitable hasta 300 hPa coloreada y convergencia de humedad en 850 hPa. Arriba a la derecha: CIN coloreado y temperatura en 500 hPa. Abajo a la izquierda: Precipitación convectiva prevista en las 6 horas centradas en la hora de diagnóstico (coloreado) y gradiente de temperatura 700-500 hPa. Abajo a la derecha: Cizalladura entre el viento medio en los primeros 500 m y el viento medio en los primeros 6 Km (coloreada) y barbas de viento en 500 hPa.

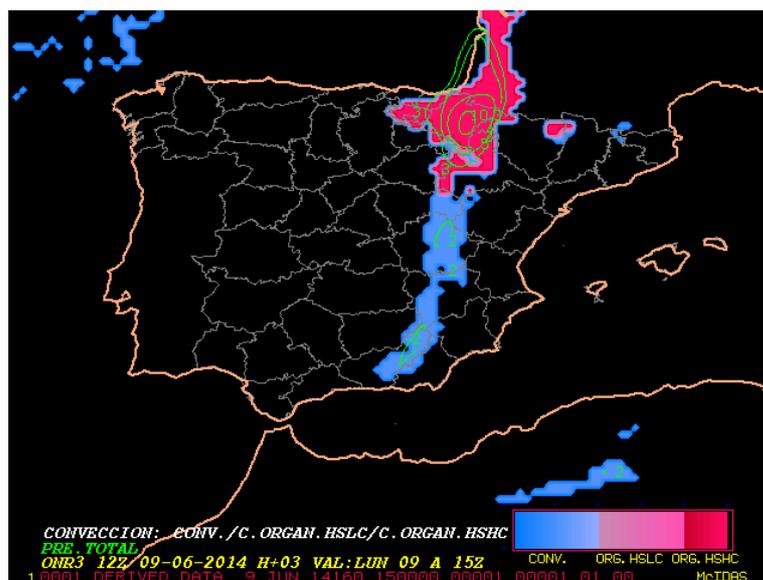


Figura 16. Diagnóstico de la convección previsto a partir de diferentes campos del HIRLAM 0.16 para las 15 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+3). Precipitación (líneas verdes) y tipo de convección (coloreado).

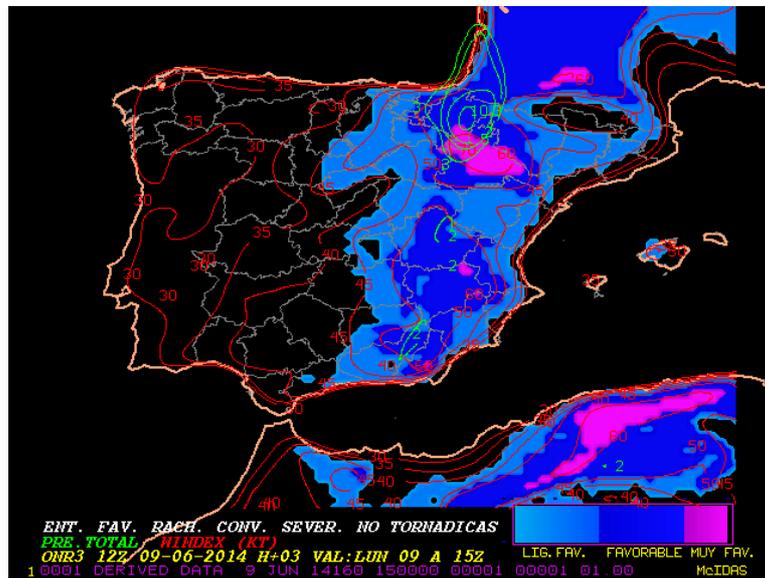


Figura 17. Diagnóstico de entorno convectivo favorable a la generación de rachas de viento severo de origen no tornádico, previsto a partir de campos del HIRLAM 0.16 para las 15 UTC del lunes 9 de junio de 2014 (pasada de 12 UTC, alcance H+3).

Al analizar el sondeo observado del Aeropuerto de Zaragoza de las 12 UTC del día 9 de junio (figura 18), así como los sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 para dos puntos próximos al área de estudio como son la población de Sos del Rey Católico (figuras 19) y la ciudad de Huesca (figura 20), se corrobora la existencia de un entorno marcadamente inestable. Se aprecia mayor inestabilidad en los sondeo previstos para Sos del Rey Católico (valores de CAPE superiores a 990 J/Kg a las 15 UTC, y superiores a 780 J/Kg a las 18 UTC), así como en el sondeo previsto para Huesca (valores superiores a 730 J/Kg a las 15 UTC). En los otros sondeos que vemos en las figuras se aprecia igualmente inestabilidad, aunque no tan acusada, pero significativa en cualquier caso. Tanto en los sondeos previstos como en el observado se puede apreciar una marcada cizalladura vertical del viento, que además está concentrada en niveles bajos de la troposfera, de hecho se aprecia el mayor cambio del viento entre superficie y 700-800 hPa, es decir hasta unos 2000-3000 m de altura. El viento pasa de tener valores de 10-15 kt y de ser de componente SE en superficie, a tener valores de 30-40 kt del SSW en niveles próximos a 700 hPa. En todos ellos se tienen también valores significativos de SRH, en general superiores a 100 m²/s². Estos sondeos tienen una forma característica en "V" invertida con una capa seca y profunda por debajo de 500 hPa, que denota un entorno propicio para dar poca precipitación y sobretodo para generar corrientes descendentes intensas, caso de los reventones, "downburst" en la terminología americana, según Fujita (1985).

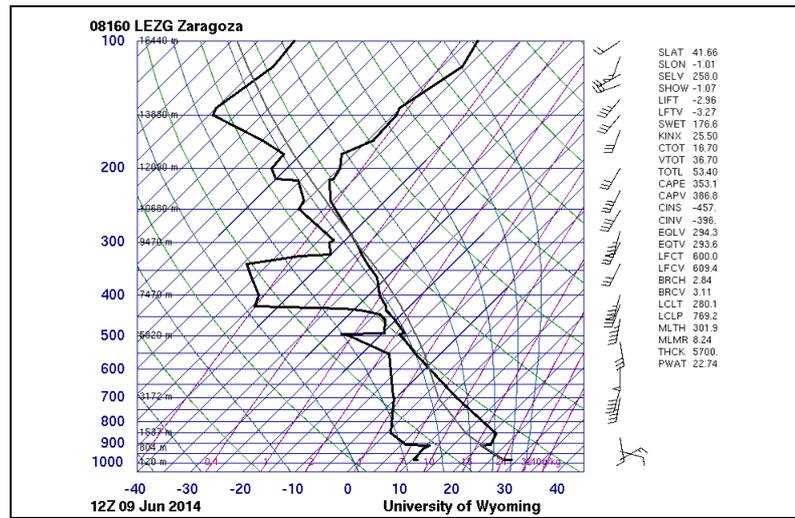


Figura 18. Sondeo observado en el aeropuerto de Zaragoza a las 12 UTC del día 9 de junio de 2014.

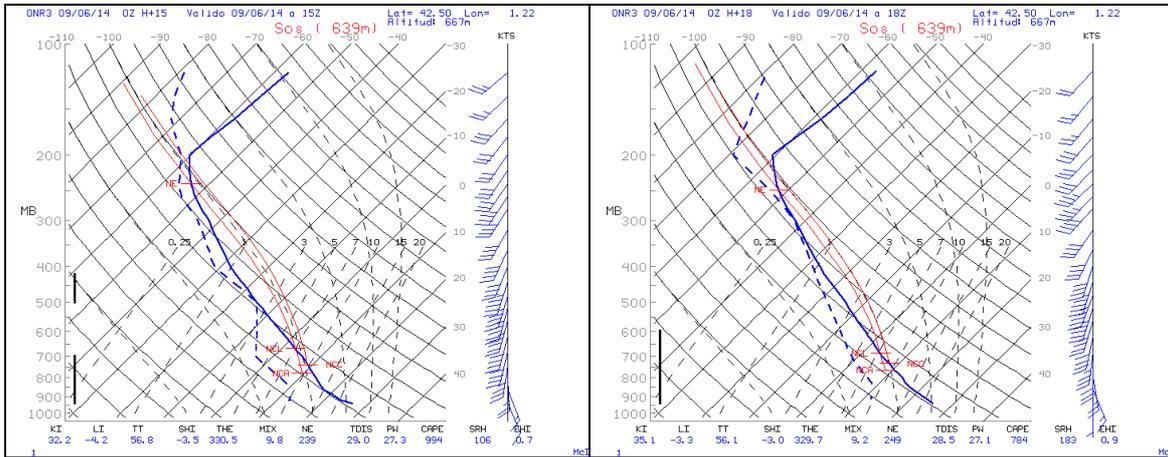


Figura 19. Sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 para la población de Sos del Rey Católico (próximo a la zona de estudio) a las 15 UTC (izquierda, pasada de las 00 H+15), y a las 18 UTC del 9 de junio de 2014 (derecha, pasada de las 00 H+18).

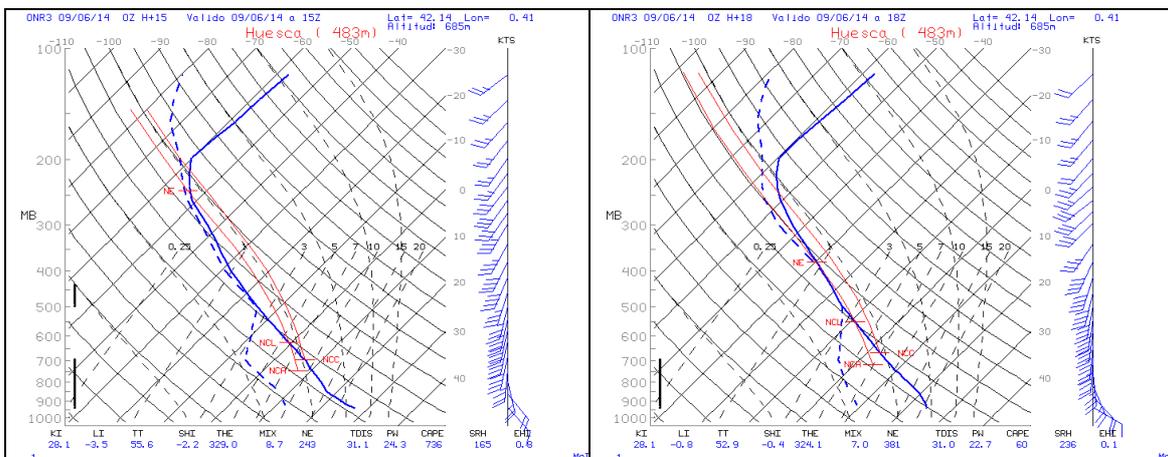


Figura 20. Sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 para Huesca a las 15 UTC (izquierda, pasada de las 00 H+15) y a las 18 UTC del 9 de junio de 2014 (derecha, pasada de las 00 H+18).

4. IMÁGENES DE SATÉLITE

En figuras anteriores (fig. 6 y 7) hemos visto algunas imágenes del canal infrarrojo 10.8 (IR) del satélite MSG (Meteosat Segunda Generación), que ponen de manifiesto el desarrollo de nubes convectivas en la zona delantera de la vaguada, sobre el E de la península Ibérica. Del mismo modo en las imágenes HRVIS (Visible de Alta Resolución) se aprecia el crecimiento de importantes núcleos de origen convectivo a lo largo de una línea N-S que coincide con el área de convergencia de vientos en niveles bajos que se ha comentado en apartados anteriores. La estructura convectiva situada al W de Aragón y SW de Navarra parece adoptar una característica forma en “V”, configuración típica de Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) intensos y generados en entornos con fuerte cizalladura vertical del viento (ver figura 21).

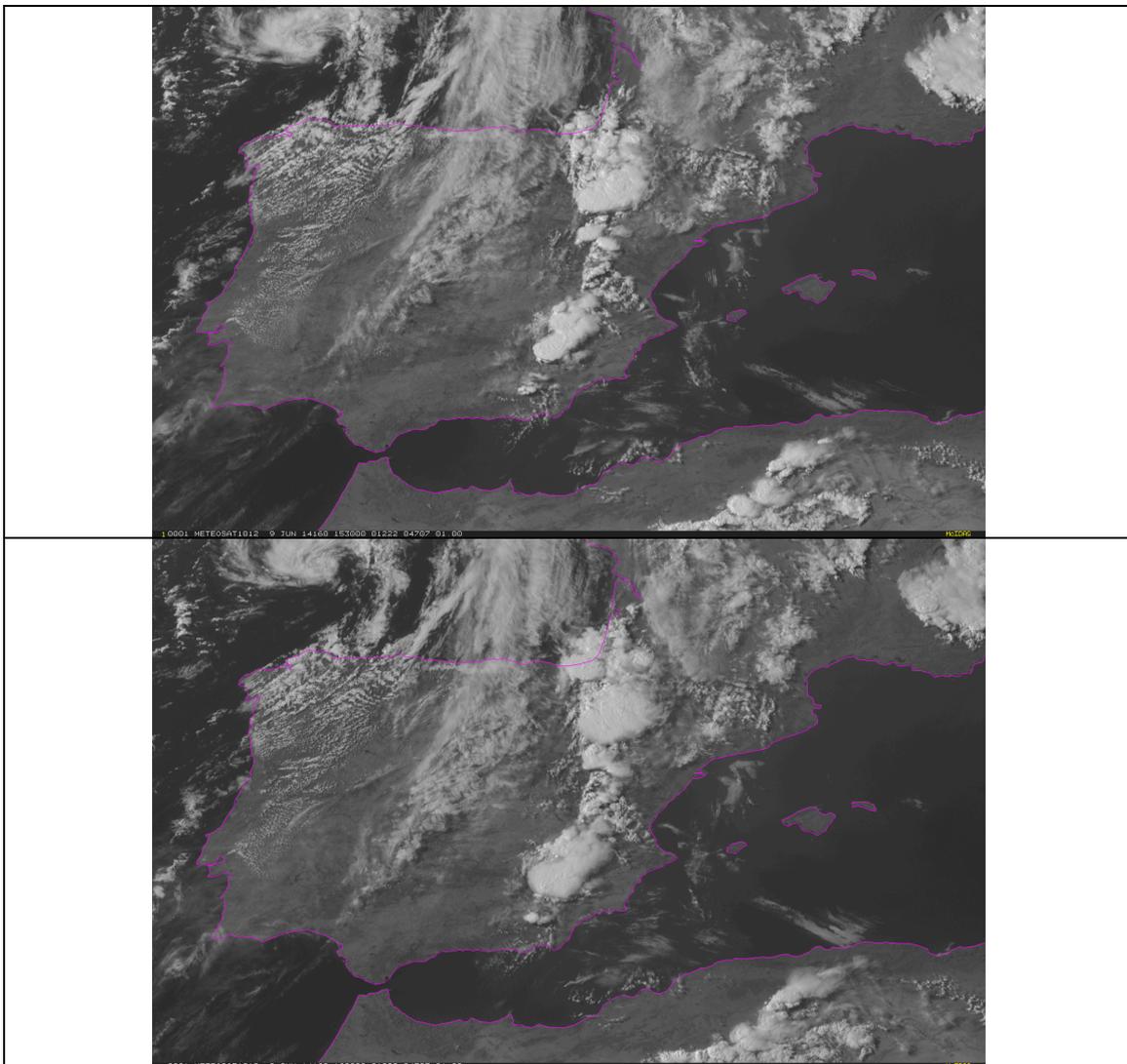


Figura 21. Imágenes del canal HRVIS del satélite MSG, de las 15:30 UTC (arriba) y de las 16:00 UTC (abajo).

Otras imágenes y productos del SAF de Nowcasting del MSG permiten ver como los desarrollos convectivos que afectaron a esta zona eran de bastante intensidad y tenían un fuerte desarrollo vertical. El CRR (Convective Rainfall Rate, intensidad de

precipitación convectiva) en la figura 22, nos marca, en torno a las 16:00 UTC sobre la comarca de las Cinco Villas (N de la provincia de Zaragoza) tasas de precipitación que llegan a superar los 15 mm/h, y ponen de manifiesto el carácter de estos procesos.

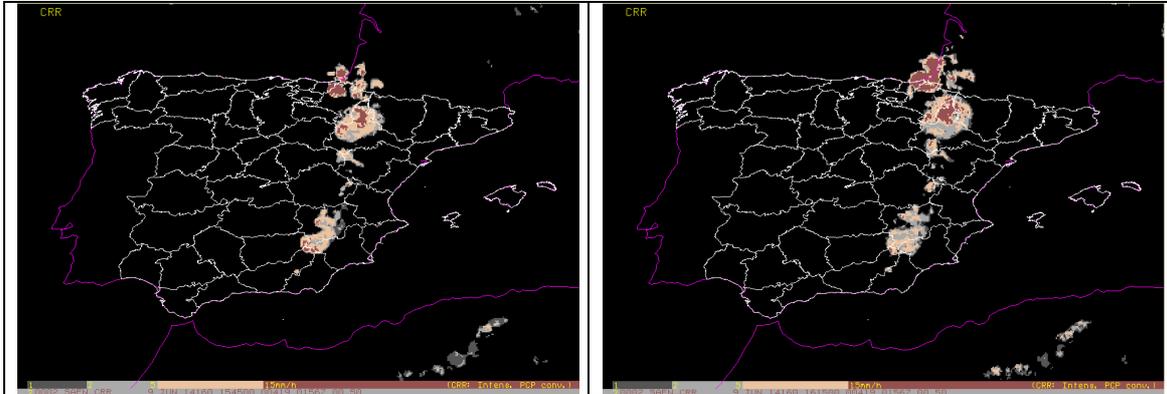


Figura 22. Imágenes de producto CRR (intensidad de precipitación convectiva, coloreada en mm/h), del SAF de Nowcasting, de las 15:45 UTC (izquierda) y de las 16:15 UTC (derecha).

En la figura 23, se pueden ver las imágenes de la diferencia de canales WV6.2-IR10.8, los llamados “píxeles cálidos”, que permiten realzar la convección profunda y la presencia de “overshootings” por medio de los colores naranjas y rojos. Se puede apreciar también como estas estructuras se van intensificando y aumentando de tamaño sobre las zonas de interés.

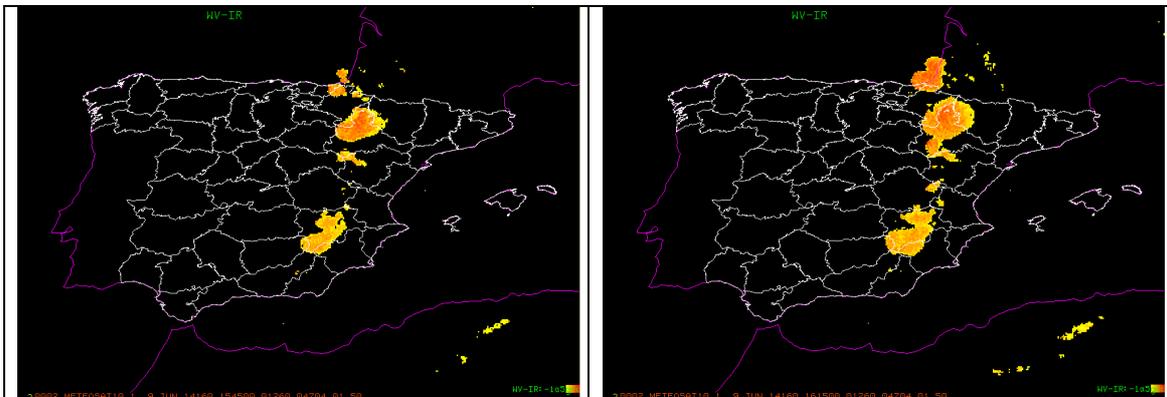


Figura 23. Imágenes de la diferencia WV6.2 – IR10.8 (píxeles cálidos) de las 15:45 UTC (izquierda) y de las 16:15 UTC (derecha).

5. IMÁGENES RADAR Y DESCARGAS ELÉCTRICAS

La formación y la evolución de estos desarrollos convectivos han sido bien recogidas por el radar de Zaragoza, tanto en modo normal como en modo Doppler. Lo primero que se puede analizar son las imágenes del primer PPI de reflectividad. En la figura 24 se ve cómo a las 16:00 UTC se sitúa sobre el área de interés, poblaciones de Erla y Luna, una estructura con intensos ecos de reflectividad (colores amarillos y anaranjados), presenta cierta curvatura y está dentro de una estructura alineada en dirección N-S. Aunque no se presentan aquí todas las imágenes, esta estructura persiste durante bastante tiempo, de hecho se origina hacia las 15:10 ó 15:20 al WNW de la ciudad de Zaragoza, se desplaza hacia el N afectando a las poblaciones de Erla y Luna entre las 16:00 y las 16:20, y prosigue su movimiento hacia el N disipándose hacia las 17:20.

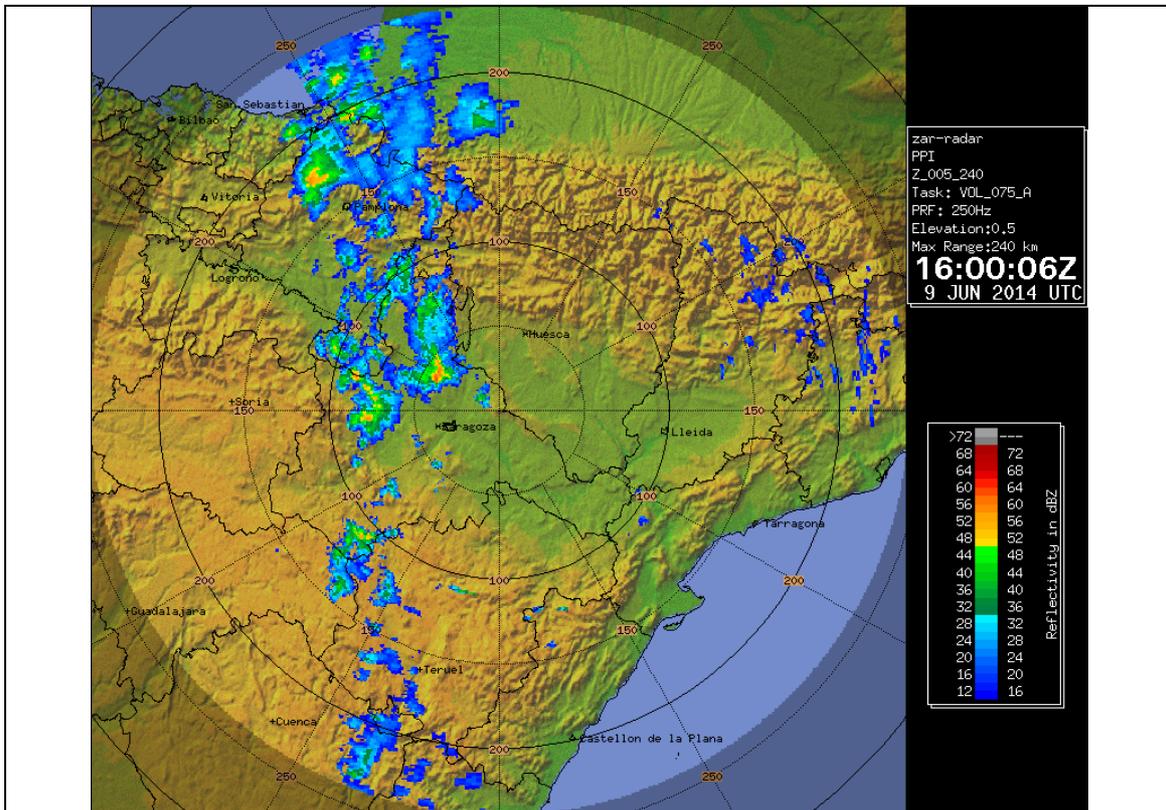


Figura 24. Imagen de reflectividad del radar de Zaragoza correspondiente al primer PPI (primera elevación radar), del día 9 de junio de 2014 a las 16:00 UTC.

En las figuras 25 y 26 se puede ver una imagen de Ecotop y otra de VIL (Vertically Integrated Liquid) de las 16:10 UTC, momento en que se produjeron los mayores daños en la zona. Las imágenes de Ecotop, que representan la mayor altura a que llegan los ecos de 12 dBZ, ponen de manifiesto el gran desarrollo vertical de las estructuras convectivas que se formaron en esta zona, con valores entre los 12 y 14 km de altura. Por otro lado, a esa hora las imágenes de VIL reflejan un contenido de agua líquida muy elevado. Se ven valores en torno a los 25 Kg/m², reflejo del gran desarrollo de las estructuras convectivas, y de la presencia de valores intensos de reflectividad en toda su extensión vertical, como consecuencia de las fuertes corrientes

ascendentes. Estos valores intensos de VIL según diversos autores americanos como Greene y Clark (1972), Stewart (1991) o Kitzmiller et al. (1995), son un buen indicativo de la posible severidad y adversidad de las estructuras convectivas (granizo, vientos fuertes en superficie, precipitaciones intensas y tornados, entre otros fenómenos).

Al observar las imágenes de Máximos de Reflectividad por paneles, se puede apreciar en primer lugar, (figuras 27 y 28), que se trata de una estructura convectiva altamente organizada. Así, en las proyecciones verticales se puede ver el gran desarrollo vertical de la convección y, además, se puede apreciar que aparecen valores intensos de reflectividad a alturas considerables, de hecho aparecen valores de 45 y 50 dBZ entre 6 y 8 km de altura. Por otro lado se constata la inclinación de la línea vertical de máximos de reflectividad, lo cual da lugar a la aparición de una ZB (zona abalconada) encima de una RED (Región de Eco Débil), es decir valores intensos de reflectividad en altura sobre una región con valores bajos. Se observa también un fuerte gradiente de reflectividad entre la propia estructura convectiva y las zonas que la rodean. Estos patrones son consecuencia de la intensidad de las corrientes ascendentes en un entorno favorable para que aparezca convección con un muy alto grado de organización.

En la imagen 27, de las 16:00, se aprecia un patrón que tiene apariencia de “gancho vertical” con su correspondiente REDA (Región de Eco Débil Acotado). En principio este patrón podría corresponder al modelo conceptual de supercélula. De todas formas esta forma no aparece en imágenes anteriores ni persiste en las siguientes. En estos momentos, además, la estructura no tiene forma de gancho en la horizontal y en las imágenes siguientes adopta forma de “bow echo” (eco en arco).

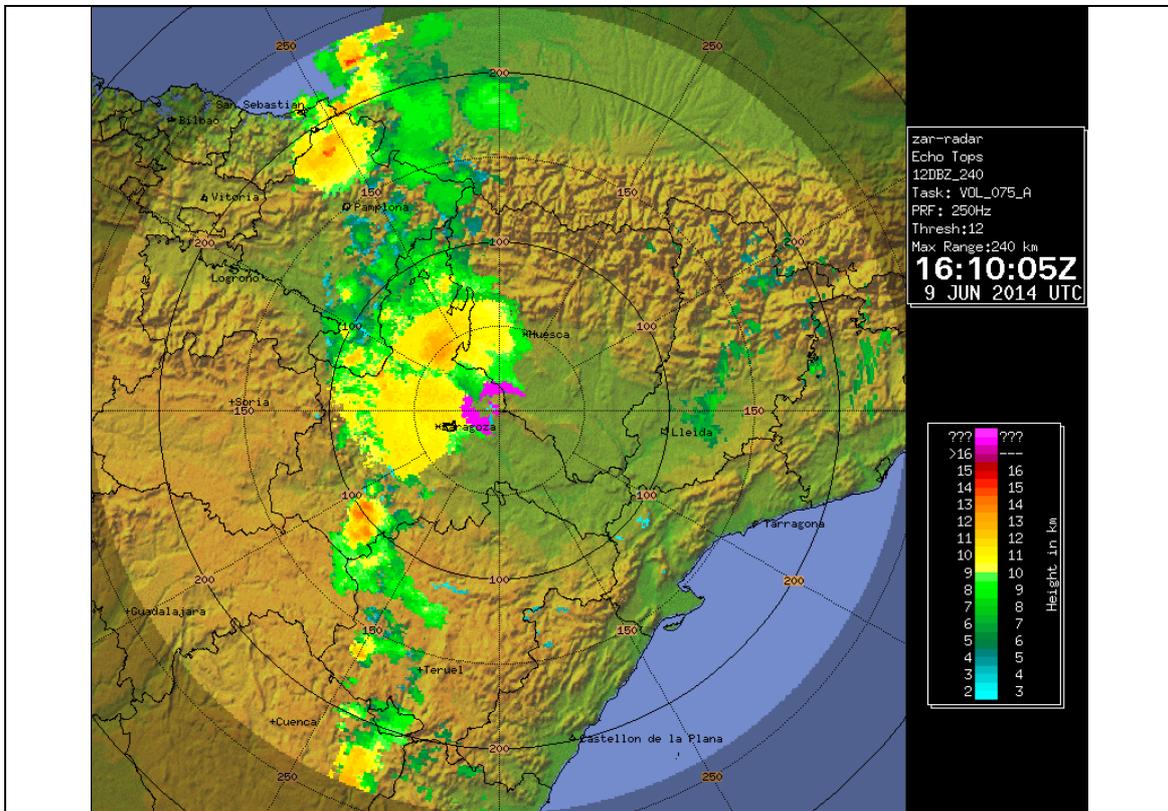


Figura 25. Imagen de Ecotop del radar de Zaragoza correspondiente a las 16:10 UTC del día 9 de junio de 2014.

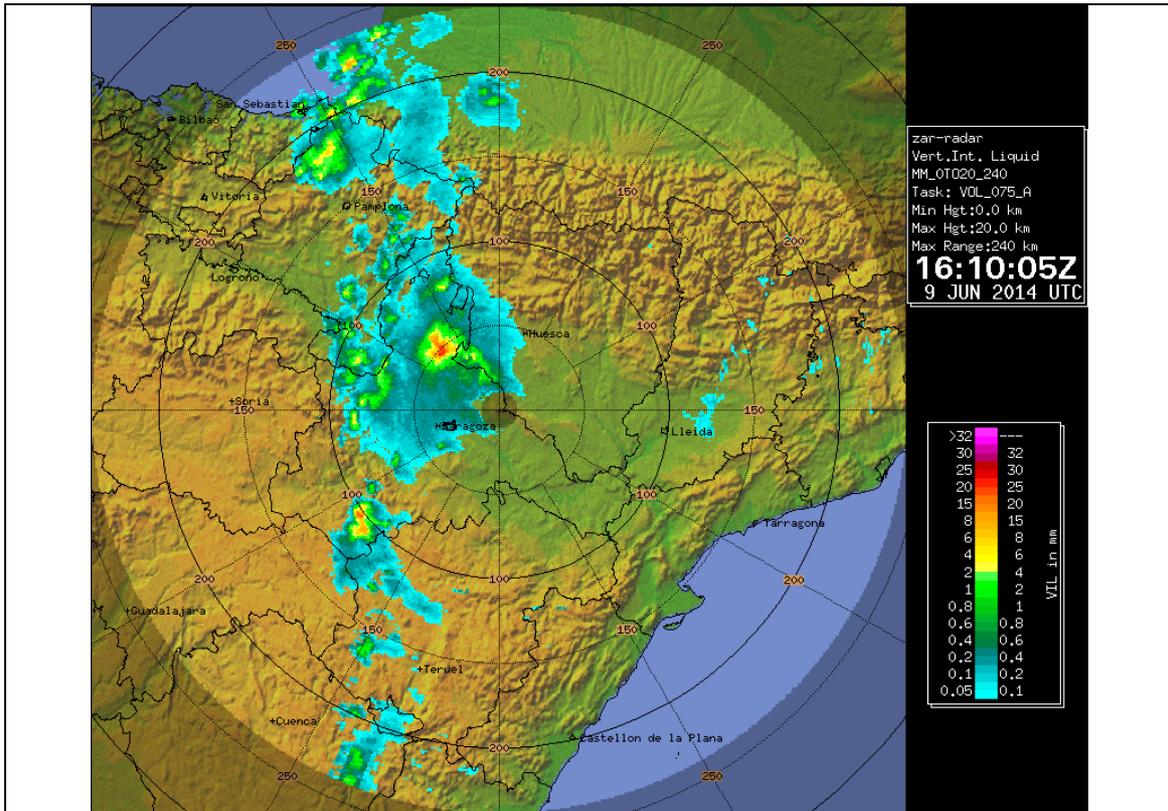


Figura 26. Imagen de VIL (Vertically Integrated Liquid) del radar de Zaragoza correspondiente al día 9 de junio de 2014 a las 16:10 UTC.

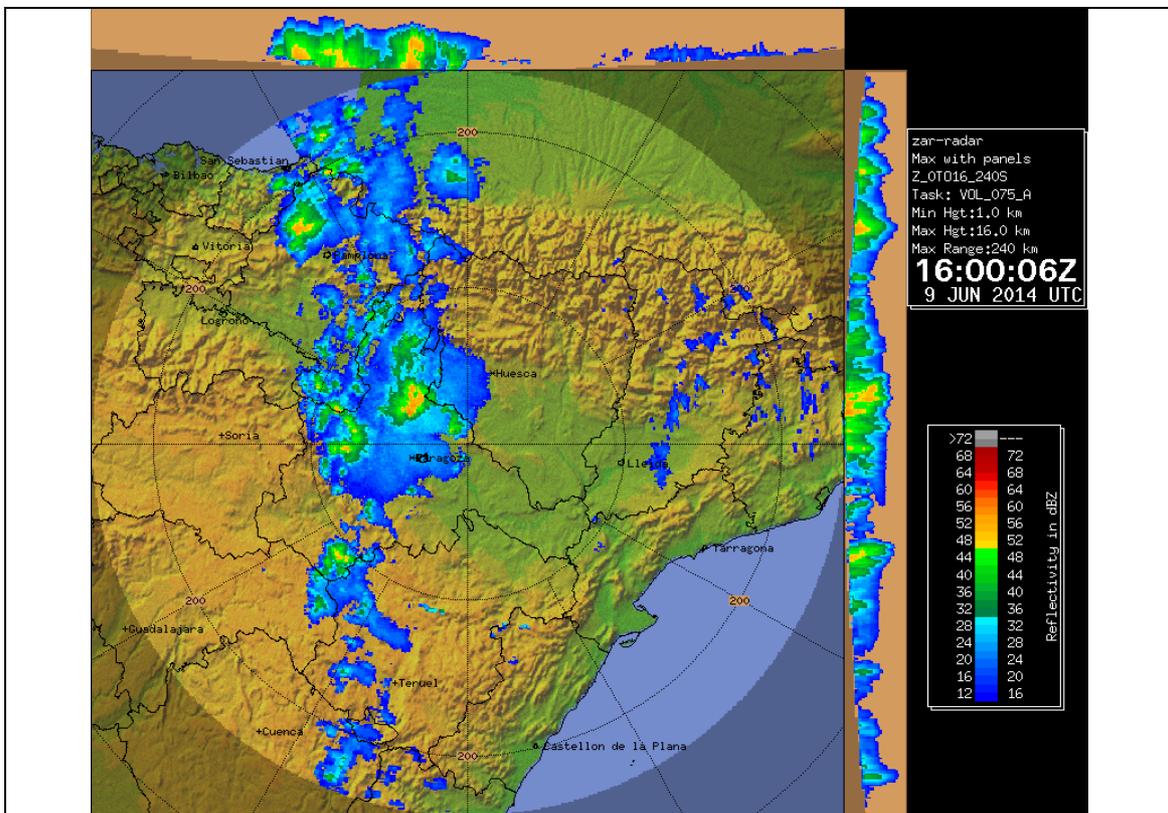


Figura 27. Imagen de Máximos de Reflectividad en paneles del día 9 de junio de 2014 a las 16:00 UTC.

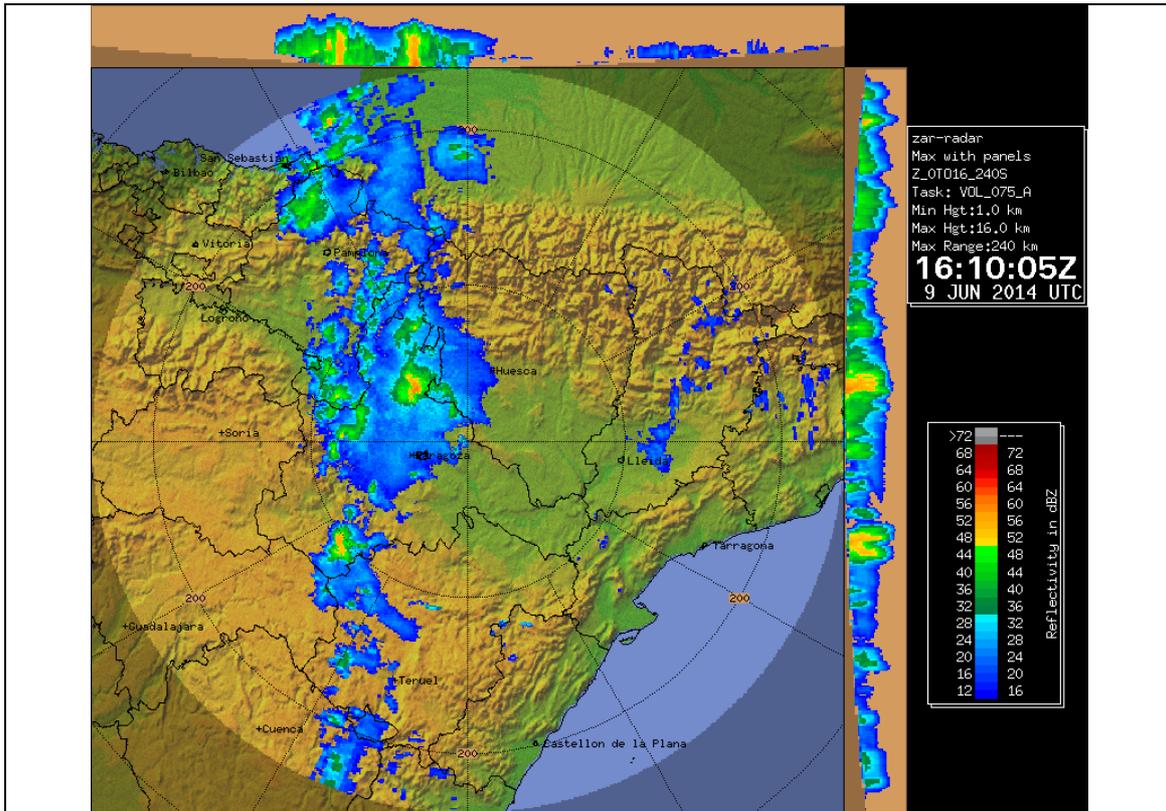


Figura 28. Imagen de Máximos de Reflectividad en paneles del día 9 de junio de 2014 a las 16:10 UTC.

En las figuras 29 a 31 se presentan las salidas de los módulos 2D y 3D de la aplicación YRADAR para la identificación, caracterización, seguimiento y extrapolación de la convección (Martín et al., 2001). En las tres imágenes 2D que cubren el intervalo entre las 16:00 y las 16:20 aparece identificada una estructura convectiva de cierto tamaño (más de 300 km²), con reflectividades máximas intensas, superiores a 60 dBZ que se mueve en dirección N. En cuanto a las imágenes del módulo 3D, dentro de esa estructura convectiva de cierto tamaño, aparece identificada una célula 3D muy intensa y con importante desarrollo vertical. Sus parámetros caracterizan la posible adversidad o severidad, reflectividades muy intensas (60 dBZ), espesor importante (9 km), Ecotop muy elevado (entre 11.5 y 12.5 km), y densidad de VIL muy alta (entre 2.6 y 3.1 g/cm³). Además, estas características se mantienen de manera persistente al menos entre las 15:30 y las 17:00. La densidad de VIL es un parámetro muy útil para el diagnóstico de la convección introducida por Amburn y Wolf (1997). Trata de normalizar el valor del VIL con respecto a la extensión vertical de la tormenta, y ha sido utilizada con bastante éxito para discriminar entre nubes convectivas generadoras de granizo severo y no severo. Este parámetro no necesita información del entorno y sólo se basa en datos del propio radar. Estos autores señalan valores de 3,5 g/cm³ en EE.UU. como umbral para separar células potencialmente generadoras de granizo. En nuestro entorno (San Ambrosio, 2004) parece que con valores inferiores el riesgo de encontrar granizo severo es ya importante. Por otro lado hay que destacar que el módulo 3D de la aplicación YRADAR asigna a la célula que afectó a Erla y Luna durante todo su ciclo de vida un desplazamiento en dirección NNE muy claro, consistente y robusto. No se aprecia en ningún momento que esta célula tenga un movimiento anómalo a la derecha o izquierda del flujo principal que nos lleve a pensar que se trata de una supercélula.

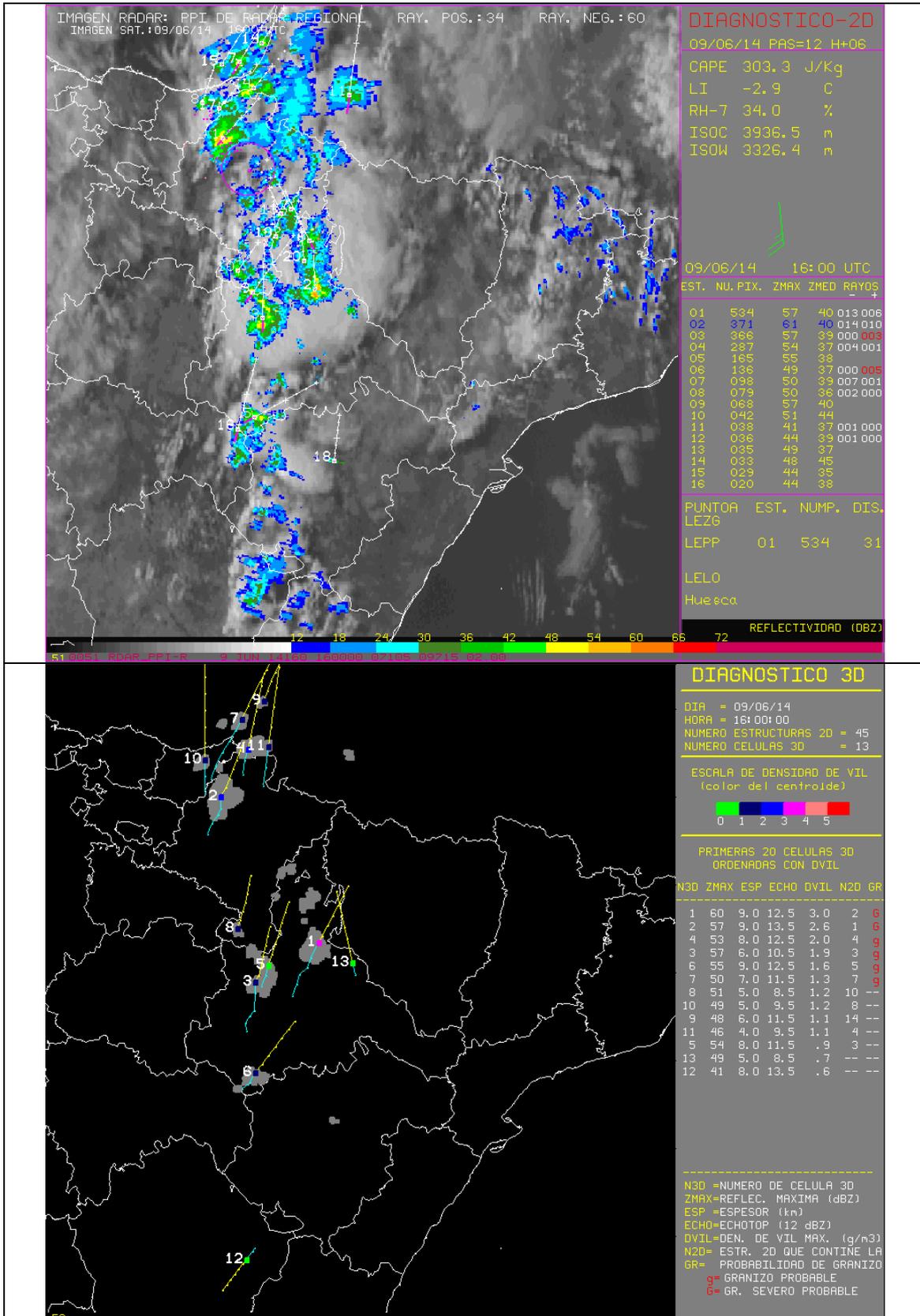


Figura 29. Imágenes de la aplicación YRADAR del día 9 de junio de 2014 a las 16:00 UTC, salida del módulo de diagnóstico 2D (arriba) y del módulo de diagnóstico 3D (abajo).

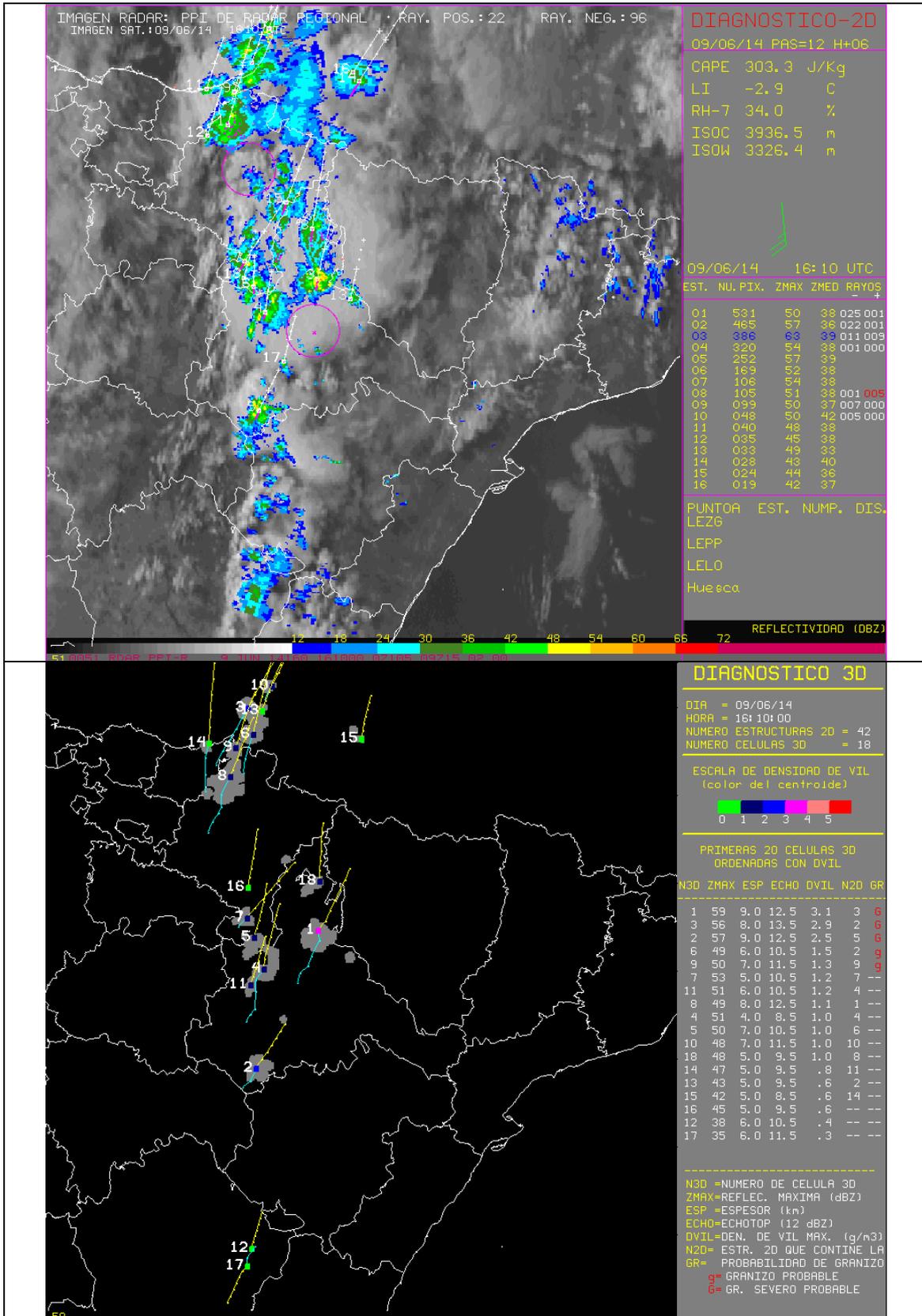


Figura 30. Imágenes de la aplicación YRADAR del día 9 de junio de 2014 a las 16:10 UTC, salida del módulo de diagnóstico 2D (arriba) y del módulo de diagnóstico 3D (abajo).

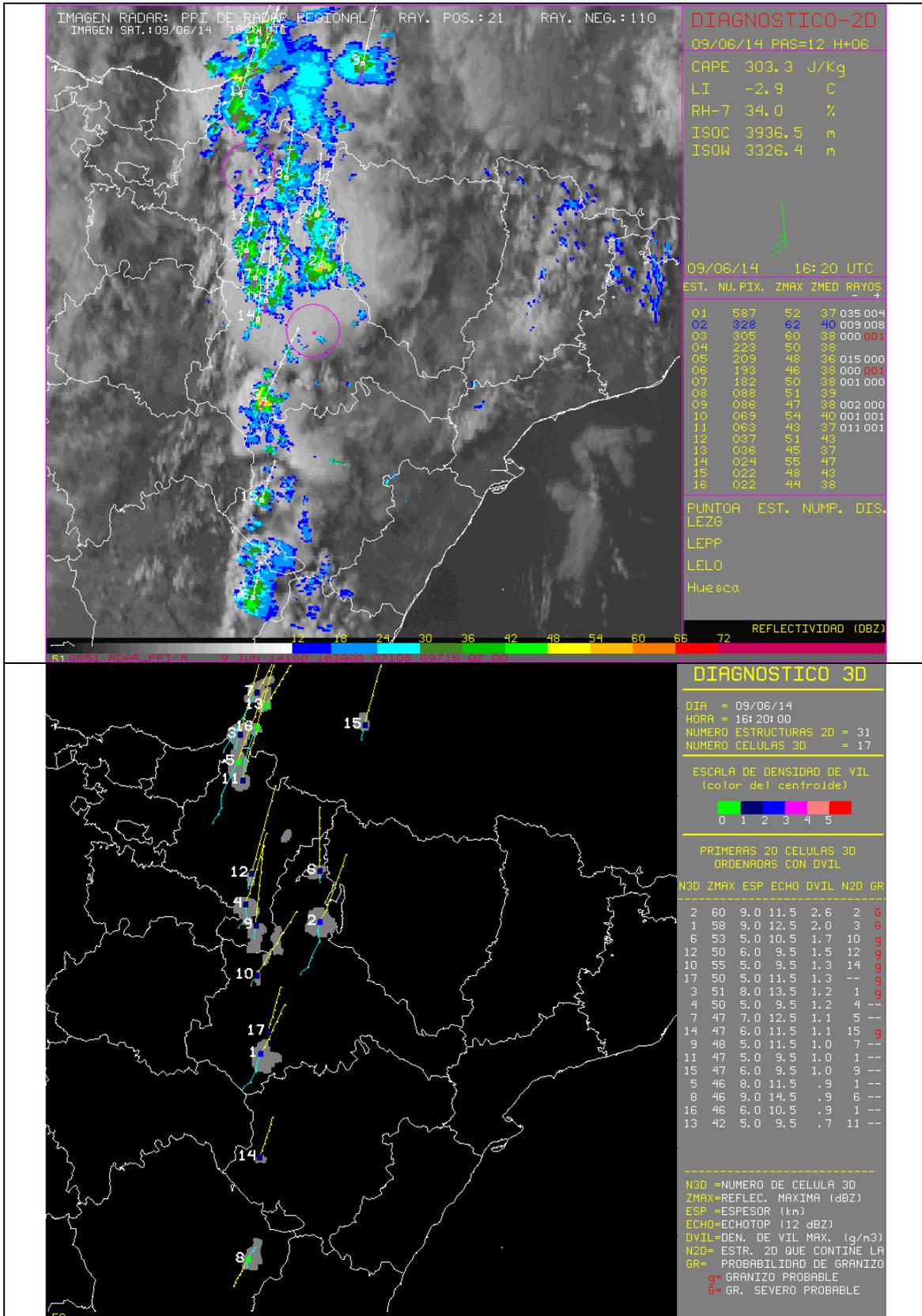


Figura 31. Imágenes de la aplicación YRADAR del día 9 de junio de 2014 a las 16:20 UTC, salida del módulo de diagnóstico 2D (arriba) y del módulo de diagnóstico 3D (abajo).

En las figuras 29 a 31 junto con las salidas del módulo 2D se pueden ver también los datos de la red de detección de descargas eléctricas. Se puede comprobar que en el área de cobertura del radar de Zaragoza hubo una considerable actividad eléctrica consecuencia de las tormentas que se desarrollaron. Como se ve en las imágenes presentadas se detectan entre 100 y 150 rayos cada 10 minutos en el área de cobertura del radar, y aunque no hay un predominio de rayos positivos, se puede considerar una actividad más que significativa. Por otro lado, dentro de la aplicación YRADAR se hace una asignación de rayos a las diferentes estructuras convectivas identificadas. De esta manera se puede comprobar que a la célula que nos interesa se le asignan entre las 16:00 y las 16:20 un total de 34 rayos negativos y 27 positivos. Hay que señalar que en esta aplicación sólo se consideran las descargas nube-tierra, y no las nube-nube, con lo cual podría haber habido actividad eléctrica de este último tipo no detectada y que no queda reflejada en estas imágenes.

Si analizamos los datos VAD (figura 32) del radar de Zaragoza, se comprueba que el perfil de vientos obtenido es similar a los perfiles que hemos visto en el apartado de sondeos (figuras 18, 19 y 20). En la figura 32 se pueden ver el perfil y hodógrafa de las 16:00 UTC y la evolución cada 30 minutos desde las 12:00 hasta las 18:00 UTC. En general lo que más destaca es la fuerte cizalladura vertical del viento, concentrada sobre todo en capas bajas, por debajo de unos 2 km de altura, y además podemos ver en la hodógrafa de las 16:00 UTC la marcada curvatura, sobre todo en estos niveles cerca del suelo, en el sentido de las agujas del reloj. La mayor cizalladura en niveles bajos supone un entorno favorable a la organización de la convección en líneas de turbonada y en especial en "bow echoes", y por otro lado la curvatura de la hodógrafa pone de manifiesto un entorno que posibilitaría el desarrollo de supercélulas con giro ciclónico.

Las supercélulas son estructuras convectivas con un muy alto grado de organización interna y se caracterizan principalmente por poseer una zona persistente de fuertes corrientes ascendentes en rotación (mesovórtice), que generalmente son de tipo ciclónico (mesociclón). Datos registrados en EEUU revelan que el 90 % de las supercélulas llevan asociados fenómenos severos en superficie: tornados, granizo de gran tamaño o vientos muy intensos (Burgess & Lemon, 1991). La mitad de las mismas generan tornados violentos en superficie (Burgess & Lemon, 1990; Moller et al, 1994). Y por otro lado, las supercélulas con mesovórtices en niveles bajos (1-3 Km) son las más proclives a generar tornados (Burgess et al, 1995).

Para caracterizar estas estructuras supercelulares es importante poder detectar esas rotaciones mesoescales, lo cual en ocasiones se puede hacer con datos volumétricos del radar, especialmente en modo Doppler. Aún así, y como señalan San Ambrosio y López (2013), la presencia de un mesovórtice en altura no implica la presencia de un tornado en superficie, ya que en muchas ocasiones dicho mesovórtice no se desploma hacia superficie y no se produce el tornado. Además, existen también tornados, no muy violentos, que se pueden generar por otros mecanismos no asociados a las supercélulas. Por lo tanto, el hecho de disponer de los datos del radar de Zaragoza en modo normal (reflectividad) y en modo doppler (reflectividad y velocidad radial de los ecos) que nos permitan identificar las características tridimensionales de la estructura de reflectividad y la presencia de rotaciones típicas de una supercélula, no supondría tampoco una condición necesaria ni suficiente para certificar la existencia de un tornado. Sí que sería, sin duda alguna, un elemento clave muy importante de cara a garantizar la existencia de unas condiciones idóneas para el

desarrollo del mismo, pero seguiríamos necesitando evidencias directas del tornado tomadas sobre el terreno.

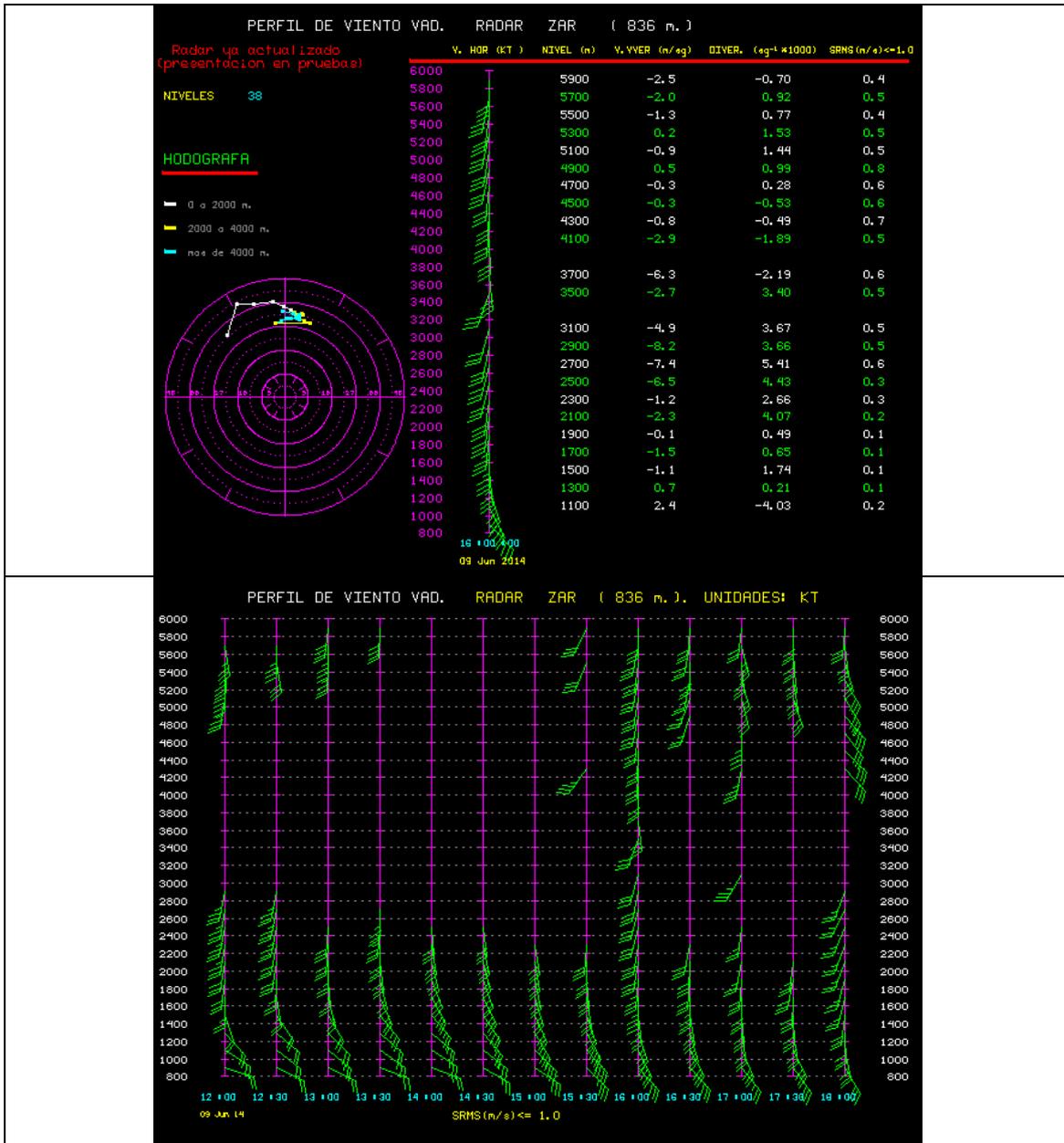


Figura 32. Perfiles de viento VAD del radar de Zaragoza el día 9 de junio de 2014. Perfil de las 16:00 UTC con hodógrafa (arriba) y perfiles semihorarios entre las 12:00 y la 18:00 UTC (abajo).

Al analizar las imágenes de viento radial entre las 15:56 y las 16:16 UTC, figuras 33 a 35, lo primero que se aprecia es la presencia de ecos en la parte central de la imagen que reflejan el flujo general en niveles bajos de componente SE, que asciende por el valle del Ebro. Se puede ver también unos ecos al N de la ciudad de Zaragoza que corresponden a la estructura convectiva que nos ocupa y que presentan una apariencia anómala en relación con ese flujo general. Estos ecos están asociados a la línea de turbonada que identificábamos anteriormente. Esta estructura en el viento radial se ajusta perfectamente a lo que sería el modelo conceptual de “bow echo” (figura 35), en el que ese máximo de vientos acercándose al radar es una clara

evidencia de la presencia del “rear inflow jet” (chorro descendente trasero), tal y como está descrito en Markowski & Richardson (2010), y como se puede ver también en San Ambrosio & López (2013). En ninguna de las imágenes de viento radial analizadas se llega a apreciar una estructura que se pueda asimilar al modelo conceptual de mesociclón. Por otro lado, como continuación de lo que se ha comentado en el apartado de sondeos y según Martín et al. (2001), los macrorreventones, “macroburst”, son descendencias que pueden llegar a poseer dimensiones horizontales superiores a los 4 Km y llegan a ser tan intensos que generan daños parecidos a los de un tornado. Su duración oscila entre los 3 y 30 minutos, con vientos que pueden llegar a los 216 km/h.

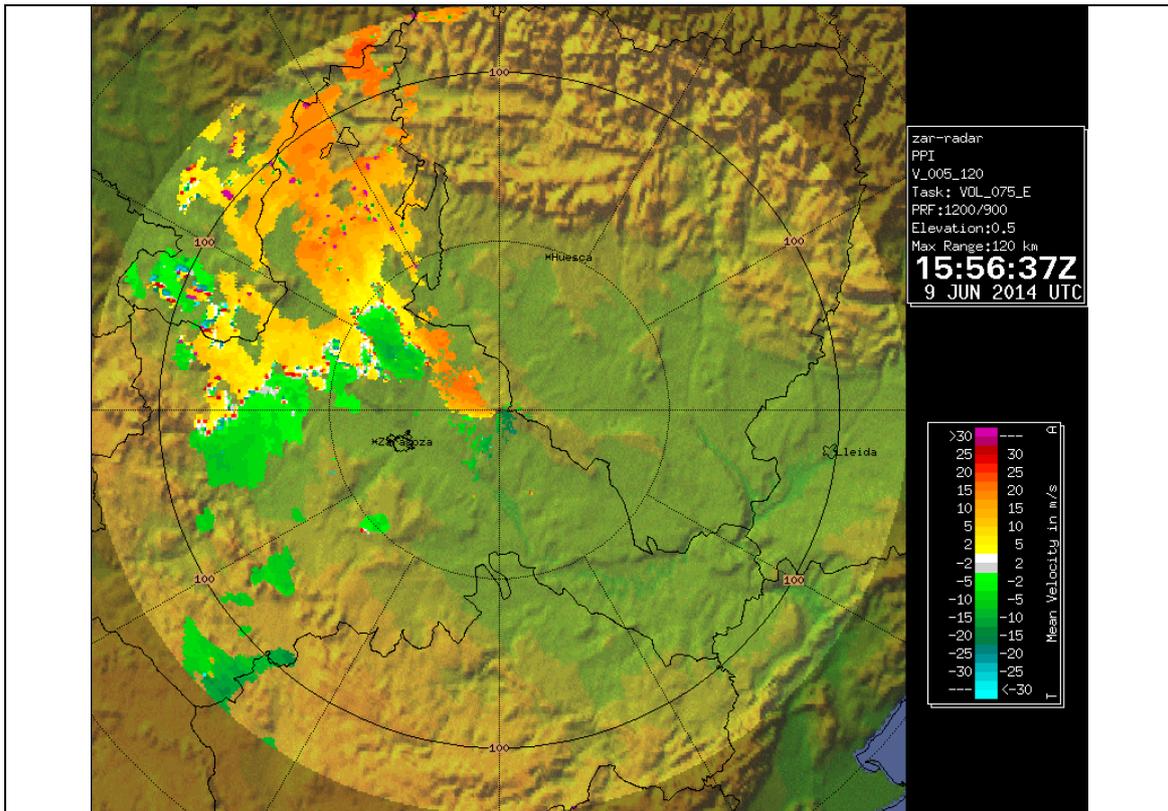


Figura 33. Imagen de viento radial del radar de Zaragoza del día 9 de junio de 2014 a las 15:56 UTC.

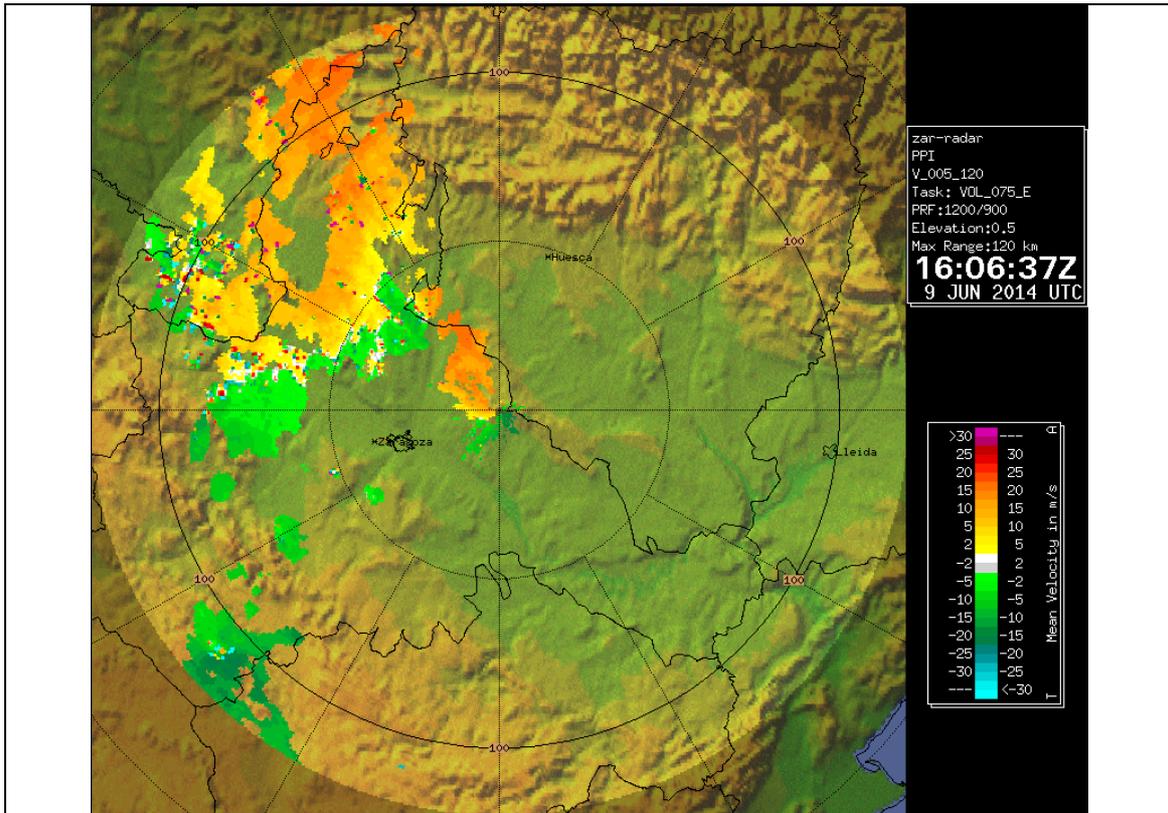


Figura 34. Imagen de viento radial del radar de Zaragoza del día 9 de junio de 2014 a las 16:06 UTC.

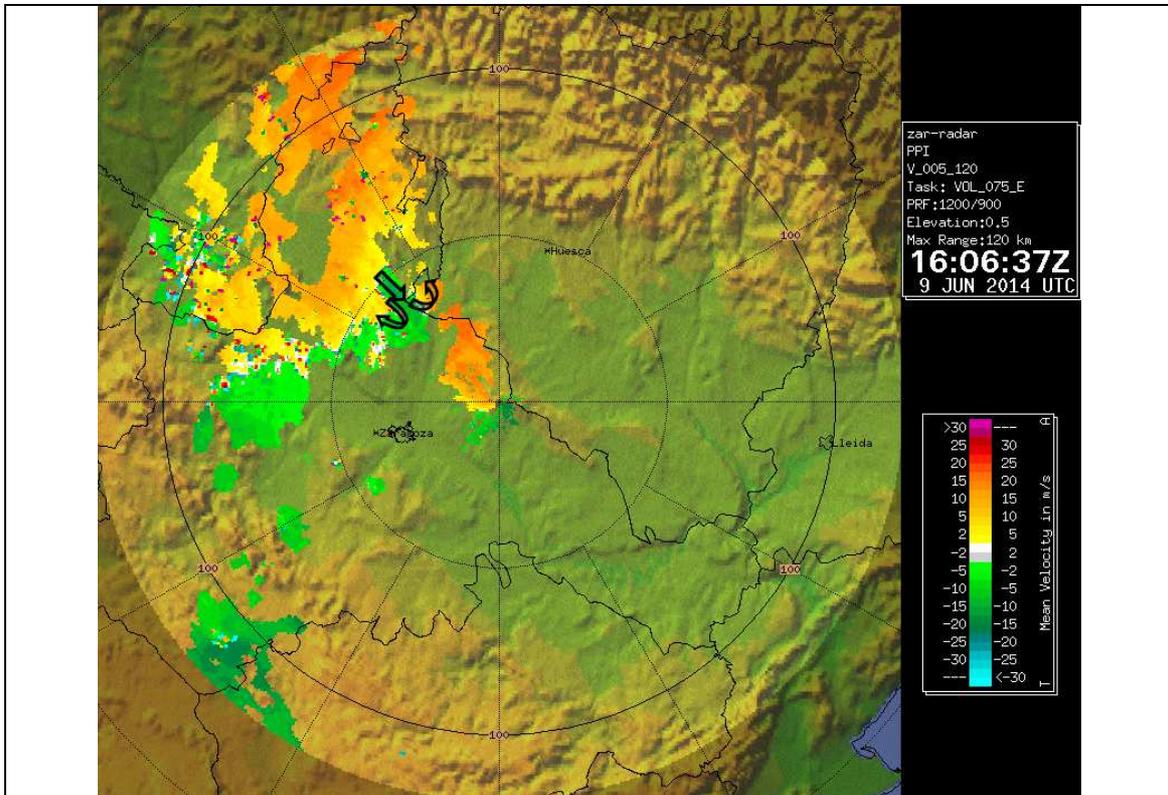


Figura 35. Esquema aproximado del modelo conceptual de flujos en un "bow echo" sobre la imagen de viento radial del día 9 de junio de 2014 a las 16:06 UTC (elaborada por F. Javier Rodríguez Marcos).

6. DATOS OBSERVADOS DE LA RED DE EMAS

En este apartado, se estudian los datos meteorológicos más relevantes de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de interés. Se presentan datos de la red de AEMET y de la red SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro. Así como en el “Informe sobre las rachas de viento huracanadas asociadas a la convección profunda y muy organizada del día 4 de octubre de 2013 en Biota (Zaragoza)” (San Ambrosio y López, 2013) se pudieron utilizar datos de viento recogidos por sensores de una planta fotovoltaica, en este caso no ha sido posible obtener los registros de viento de la planta afectada en Luna.

El reanálisis del día 9 de junio (figura 36) muestra que se produjeron precipitaciones abundantes en una banda de dirección N-S que recorre la Península desde Navarra, N y W de la provincia de Zaragoza, W de Teruel y continúa hacia las provincias de Alicante y Murcia. Las cantidades máximas registradas fueron 17,4 mm en La Almunia de Doña Godina y 11,2 mm en Castejón de Valdejasas, ambos en la provincia de Zaragoza.

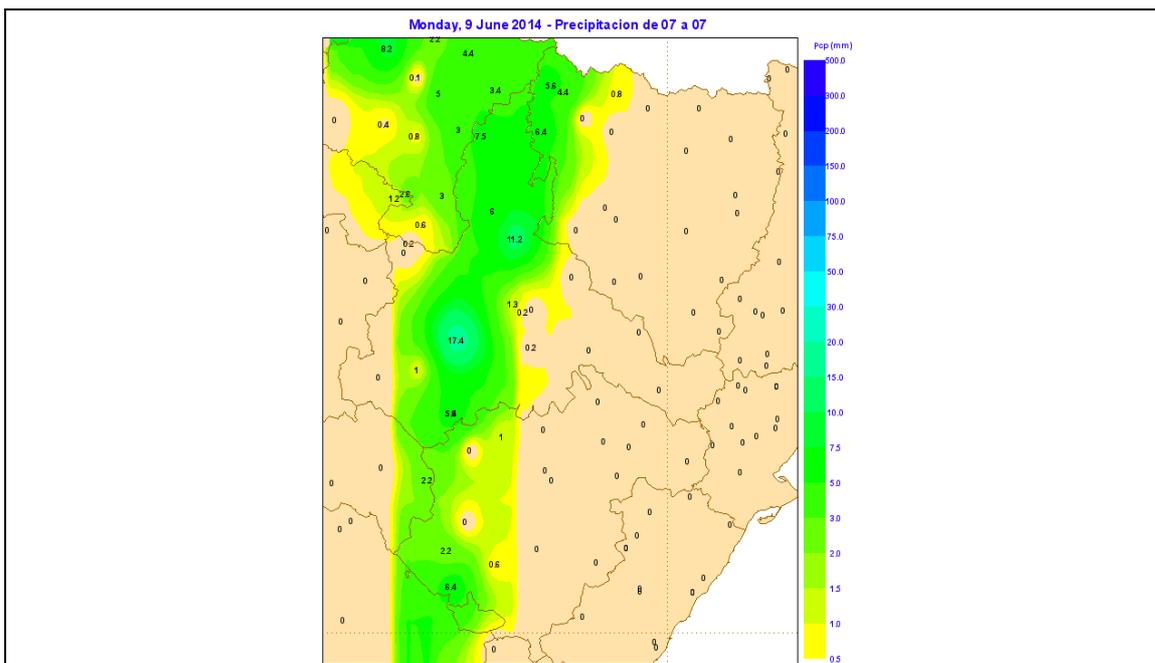


Figura 36. Análisis de precipitación de 07 UTC del día 9 de junio de 2014 a 07 UTC del día siguiente.

En los análisis de viento (figura 37) también se observa una franja menos definida con valores más intensos de rachas máximas que se extiende también en dirección N-S. Dentro de ella se puede destacar una zona con valores superiores a 71 km/h que se extiende por el área de interés, abarcando el límite entre las provincias de Zaragoza y Huesca y que se extiende hacia el N de Zaragoza, NW de Huesca y NE de Navarra.

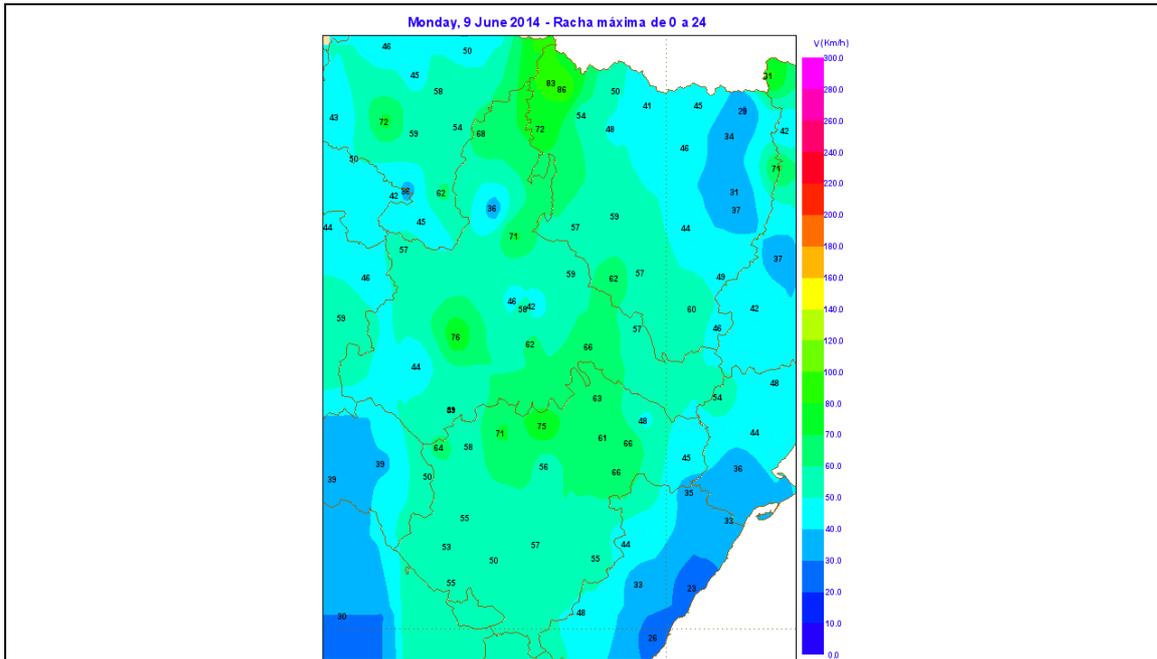


Figura 37. Análisis de rachas máximas de viento del día 9 de junio de 2014.

6.1 Estaciones automáticas de AEMET.

Analizaremos en primer lugar los datos procedentes de las EMAs (red de estaciones automáticas) de AEMET, que toman datos de forma continua de diferentes variables meteorológicas, centrándonos en el viento y la precipitación. Los datos que se presentan, tomados del SEMA, son todavía provisionales y pendientes de verificar. En la figura 38 se muestran las estaciones automáticas (tanto de AEMET con del SAIH de la Confederación Hidrográfica del Ebro) que se han utilizado para este informe y que se encuentran próximas a la zona de interés de Erla y Luna.

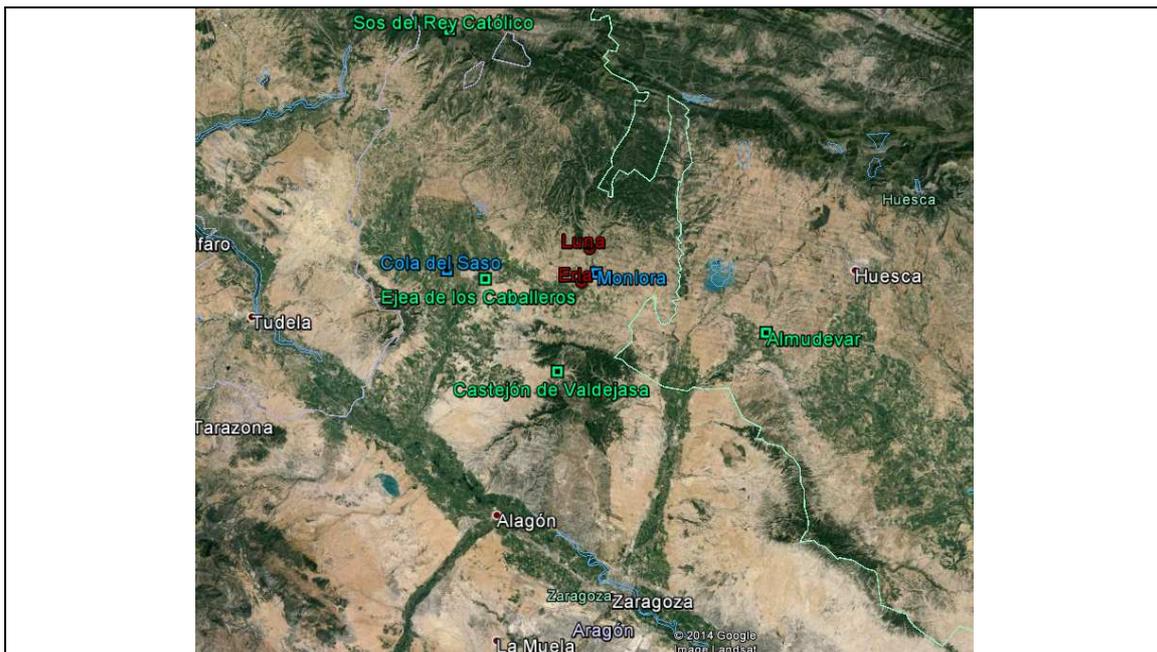


Figura 38. Estaciones automáticas (EMAs) en el entorno de la zona de estudio. Se representan los municipios afectados (rojo), EMAs de AEMET (verde) y de la Confederación Hidrográfica del Ebro (azul).

En la tabla 1 se muestran las precipitaciones máximas en 12 horas, en 1 hora y en 10 minutos. Las precipitaciones más intensas se produjeron entre las 15:00 y las 20:00 UTC y parecen corresponder al paso de diferentes estructuras convectivas embebidas dentro del SCM que permaneció cuasiestacionario sobre el E de la península Ibérica. Las intensidades llegaron a tener carácter moderado, en Sos del Rey Católico, y fuerte en Castejón de Valdejasa. En parte este carácter cuasiestacionario de este SCM se puede apreciar al contrastar con los datos de la EMA de Almudévar, municipio de la provincia de Huesca situado a unos 30 km al E de la zona de interés. Se puede comprobar que en esta estación no se registró precipitación, al no verse afectada por la convección durante este evento. Más adelante analizaremos también el registro de los datos de viento de esta población.

Estación	PCP en 12 horas		PCP en 1 hora		PCP en 10 minutos	
	PCP	Hora final	PCP	Hora final	PCP	Hora final
SOS DEL REY CATÓLICO (ZARAGOZA)	7,5	20:30	5,4	18:30	2,5	18:20
CASTEJON DE VALDEJASA (ZARAGOZA)	11,2	21:00	7,6	16:30	5,0	16:10
EJEA DE LOS CABALLEROS (ZARAGOZA)	6,0	20:30	2,8	20:30	1,0	19:50
ALMUDÉVAR (HUESCA)	0,0	-	0,0	-	0,0	-

Tabla 1. Valores de precipitación de estaciones automáticas de AEMET del día 9 de junio de 2014 (horas en UTC).

En las figuras 39 a 41 se observa perfectamente en los registros de precipitación el paso de las diferentes estructuras convectivas por las EMAS consideradas. En general las precipitaciones que dejan son de poca intensidad, destacando en especial las precipitaciones recogidas en Sos del Rey Católico en torno a las 18:00 UTC (figura 79) y las de Castejón de Valdejasa hacia las 16:00 UTC (figura 80). Esta última es, posiblemente, la célula convectiva que afectó a Erla y Luna.

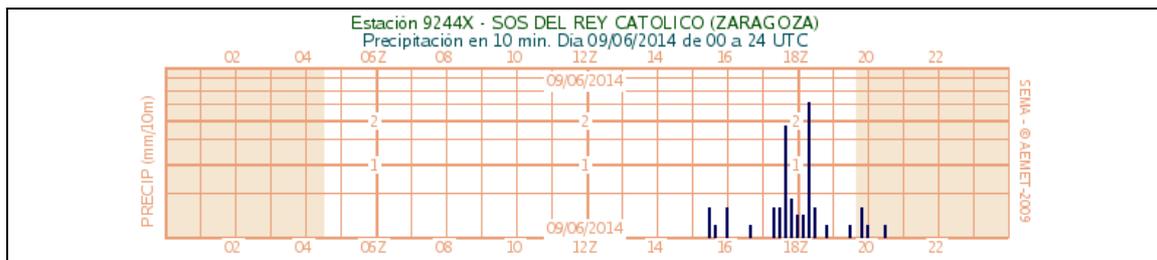


Figura 39. Gráfico de precipitación de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Sos del Rey Católico (Zaragoza).

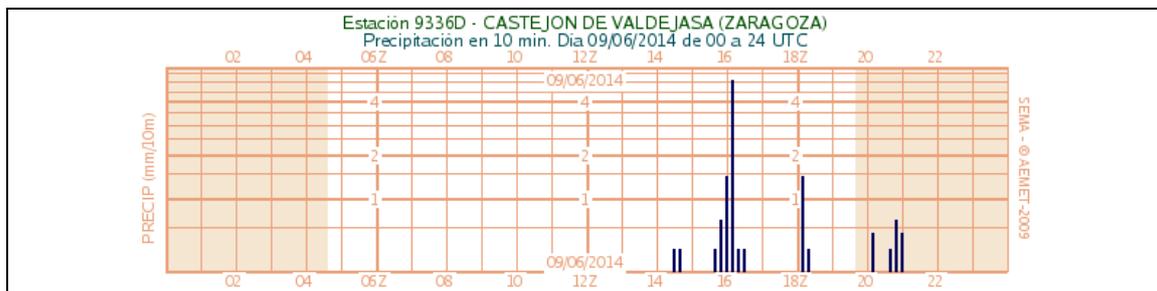


Figura 40. Gráfico de precipitación de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Castejón de Valdejasa (Zaragoza).

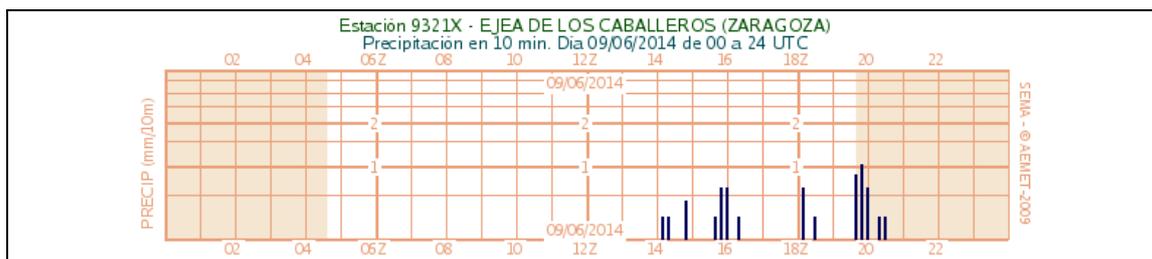


Figura 41. Gráfico de precipitación de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Ejea de los Caballeros (Zaragoza).

En la tabla 2 se puede observar que los datos de viento máximo no superaron los 71 km/h en ninguna estación. La hora del valor máximo, en Castejón de Valdejasa (16:00 UTC) coincide con la máxima precipitación en esta EMA y también con la hora en que se produjeron los daños en las localidades de Erla y Luna. Este máximo de viento es de dirección SW, y los registrados en otras estaciones son del E o del SE.

Estación	V. max (km/h)	Dirección	Hora UTC
SOS DEL REY CATÓLICO (ZARAGOZA)	68,4	139	17:20
CASTEJON DE VALDEJASA (ZARAGOZA)	70,9	230	16:00
EJEA DE LOS CABALLEROS (ZARAGOZA)	36,0	107	15:40
ALMUDÉVAR (HUESCA)	57,2	102	13:40

Tabla 2. Valores de rachas máximas de viento en algunas EMAs de AEMET del día 9 de junio de 2014.

En las gráficas de Sos del Rey Católico, Castejón de Valdejasa, Ejea de los Caballeros y Almudévar (figuras 42 a 45) se observa un predominio de vientos de dirección E o SE, consistente con el flujo predominante en capas bajas que asciende por el valle del Ebro, aportando aire cálido y húmedo del Mediterráneo. Las rachas más intensas en Sos del Rey Católico se producen a las 17:20, sin un cambio marcado en la dirección del viento. Este máximo coincide con el paso de una estructura convectiva (no se dispone de la figura) por el E de esta localidad desplazándose hacia el N. En el caso de Castejón de Valdejasa el máximo de viento se produce a las 16:00 con un cambio importante en la dirección del viento, que pasa de ser del E a tener componente SW. Este dato es consistente con el paso por esta zona del “bow echo” descrito antes y representado en las figuras 28, 34 y 35, y supone la presencia de un “rear inflow jet” de componente W. En Almudévar la racha máxima tiene lugar a las 13:40, y sin cambios en la dirección del viento, que se mantiene constante durante todo el día, de dirección E, no estando afectada por la convección que se desarrollaba en las Cinco Villas. En las gráficas de la estación de Ejea de los Caballeros se aprecia en general un viento de dirección menos uniforme y con rachas menos marcadas que en las otras estaciones.

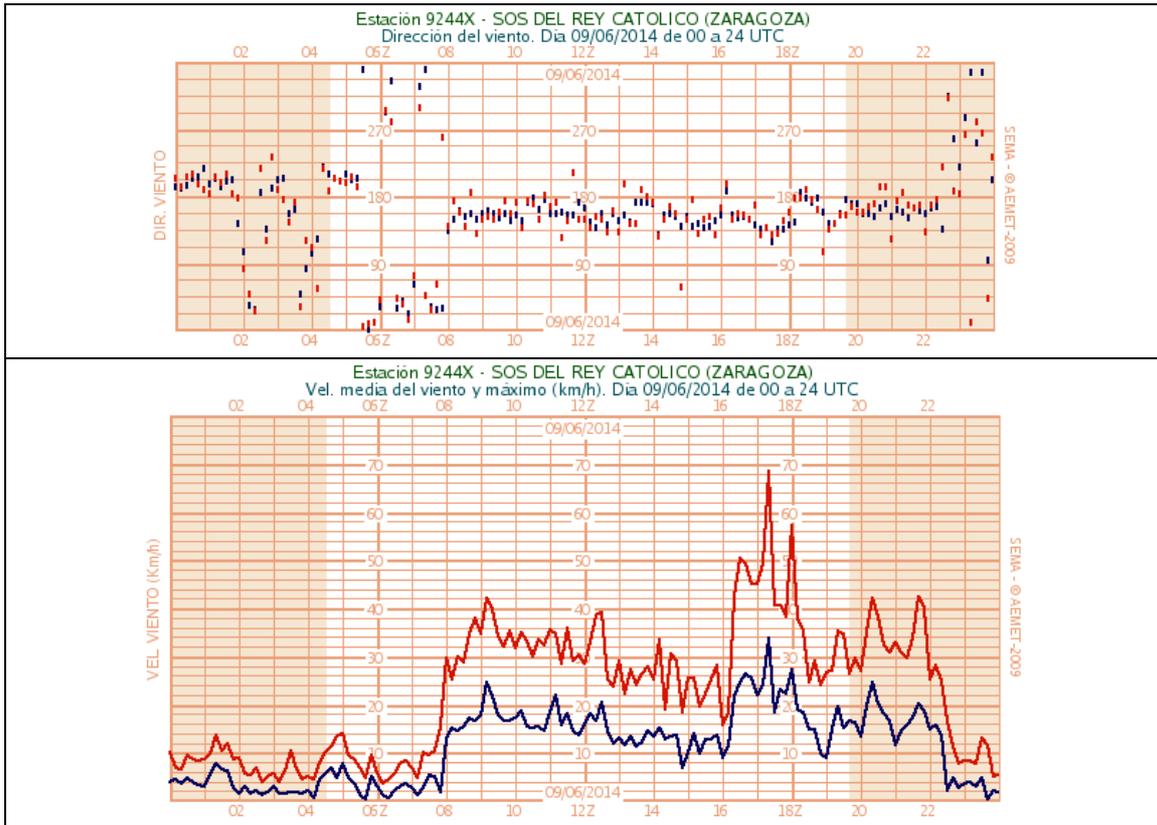


Figura 42. Gráficos de dirección (arriba) y velocidad media y rachas de viento (abajo) de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Sos del Rey Católico (Zaragoza).

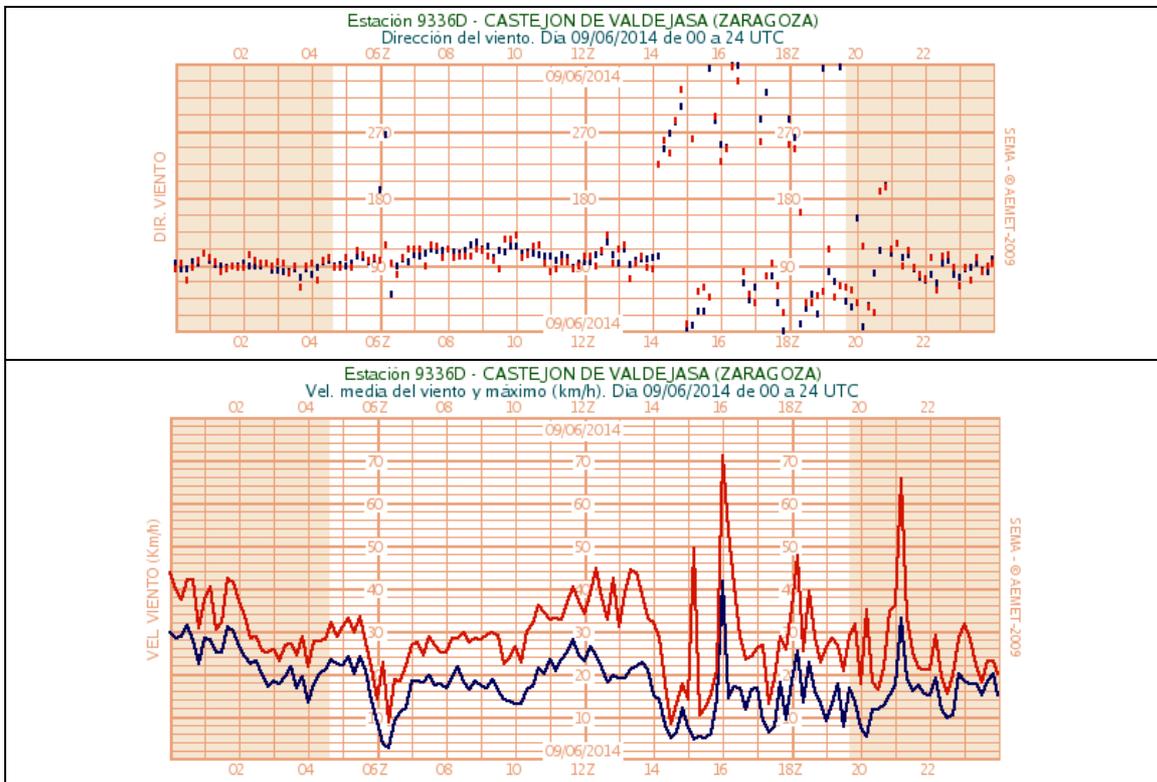


Figura 43. Gráficos de dirección (arriba) y velocidad media y rachas de viento (abajo) de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Castejón de Valdejasa (Zaragoza).

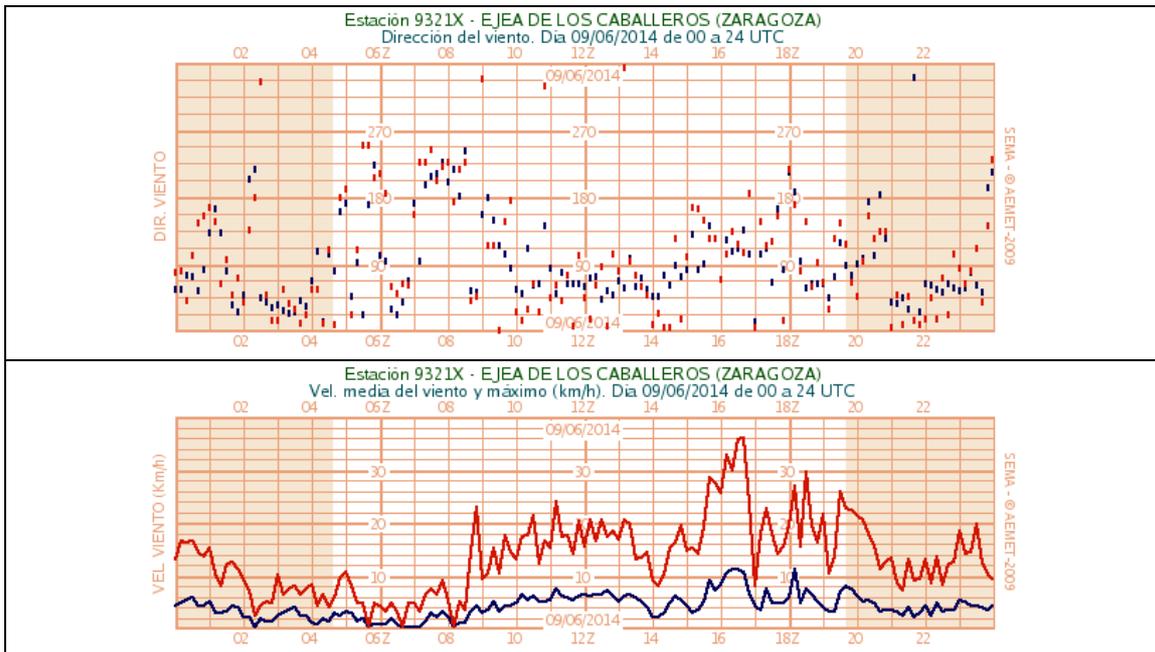


Figura 44. Gráficos de dirección (arriba) y velocidad media y rachas de viento (abajo) de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Ejes de Los Caballeros (Zaragoza).

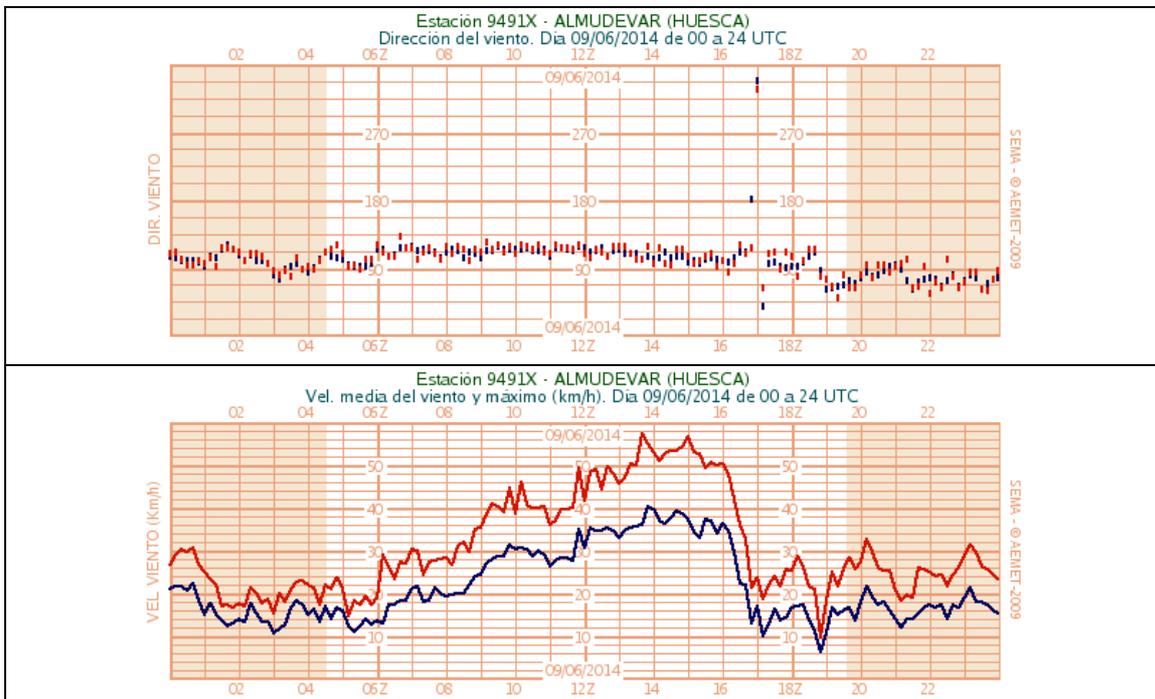


Figura 45. Gráficos de dirección (arriba) y velocidad media y rachas de viento (abajo) de 00 a 24 UTC del día 9 de junio de 2014 en la EMA de Almudévar (Huesca).

6.2 Estaciones automáticas de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

Se van a analizar también los datos de las dos estaciones automáticas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (SAIH Ebro) cercanas a esta zona (figura 38). En este caso sólo se dispone de datos de precipitación, no de viento. Los datos, ver tabla 3, son consistentes con los aportados por las estaciones de AEMET, mostrando que los máximos de precipitación en 12 y en una hora coinciden con los datos anteriores.

En la tabla 4, se pueden ver los datos de precipitación cada 15 minutos en la estación automática de Monlora, estación muy próxima a la localidad de Erla. El máximo de precipitación en esta estación (realzado en color naranja) coinciden con el paso de la estructura convectiva ya mencionadas y que pudo tratarse de un “bow echo”. Estos datos son perfectamente consistentes con los máximos de precipitación y de viento registrados en la EMA de Castejón de Valdejasas, afectada muy posiblemente por esta misma estructura convectiva.

Estación	PCP en 12 horas		PCP en 1 hora	
	PCP	Hora final	PCP	Hora final
COLA DEL SASO. BARDENAS (Zaragoza)	9,8	20:30	8,4	18:15
MONLORA (Zaragoza)	8,4	18:45	7,2	16:45

Tabla 3. Valores de precipitación en estaciones automáticas SAIH Ebro del día 9 de junio de 2014 (horas en UTC).

Datos de EBR_R029. MONLORA (ZARAGOZA)	
Precipitación en los 15 minutos previos, día 9 de junio de 2014	
Hora UTC	Pcp (mm)
16:00	0.0
16:15	0.0
16:30	6.8
16:45	0.4
17:00	0.0
17:15	0.0
17:30	0.0
17:45	0.2
18:00	0.0
18:15	0.0
18:30	0.8
18:45	0.2
19:00	0.0

Tabla 4. Valores de precipitación en intervalos de 15 minutos en Monlora, estación automática SAIH Ebro del día 9 de junio de 2014.

7. CONCLUSIONES

- El análisis sinóptico y mesoescalar confirma que había un entorno favorable para la convección.
- El estudio de los índices de diagnóstico convectivo nos indica que sobre el E peninsular había una marcada inestabilidad, sobre todo en un banda N-S que va desde Navarra hacia Murcia, y además una fuerte cizalladura vertical del viento en la zona N de esta banda. Este entorno preconvectivo es especialmente favorable para el desarrollo de convección profunda muy organizada.
- En el radiosondeo de Zaragoza y sondeos previstos por el modelo HIRLAM 0.16 se aprecia una forma en el perfil de temperaturas característica en “V” invertida que denota una capa seca y profunda en niveles bajos que favorece especialmente el desarrollo de convección con precipitaciones escasas y sobre todo con corrientes descendentes intensas (reventones).
- El radiosondeo de Zaragoza, los datos de sondeos previstos del modelo numérico HIRLAM 0.16 para la zona y los datos VAD del radar de Zaragoza, denotan que la cizalladura vertical del viento era especialmente intensa entre superficie y unos 2 Km de altura, es decir estaba confinada en niveles bajos de la atmósfera, lo cual supone un entorno favorable al desarrollo de convección profunda y a que ésta se pudiera organizar en líneas de turbonada, SCMs y/o en “bow echoes”.
- A través de las imágenes de satélite y de las imágenes de reflectividad del radar de Zaragoza se puede observar como la convección fue profunda, muy organizada, y como se formaron varios SCM sobre la banda de inestabilidad antes señalada. Estos SCM permanecieron casi estacionarios mientras las células convectivas en su interior se iban desplazando en general hacia el N o NE
- El área entre las localidades de Erla y Luna se vio afectada por una de estas estructuras entre las 16:00 y 16:20 UTC. En esos momentos en las imágenes de reflectividad se aprecia la formación de una estructura de tipo “bow echo”, estructura convectiva especialmente adversa que suele llevar asociado un frente de racha con especial intensificación de los vientos en superficie.
- Por otro lado, en las imágenes de viento radial del radar de Zaragoza se aprecian en esos momentos configuraciones significativas de viento que se corresponden con los patrones que hacen evidente la presencia del “rear inflow jet”, flujo descendente trasero de origen convectivo que interviene en la formación del frente de racha y del “bow echo” como tal.
- En ningún momento se aprecian patrones en las imágenes de viento radial que sean compatibles con la presencia de mesociclones, que estarían asociados a posibles supercélulas. Tampoco se aprecian trayectorias anómalas que pudieran corresponder con el desplazamiento hacia la derecha o la izquierda del flujo general de posibles estructuras supercelulares identificadas.
- **Con todo esto, y a falta de más evidencias sobre el terreno, lo más probable es que los daños producidos en el área abarcada por los municipios antes mencionadas se hayan producido por un frente de racha muy intenso asociado a un tipo de estructura convectiva altamente organizada, un “bow echo”. También puede haber influido la presencia de la capa seca y profunda en niveles bajos, intensificando las corrientes descendentes que conforman el frente de racha, en un proceso similar a un reventón seco. No se descarta que asociado a este “bow echo”, se pudiese haber desarrollado algún tornado de poca intensidad y de origen no supercelular.**

9. BIBLIOGRAFÍA

- Amburn, S. A. and P. L. Wolf (1997): "VIL Density as a Hail Indicator". *Wea. and Forecasting*, 12, 473-478.
- 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.
- Burgess, D. W., R. L. Lee, S. S. Parker, S. J. Keighton, and D. L. Floyd (1995): "A Study of mini supercells observed by WSR-88D radars". *Preprints, 27th Conference on Radar Meteorology*, Vail, Colorado, American Meteorological Society.
- Cáncer J. (2014): "Informe de Siniestralidad". Consorcio de compensación de seguros, Zaragoza, 13 de junio de 2014.
- Castán S. (2014): "Informe de efectos". Agencia Pericial para el consorcio de compensación de seguros. Cornellá 17 de junio de 2014.
- Fujita, T. T. (1986): "DFW Microburst on August 2, 1985," Univ. of Chicago, SMRP Res. Paper 217, (NTIS No. PB-86-131638), Jan 1986.
- Greene, D.R. and R.A. Clark (1972): "Vertically integrated liquid: a new analysis tool". *Mon. Wea. Rev.*, 100. 548-552.
- Kitzmiller, D.H., M.E. Churma and M.T. Filiaggi (1995): "Severe local storm and large-hail probability algorithms in the System for Convection Analysis and Nowcasting (SCAN)". *Techniques Development Laboratory*, Silver Spring, Maryland.
- Martín, F. et al (2001): "Diagnóstico y predicción de la convección profunda", *Nota Técnica STAP nº 35*, Instituto Nacional de Meteorología.
- Markowski & Richardson (2010): "Meso-scale Meteorology in Midlatitudes". Wiley-Blackwell.
- Moller, A. R., M. P. Foster, and G. R. Woodall (1994): "The operational recognition of supercell thunderstorm environments and storm structures". *Wea. Forecasting*, 9, 327-347.
- San Ambrosio I. (2004): "Módulo para la estimación de granizo basado en datos radar". *Nota Técnica STAP nº 44*, Instituto Nacional de Meteorología.
- San Ambrosio I. y B. P. López (2013): "Informe sobre las rachas de Viento huracanadas asociadas a la convección profunda y muy organizada del día 4 de octubre de 2013 en Bota (Zaragoza)". *Informe especial (D.T. de AEMET en Aragón)*.
- Stewart, S.R. (1991): "The prediction of pulse-type thunderstorms gusts using Vertically Integrated Liquid Water Content (VIL) and the Cloud Top penetrative downdraft mechanism". *NOAA Technical Memorandum NWS SR-136*.

AGRADECIMIENTOS

Para redactar este documento ha sido importante tener a nuestra disposición los informes de siniestralidad elaborados para el Consorcio de Compensación de Seguros por los peritos tasadores D. Jorge Cáncer Marín y D. Salvador Castán Bañeras.

Es también de agradecer la revisión, los comentarios y aportaciones hechas a este documento por Francisco Javier Rodríguez Marcos (Delegado Territorial de AEMET en Navarra), Francisco Martín León (Jefe del Área de Técnicas y Aplicaciones de Predicción de AEMET), Pablo López López (Delegación Territorial de AEMET en Aragón) y Samuel Buisán Sanz (Delegación Territorial de AEMET en Aragón).