

USO DE MODELOS NUMÉRICOS PARA LA PREDICCIÓN OPERATIVA DE CONVECCION SEVERA

Fermín Elizaga Rodríguez
Francisco Martín León

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP)
Instituto Nacional de Meteorología (INM)
C/ Leonardo Prieto Castro, 8 28071 Madrid
Tfno: 91 5819854
fermin.elizaga@inm.es

Resumen

La predicción de fenómenos convectivos severos es uno de los principales retos a los que se enfrentan los predictores en España. Para tratar de facilitar las tareas de predicción a corto plazo de tormentas, se han desarrollado en los últimos años herramientas y aplicaciones específicas basadas en los modelos numéricos operativos en el INM: HIRLAM y ECMWF. Los nuevos campos y parámetros, usados de forma combinada con las salidas directas de los modelos numéricos, proporcionan guías de predicción de las áreas en las que es más probable el desarrollo de fenómenos convectivos significativos. Para ilustrar el uso operativo de los nuevos desarrollos, se analiza la situación ocurrida el 23 de julio de 2003 en la que se desarrolló convección organizada en las proximidades de Alcañiz (Teruel), que dio lugar al desarrollo de granizo de gran tamaño y a la aparición de un tornado.

Palabras clave

Predicción de tormentas severas, tornados, CAPE, helicidad

Abstract

Severe weather phenomena forecasting are one of the most important challenges for the Spanish forecasters. To facilitate the short-range forecasting tasks of convective storms, specific tools and applications have been developed. They have based on operational NWP models used at the INM: HIRLAM and ECMWF. These include forecasting parameters as convective available potential energy (CAPE), convective inhibition (CIN), vertical wind shear, storm relative helicity (SRH), etc. They are used in conjunction with direct output fields and parameters, providing guidance about the areas in which the possibility of significant convective activity development is higher. The situation of 23 July 2003 has been selected to illustrate the operational use of new developments. In this situation, organized convection developed near Alcañiz (Teruel) and large hail and a tornado were reported.

Keywords

Severe storms forecasting, tornadoes, CAPE, helicity

1. INTRODUCCIÓN

Como es bien conocido, el tipo de fenómenos convectivos, así como la severidad de los mismos, dependen de las condiciones del entorno en el que se desarrollan y, fundamentalmente, de los procesos asociados con la flotabilidad de la burbuja y con la cizalladura vertical del viento (en este trabajo se adopta la definición usual de tormenta severa: si va acompañada de granizo superior a 2 cm de diámetro, de rachas de viento superiores a 50 kt o de tornado). Así, mientras la flotabilidad está relacionada con la

intensidad de las corrientes ascendentes y descendentes, la cizalladura vertical del viento ejerce el control fundamental sobre la organización de la convección.

En relación con la predicción a corto plazo los modelos numéricos son actualmente una herramienta insustituible, proporcionando las guías básicas para elaborar los productos de predicción. Estos modelos producen simulaciones cada vez más precisas y, aún a pesar de que todavía no son todo lo perfectos que sería de desear, se ha demostrado que contienen información muy útil acerca de la variación espacial y temporal de la estructura cinemática y termodinámica de la atmósfera, incluso para fenómenos convectivos de tipo severo (Stensrud et al., 1997).

Desde el punto de vista de la predicción, la combinación de un mejor conocimiento de los entornos favorables con guías numéricas más precisas deberá conducir a mejoras significativas en las tareas operativas. De lo que se trata, en esencia, es de anticipar la existencia de entornos potencialmente favorables para el desarrollo de fenómenos convectivos severos, de forma que se pueda mejorar tanto la predicción del lugar como del momento más probable para el desarrollo de las tormentas. Dada la gran cantidad de información que nos proporcionan los modelos numéricos, en bastantes ocasiones imposible de analizar con detalle bajo la presión de las tareas operativas, cada vez es más necesaria la existencia de procedimientos automáticos que analicen gran parte de esa información y presenten a los predictores productos sintéticos (Mills and Colquhoun, 1998).

El objetivo principal del proyecto ha sido desarrollar e implementar operativamente una herramienta de diagnóstico que, a partir de los datos básicos de los modelos numéricos, proporcione guías de predicción de las áreas en las que, en principio, es más probable que se desarrolle convección profunda y también sobre las características de los fenómenos que pueden aparecer en esas áreas.

La aproximación seguida está basada en la metodología de ingredientes (Doswell et al., 1986). Teniendo en cuenta que los ingredientes básicos para el desarrollo de convección profunda son la existencia de suficiente humedad, de un entorno condicionalmente inestable y la presencia de un mecanismo de disparo, el problema radica en determinar si estos ingredientes estarán presentes sobre una determinada zona al mismo tiempo. En esta línea, la herramienta trata de facilitar y mejorar la evaluación de esos ingredientes favorables, mediante el análisis de campos y parámetros avanzados derivados de modelos numéricos.

2. PRODUCTOS DISPONIBLES

Todos los campos y parámetros incluidos en la nueva herramienta de diagnóstico de fenómenos convectivos se obtienen a partir de la salida directa de los modelos HIRLAM (High Resolution Limited Area Model) y ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). Para el modelo HIRLAM se usan las pasadas de 00, 06, 12 y 18 UTC (períodos de predicción hasta H+48 o H+24 cada 6 horas) y para el ECMWF las pasadas de 00 y 12 UTC (períodos de predicción desde H+12 hasta H+60 cada 6 horas).

Estos nuevos productos pueden ser utilizados como un campo más de los modelos numéricos y pueden ser visualizados y combinados con otras fuentes de datos en las estaciones de trabajo de los predictores. Además, y aprovechando el cada vez mayor uso de la Intranet del INM por parte de los predictores, se han preparado aplicaciones específicas para la presentación de los mismos. Así, para cada período de predicción, se presentan en la

Intranet dos gráficos con cuatro paneles cada uno: en el primero se incluyen los que pueden considerarse campos y productos básicos para la evaluación de las condiciones favorables al desarrollo de fenómenos convectivos, mientras que en el segundo se completa la información con campos adicionales.

A continuación se detallan y se muestran ejemplos de los campos incluidos en cada uno de ellos.

2.1. Primer gráfico

Panel 1:

Índice Lifted (LI). Valores comprendidos entre 1 y -10. Proporciona una estimación de las zonas más inestables. Tanto en éste como en todos los otros parámetros relacionados con la evolución de la burbuja, las condiciones de partida de la misma son las condiciones promedio de los primeros 100 mb del sondeo.

Temperatura potencial del termómetro húmedo (THW) en 850 hPa. Útil para localizar masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad.

Panel 2:

Energía Potencial Convectiva Disponible (CAPE). Valores entre 100 y 3000 J/kg. Adecuado para delimitar zonas en las que la intensidad de las corrientes ascendentes puede ser mayor. Debe siempre tenerse en cuenta que tan importante como el valor del CAPE puede ser la distribución vertical de flotabilidad, por lo que siempre será necesario que el predictor analice el perfil vertical. Con este fin, los perfiles previstos por los modelos numéricos están disponibles para el predictor, tanto a través de Intranet como en las estaciones de trabajo.

Viento en superficie. Fundamental para la localización de zonas de convergencia.

Panel 3:

Helicidad relativa a la tormenta (SRH). Valores entre 100 y 500 m^2/s^2 . La helicidad es una medida de la componente horizontal de vorticidad paralela al flujo que alimenta la tormenta, y puede servir como una estimación de la capacidad para generar rotación en la corriente ascendente. En principio, valores superiores a 150 m^2/s^2 son significativos de cara al posible desarrollo de supercélulas (David-Jones et al., 1990)

Inestabilidad potencial (ESTW) en 700 hPa. Permite localizar zonas con inestabilidad potencial en el estrato 850-500 hPa, en las que la temperatura del termómetro húmedo disminuye con la altura.

Panel 4:

Áreas favorables para el desarrollo de distintos tipos de fenómenos convectivos (ACON). Este producto trata de resumir y presentar la información de diagnóstico para alertar al predictor sobre aquellas áreas en las que deberá llevar a cabo un diagnóstico más detallado, ya que se dan de forma conjunta una serie de condiciones favorables para el

desarrollo de fenómenos convectivos significativos. Aparecen en diferentes tonos las áreas favorables a convección profunda, las favorables a convección profunda organizada y las favorables para el desarrollo de estructuras supercelulares. Los criterios usados son los siguientes:

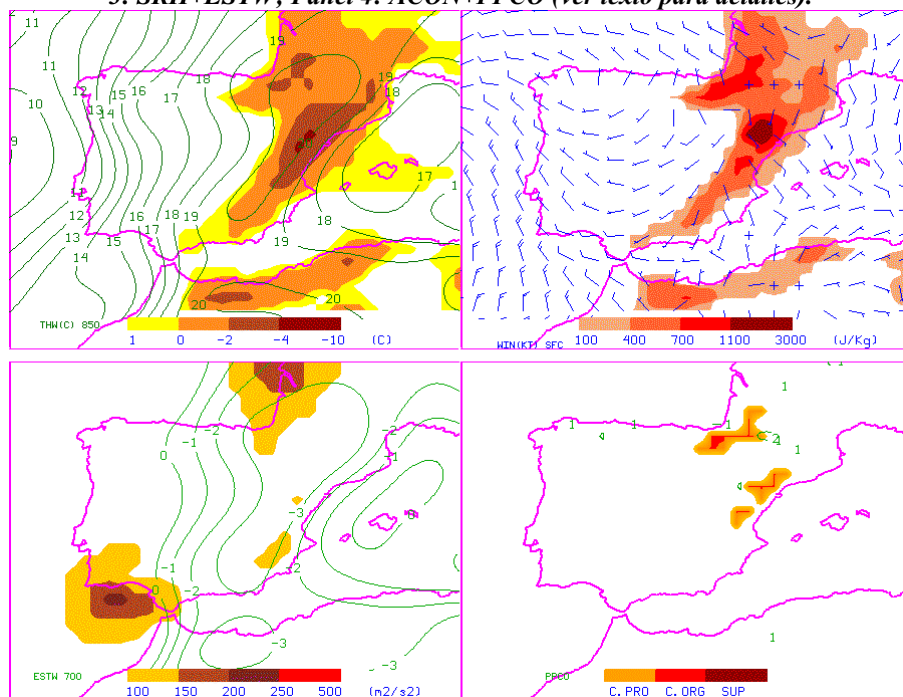
Tabla 1: Condiciones y criterios aplicados para la delimitación de las áreas favorables a fenómenos convectivos. CIN es la inhibición convectiva, CIZ6 es la cizalladura entre el viento medio en los primeros 500 m y el viento medio en los primeros 6 km y RH es la humedad relativa

Puntos grids favorables a	Condiciones necesarias
Convección profunda	Si $LI < 0$ y $CAPE > 600 \text{ J/kg}$ y $CIN < 300 \text{ J/kg}$
Convección profunda organizada	Si $CAPE > 700 \text{ J/kg}$ y $CIZ6 > 9 \text{ m/s}$ y $RH(700-500) < 60\%$
Supercélulas	Si es favorable a convección organizada y además $SRH > 150 \text{ m}^2/\text{s}^2$

Precipitación convectiva (PPCO) prevista en un intervalo de 6 horas. En el caso del HIRLAM, el intervalo de 6 horas se encuentra centrado en el momento de diagnóstico (como excepción, para el análisis el intervalo abarca las 3 horas siguientes y para el último período de predicción las 3 horas anteriores). En el caso del ECMF, como no se dispone de PPCO cada 3 horas, el intervalo de 6 horas abarca siempre las 6 horas siguientes al diagnóstico.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de presentación de campos básicos obtenido con el HIRLAM correspondiente al día 25 de junio de 2003 (pasada de 06 UTC, previsto para 18 UTC).

Figura 1: Mosaico de 4 imágenes del primer gráfico. Panel 1: LI+THW; Panel 2: CAPE+WIN SFC; Panel 3: SRH+ESTW; Panel 4: ACON+PPCO (ver texto para detalles).



2.2. Segundo gráfico

Panel 1:

Agua precipitable hasta 300 hPa (PW). Valores entre 18 y 50 mm. En tonos verdes aparecen las zonas en las que existe un contenido de agua precipitable superior a 27 mm, un valor que puede considerarse ya elevado.

Convergencia de humedad (CONH) en 850 hPa. Los valores negativos indican convergencia. La convergencia de humedad en niveles bajos en una zona determinada, junto con la existencia de inestabilidad sobre la misma, puede, en muchas ocasiones, ser el ingrediente fundamental de cara al desarrollo de fenómenos convectivos significativos.

Panel 2:

Altura de la isocero del húmedo sobre la orografía del modelo (ISOH). Las zonas en principio más favorables para el desarrollo de granizo de tamaño significativo son aquellas en las que ISOH se encuentra entre aproximadamente 1800-2500 m., y aparecen en color rojo. Esta información debe combinarse con el CAPE y la cizalladura para definir con más precisión las posibles áreas de granizo de mayor tamaño: además del valor de ISOH adecuado, la probabilidad será mayor si existen condiciones favorables para el desarrollo de fuertes corrientes ascendentes y para la organización (Johns and Doswell, 1992).

Temperatura en 500 hPa. Permite la localización de las vaguadas térmicas y de los embolsamientos de aire frío en altura.

Panel 3:

Índice WINDEX (WINX). Valores entre 25 y 100 Kt. Proporciona una estimación de la intensidad, en Kt., de la racha máxima en superficie asociada a posibles descendencias intensas, tanto en entornos húmedos como secos (McCann, 1994). La información de este panel solo debe ser tenida en cuenta cuando se espere convección profunda. Desde el punto de vista del nowcasting, cuando un frente de racha o una tormenta se mueve más o menos perpendicular a los contornos del WINDEX, hacia valores altos del índice, aumenta la probabilidad de desarrollo de corrientes descendentes intensas (downbursts).

Gradiente de temperatura 700-500 hPa (GRAT, C/km). Un valor elevado de este parámetro indica, en principio, condiciones favorables para el desarrollo de fenómenos convectivos significativos, incluyendo rachas de viento asociadas a descendencias intensas (sobre todo en ambientes secos en niveles bajos) y granizo. Pueden considerarse valores elevados los comprendidos entre 8-10 C/km (el valor de 10 C/km es el que corresponde, aproximadamente, a un gradiente adiabático seco).

Panel 4:

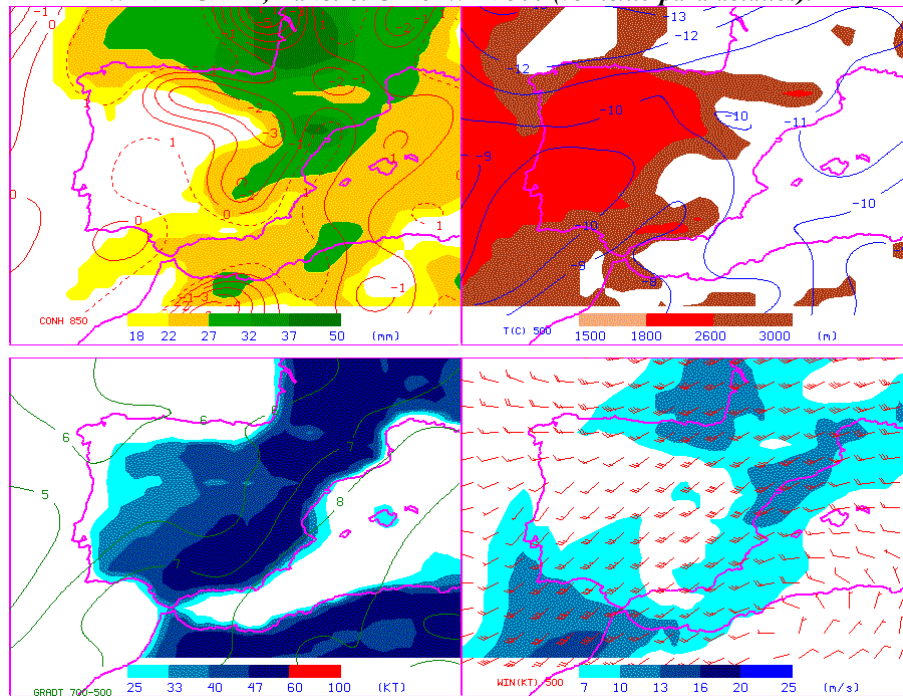
Cizalladura entre el viento medio en los primeros 500 m. y el viento medio en los primeros 6 km (CIZ6). Valores entre 7 y 25 m/s. De ayuda para evaluar la posibilidad de organización de los fenómenos convectivos. Para valores inferiores a 7 m/s la posibilidad de organización de la convección es bastante menor que para valores superiores. Con

valores muy altos, superiores a 20 m/s, la cizalladura vertical del viento puede ser un factor limitador tanto de la intensidad como de la organización de los desarrollos.

Viento en 500 hPa. Representativo del flujo existente en niveles medios de la atmósfera.

En la Figura 2 se muestra el ejemplo con los campos que complementan la información de la Figura 1.

Figura 2: Mosaico de 4 imágenes del segundo gráfico. Panel 1: PW+CONH; Panel 2: ISOH+T; Panel 3: WINX+GRAT; Panel 4: CIZ6+WIN 500 (ver texto para detalles).



3. EJEMPLO DE APLICACIÓN: TORNADO EN ALCAÑIZ

Un ejemplo muy interesante de la aplicación de las anteriores ideas tuvo lugar el 23 de Julio de 2003, cuando una supercélula, y el tiempo severo asociado, afectó seriamente a la zona situada en los alrededores de Alcañiz, población del valle del Ebro, en el nordeste de la península Ibérica. Entendemos por supercélula una estructura convectiva altamente organizada, con una profunda y persistente corriente ascendente en rotación. La situación dió lugar al desarrollo de granizo de gran tamaño, en algunos puntos como bolas de tenis, así como a un tornado, posiblemente de categoría F3 según la escala de Fujita.

En la Figura 3 se pueden ver dos fotografías en las que se aprecia claramente el tamaño de alguna de las piedras de granizo (las hubo mayores, según testimonios) y el camino seguido por el tornado, afectando a un campo de almendros en su recorrido.

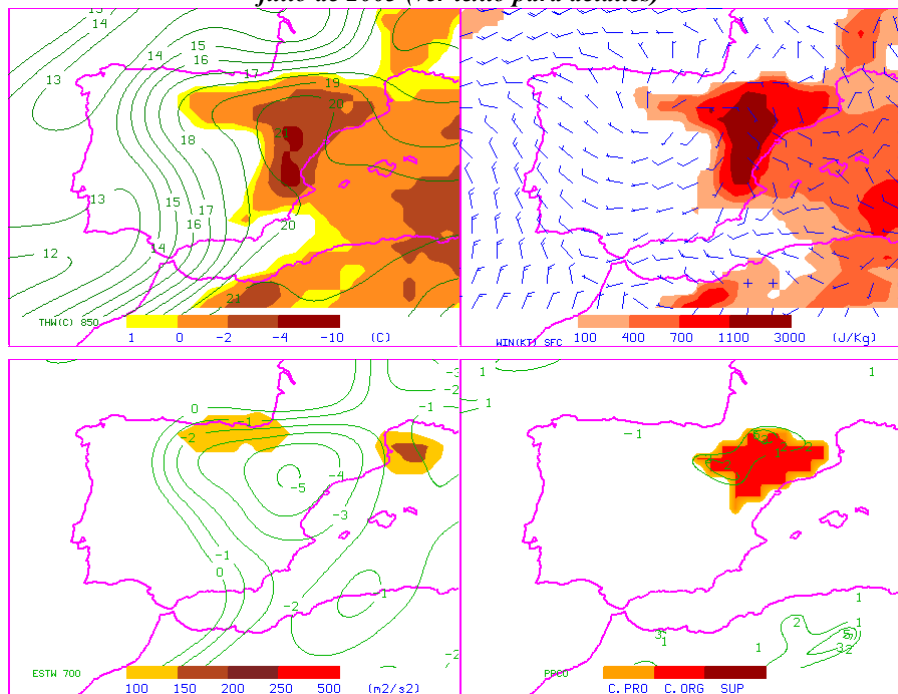
En esta situación la guía de predicción proporcionada por el modelo HIRLAM, tal y como se puede comprobar en los diferentes productos suministrados por la herramienta de diagnóstico, fue de una gran utilidad para localizar el área más favorable para el desarrollo de los fenómenos convectivos más intensos y, de esta forma, una importante ayuda para los predictores.

Figura 3: a) Ejemplo de una de las piedras de granizo recogidas en las proximidades de Alcañiz; b) Campo de almendros afectado por el paso del tornado, con una gran mayoría de los árboles partidos. Fotos cortesía de J.A. Quirantes, INM



En la Figura 4 se puede ver la predicción obtenida con la pasada de 00 UTC del día 23 del modelo HIRLAM, válida para el mismo día 23 a las 12 UTC (el tornado tuvo lugar aproximadamente alrededor de las 15 UTC). Se comprueba que, en efecto, prácticamente todos los parámetros (índice LI, CAPE, inestabilidad potencial, etc) indican el nordeste de la península Ibérica, y en especial el valle del Ebro, como la zona más favorable para convección intensa. De hecho, el diagnóstico identifica el valle del Ebro como una zona con alta probabilidad de desarrollo de convección organizada. El modelo HIRLAM predice asimismo algunas áreas de precipitación convectiva.

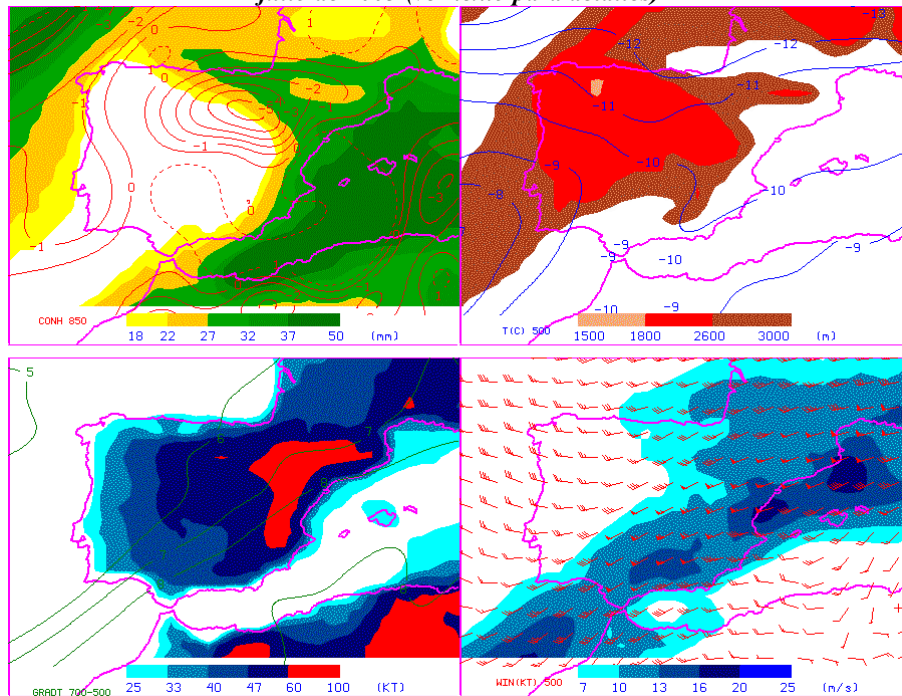
Figura 4: Los mismos campos que aparecen en la Figura 1, para la situación del tornado de Alcañiz del 23 de julio de 2003 (ver texto para detalles)



En relación con la SRH, parámetro que como se ha apuntado es importante desde el punto de vista de la identificación de entornos favorables para el desarrollo de mesociclones y de supercélulas, el modelo HIRLAM no refleja en este caso la existencia de valores importantes en la zona donde se desarrollo el tornado. Sin embargo, la experiencia en situaciones similares indica que la interacción entre el flujo general y el Sistema Ibérico (cadena montañosa que

cierra por el sur y el suroeste el valle del Ebro), induce un flujo moderado del este o del sudeste en niveles cercanos a la superficie sobre el valle del Ebro, el cual podría incrementar localmente los valores de SRH. Este hecho debe ser tenido siempre muy en cuenta en la predicción del carácter de los fenómenos convectivos en la zona.

Figura 5: Los mismos campos que aparecen en la Figura 2, para la situación del tornado de Alcañiz del 23 de julio de 2003 (ver texto para detalles)

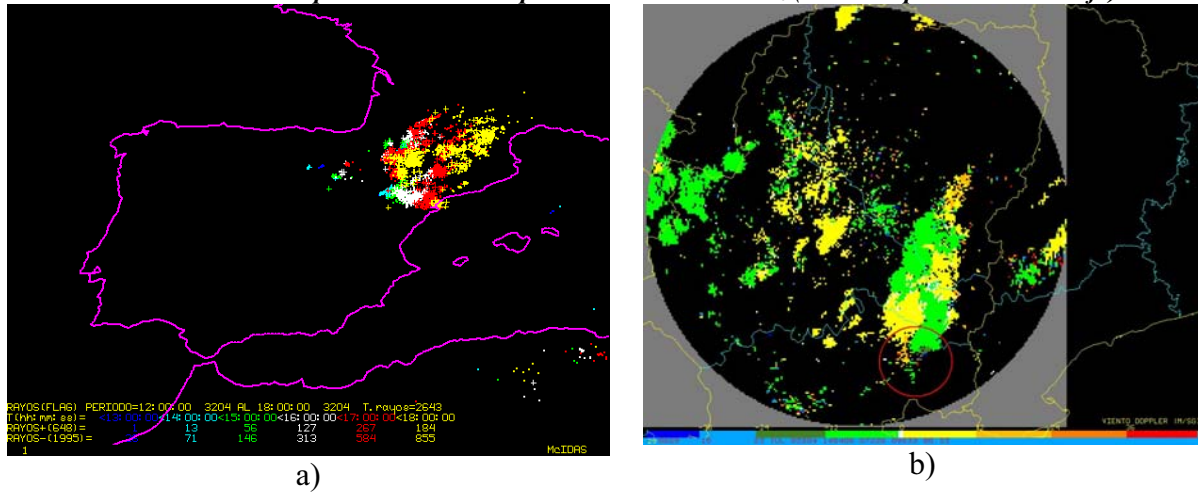


En la Figura 5, que muestra el segundo gráfico disponible en Intranet para el mismo periodo de predicción, se observa que existe una lengua de altos valores de agua precipitable que se extiende hacia el interior del valle del Ebro desde el Mediterráneo. También destacan los valores del índice WINDEX, que muestran un elevado potencial para el desarrollo de corrientes descendentes intensas asociadas a los posibles fenómenos convectivos, de más de 60 kt.

En la imagen de rayos de la Figura 6a se ve que la mayor parte de la actividad eléctrica asociada con las tormentas que se desarrollaron durante la tarde del día 23 de julio tuvo lugar sobre el valle del Ebro, muy de acuerdo con la zona diagnosticada como más favorable para el desarrollo de convección profunda según la información de la Figura 4.

Hasta ahora, se ha estado citando la supercélula que supuestamente se desarrolló sobre la zona, pero no se ha mostrado ningún elemento que permita sustentar la afirmación de que la estructura convectiva fue efectivamente una supercélula. La Figura 6b muestra la imagen de viento radial Doppler del día 23 a 15:45 UTC, en la que se aprecia claramente la perturbación en el campo de viento radial debida a la presencia del mesociclón asociado con la supercélula. Si se tiene en cuenta que los colores azules y verdes indican vientos con una componente de velocidad hacia el radar (en el centro de la imagen) y que los colores amarillos, naranjas, rojos indican lo contrario (vientos con componente de velocidad que se aleja), se puede identificar la señal de una rotación ciclónica en el área de Alcañiz.

Figura 6: a) Actividad eléctrica sobre la Península entre 12 y 18 UTC el día 23 de julio de 2003. b) Imagen de viento radial Doppler correspondiente a las 14:54 UTC del día 23, en la que se aprecia la perturbación ciclónica en la campo de viento en las proximidades de Alcañiz (señalada por un círculo rojo)



4. CONCLUSIONES

En esta comunicación se han presentado algunos de los nuevos productos desarrollados en el INM para mejorar la predicción operativa de fenómenos convectivos. La aproximación está basada en el uso de modelos numéricos en el corto plazo para evaluar el potencial existente en el entorno meteorológico. El objetivo último es suministrar guías de predicción que deben alertar a los predictores para que dirijan su atención sobre las áreas en las que la diagnosis muestra que existe mayor potencial para el desarrollo de fenómenos convectivos significativos.

La herramienta de diagnóstico de fenómenos convectivos trata de identificar entornos favorables al desarrollo de distintos tipos de fenómenos convectivos evaluando la existencia o no de suficiente inestabilidad, las condiciones de cizalladura vertical del viento en niveles bajos y medios de la atmósfera y el contenido de humedad en niveles medios. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no incluye la evaluación de un ingrediente fundamental para el desarrollo de convección profunda, como es el mecanismo de disparo. Deberá ser el predictor el que determine la posibilidad de aparición de mecanismos de disparo en áreas donde se den simultáneamente el resto de ingredientes necesarios.

La aplicación de los productos a un caso significativo ocurrido durante el verano de 2003, en el cual diversos fenómenos severos afectaron a la zona de Alcañiz (principalmente granizo de gran tamaño y un tornado), ha puesto de manifiesto que la información contenida en los modelos numéricos, en este caso el HIRLAM, puede ser de mucha utilidad para el predictor en relación con la convección, ayudando en el difícil proceso de toma de decisiones anterior a la emisión de los avisos meteorológicos.

REFERENCIAS

- Davies-Jones, R. P., D. Burgess, and M. Foster, 1990: Test of helicity as a tornado forecast parameter. Preprints, 16th Conf. on Severe Local Storms, Kanahaskis Park, Alberta, Canada, Amer. Meteor. Soc., 588-592.
- Doswell, C. A. III, H. E. Brooks and R. A. Maddox, 1996: Flash Flood Forecasting: An ingredients-based methodology. *Wea. Forecasting*, 11, 560-581.
- Johns, R.H. and C. A. Doswell III, 1992: Severe Local Storms Forecasting. *Wea. and Forecasting*, 7, 588-612

McCann, D., 1994 : WINDEX- A new index for forecasting microburst potential. *Wea. Forecasting*, 9, 532-541.

Mills, G. A., and J. R. Colquhoun, 1998 : Objective prediction of severe thunderstorm environments: preliminary results linking a decision tree with an operational regional NWP model. *Weather and Forecasting*, 13, 1078-1092.

Stensrud, D. J., J. V. Cortinas and H. E. Brooks, 1997: Discriminating between tornadic and nontornadic thunderstorms using mesoscale model output. *Wea. Forecasting*, 12, 613-632.