

11 de febrero de 2025

Tornado en el litoral de Huelva

CARLOS MANUEL JIMÉNEZ-CAVERO

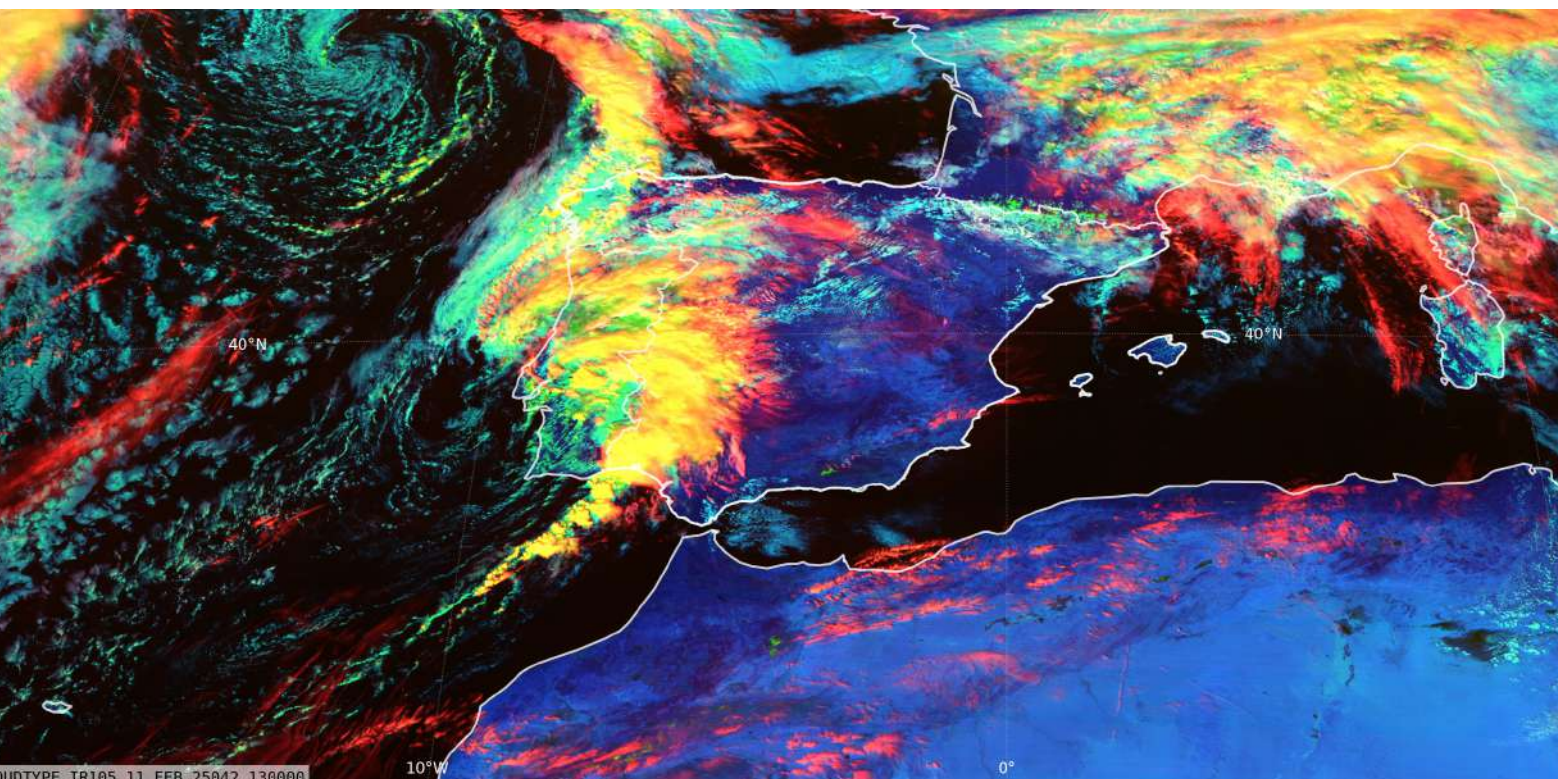


Figura 1. Imagen RGB *Cloudtype* del MTG (EUMETSAT) del 11 de febrero de 2025 a las 13:00 UTC. Fuente: AEMET

1. Imagen

Se presenta como imagen del invierno una imagen RGB *cloudtype*, o tipo de nubes, obtenida a partir de los datos del Meteosat de Tercera Generación, MTG, del 11 de febrero de 2025 a las 13:00 UTC. Corresponde a una situación meteorológica cuyo mayor impacto se dio en el litoral onubense, con precipitaciones puntualmente fuertes (28 mm en 1 hora en la estación de Ayamonte de AEMET) y con la ocurrencia de un tornado en el entorno de Pozo del Camino, pedanía de Ayamonte e Isla Cristina, muy próxima a ésta última. Existe bastante documentación gráfica distribuida en redes sociales y medios de comunicación, donde se aprecian las consecuencias del tornado. Entre otros, se produjeron destrozos en carreteras y techos de algunas viviendas, así como derrumbes de muros y árboles. En algunos vídeos se puede observar cómo la intensidad del viento vuelca camiones de grandes dimensiones y arranca puertas de metal y vallas, que aparecen a decenas de metros de su posición original. Los análisis preliminares realizados en

AEMET, basados en estudios de campo de los daños materiales observados, apuntan a que podría calificarse como un tornado IF2 de la escala Fujita Internacional (IF) para la clasificación de tornados (Gutiérrez et al., 2024), con una velocidad máxima estimada de 220 km/h.

En la imagen presentada se pueden apreciar numerosas estructuras nubosas. A modo de resumen, los colores azul turquesa hacen referencia a nubosidad de tipo medio-bajo formada por gotitas de agua. Los colores rojizos revelan cirros finos formados por cristales de hielo. Los colores amarillos se relacionan con nubes espesas, asociadas a desarrollos convectivos con fase hielo en los toques. Por último, tonos verdosos sobre tierra indican la presencia de nieve y hielo en superficie.

Teniendo todo esto en cuenta, la imagen propuesta del 11 de febrero presenta estructuras nubosas de diversa índole, las más llamativas asociadas a dos vórtices de escala sinóptica centrados al oeste de la península ibérica. El primero de ellos, situado al noroeste de Galicia, constituye un centro

de bajas presiones cuyo frente frío se halla sobre la comunidad gallega, con abundante nubosidad baja y algunos desarrollos convectivos embebidos. Por delante y en el sector cálido de la baja, se sitúa el propio frente cálido ya sobre el mar Cantábrico. En el sector frío, sobre el Atlántico, destacan las típicas células convectivas enroscadas sobre el centro de la baja, con algunos cúmulos realzados, revelando fenómenos de tipo mesoescalar característicos de una masa de aire frío posfrontal. El segundo vórtice, sobre el que nos centraremos en el artículo, se sitúa frente a las costas de Portugal. Se trata de un segundo centro de bajas presiones, que no presenta una advección fría tan marcada como el anterior, pero sí dispone de un "cabezón cálido" muy llamativo sobre el oeste peninsular, y una banda frontal que se estira desde Extremadura hasta el golfo de Cádiz. Embebido en la banda nubosa también se aprecian desarrollos convectivos, aunque en este caso son más localizados y puntualmente más intensos, y se hallan presentes a lo largo de toda la banda frontal. En el entorno del

estrecho de Gibraltar se aprecia nubosidad baja hacia el mar de Alborán, que revela la presencia de un flujo de levante en los niveles más bajos; mientras que en el sur de Portugal se puede intuir un flujo del suroeste en superficie con algunas calles de nubes en el sector frío de la baja.

2. Episodios HSLC (*High Shear Low Cape*)

El tornado tuvo lugar en torno a las 14 UTC, coincidiendo de forma aproximada con el paso del frente frío por la provincia de Huelva. El evento puede encuadrarse dentro del tipo de episodios invernales conocidos en la literatura como episodios HSLC, *High Shear Low Cape*, que en ocasiones suelen llevar asociados fenómenos convectivos severos, principalmente vientos rectilíneos muy intensos y/o tornados. Dichos episodios se caracterizan por presentar una fuerte cizalladura en entornos con una inestabilidad bastante limitada (valores reducidos de CAPE). Son típicos de la estación fría, en la que los chorros en altura son más intensos y frecuentes, pero en los que la inestabilidad térmica suele ser marginal. Por otro lado, otro rasgo habitual suele ser la abundante humedad en los niveles más cercanos a la superficie, y, a menudo, en la mayor parte de la troposfera media. Esto posibilita que los niveles de condensación y de convección libre sean muy bajos, próximos a la suelo. Aunque la inestabilidad suele ser limitada (normalmente $CAPE < 500 \text{ J/kg}$) a menudo se halla confinada en los niveles más bajos de la troposfera (0-3 km). Aparte de la fuerte cizalladura vertical del viento, computada en una capa profunda (0-6 km), el flujo y la

cizalladura en niveles bajos (0-3 km) suelen ser muy intensos, y en la mayoría de episodios se halla presente un chorro en niveles bajos (LLJ, *low level jet*) que puede alcanzar valores de hasta 25-30 m/s.

Los episodios meteorológicos caracterizados por condiciones HSLC son bastante frecuentes en los litorales atlánticos de la península ibérica en invierno, donde se da el máximo de actividad tormentosa de la estación fría a nivel peninsular (AEMET, 2019). Habitualmente se relacionan con la llegada de frentes atlánticos muy activos con convección embebida, típicos de las costas de Galicia y de Andalucía occidental, así como de zonas atlánticas de interior como Extremadura. Aunque no siempre se producen fenómenos convectivos severos asociados, de hecho la frecuencia de ocurrencia de tornados es desproporcionadamente menor a la frecuencia de condiciones tipo HSLC durante el invierno, sí que es verdad que todos los inviernos se observan algunos tornados de pequeñas dimensiones en las comunidades mencionadas. Se pueden mencionar como episodios recientes representativos el tornado de Córdoba capital del 9 de marzo de 2024 o el tornado de Badajoz del 17 de enero de 2024 (este último asociado a la borrasca Irene).

3. Análisis meteorológico

A continuación se realiza un breve análisis del episodio del 11 de febrero de 2025, combinando la interpretación de distintos campos del modelo operativo de AEMET Harmonie y de imágenes de teledetección, todos ellos de la franja temporal comprendida entre las 13:00 y

14:00 UTC. Se realiza un análisis del ambiente meteorológico previo, asociado a los mencionados episodios HSLC, y se trata de identificar los principales fenómenos de mesoescala que se dieron y que posibilitaron la formación del tornado.

A nivel sinóptico, el segundo vórtice descrito previamente presenta una marcada intrusión seca en niveles medios, como se puede deducir de la imagen WV6.2 (figura 2). En ella destaca una zona muy oscura, que revela un fuerte forzamiento a escala sinóptica, y que contrasta con varios núcleos blanquecinos muy brillantes situados justo por delante. También es reseñable el forzamiento mesoescalar ejercido por el propio paso del sistema frontal, y que, a tenor de los desarrollos convectivos embebidos, avanza en un entorno "algo" inestable.

En la figura 3 se muestra un sondeo y una hodógrafa previstos por el modelo Harmonie en la localidad onubense de Isla Cristina a las 13 UTC del 11 de febrero de 2025. Se aprecia un estrato totalmente saturado desde superficie hasta 600 hPa. Por encima de este nivel, hay una capa con humedad muy reducida, asociada a la intrusión seca. Tras el diagnóstico realizado con la imagen de WV6.2 y el sondeo mostrado, se puede afirmar que el entorno era potencialmente inestable, con la posibilidad de que se produjesen desarrollos convectivos. Probablemente, la banda frontal constituyese un frente frío en altura, formado por la interacción del *conveyor* seco al sobrevolar el *conveyor* cálido. La línea amarilla del sondeo, que indica el perfil vertical de la temperatura equivalente, presenta un gradiente superadiabático en la intersección de los

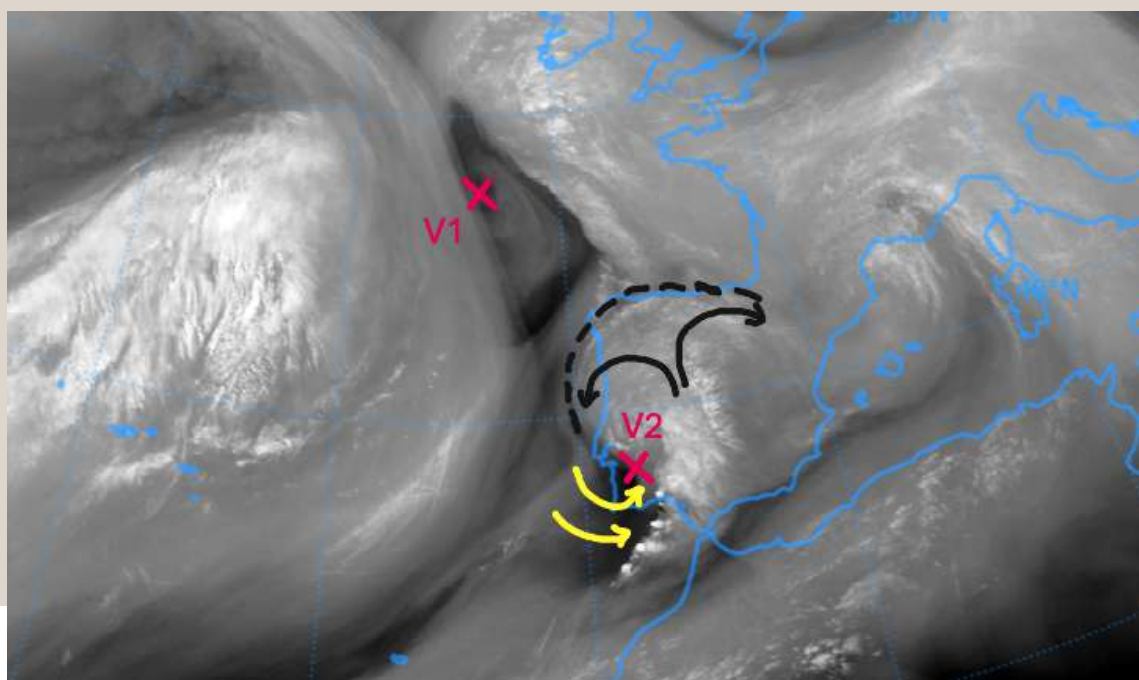


Figura 2. Imagen canal WV 6.2 del 11 de febrero a las 14:00 UTC del MTG (EUMETSAT). Las flechas amarillas hacen referencia a la intrusión seca, mientras que las flechas negras se asocian con el *conveyor* cálido que se eleva en latitud y altitud hasta alcanzar una banda de deformación. Fuente de la imagen: AEMET

estratos húmedo y seco, en torno a 600 hPa. Por debajo de este nivel, el gradiente vertical de la temperatura equivalente es menor, lo que confirma la existencia de un entorno con inestabilidad convectiva (Moran, 1944). En dicho entorno, las columnas de aire se inestabilizan cuando se elevan en conjunto (afectando a capas enteras una escala mayor que la de las burbujas de aire de los Cb) y da el aspecto troceado transversal del *conveyor* cálido.

En el sondeo también se puede apreciar un MUCAPE bastante limitado (333 J/kg), con un nivel de condensación muy cercano a la superficie (NCA 532 m). Sin embargo, lo que más llama la atención es la distribución de vientos en la vertical. En la

Figura 3. Sondeo y hodógrafa previstas por el modelo Harmonie en Isla Cristina (Huelva). Pasada 12 UTC del 11 de febrero de 2025, alcance H+1 (13:00 UTC). La línea amarilla se refiere a la temperatura equivalente y la línea azul a la temperatura del termómetro húmedo. Se aprecia estrato húmedo por debajo de 600 hPa, con una capa muy seca por encima, típico de entornos con inestabilidad convectiva.
Fuente: AEMET

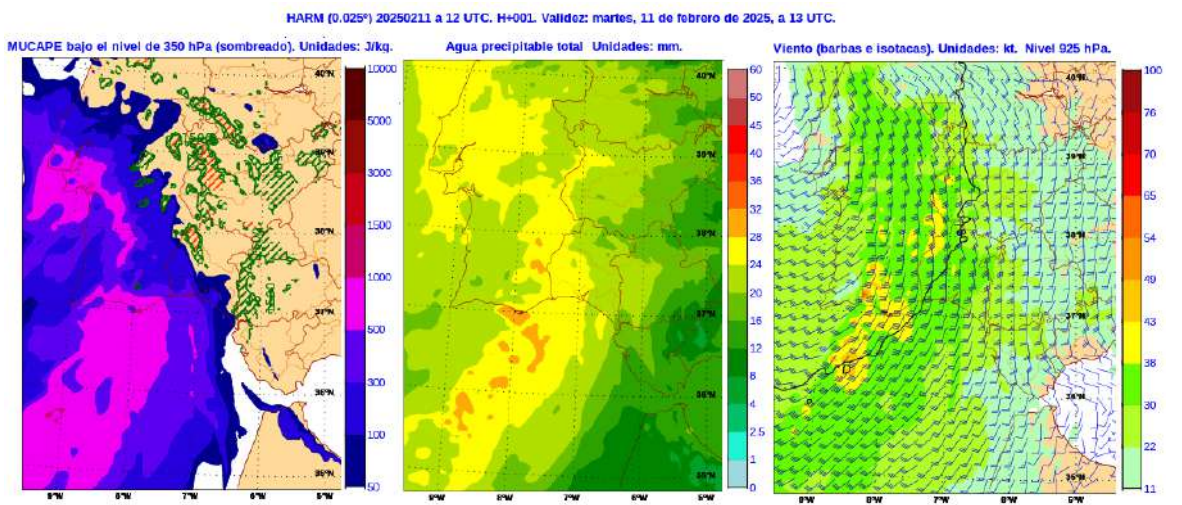
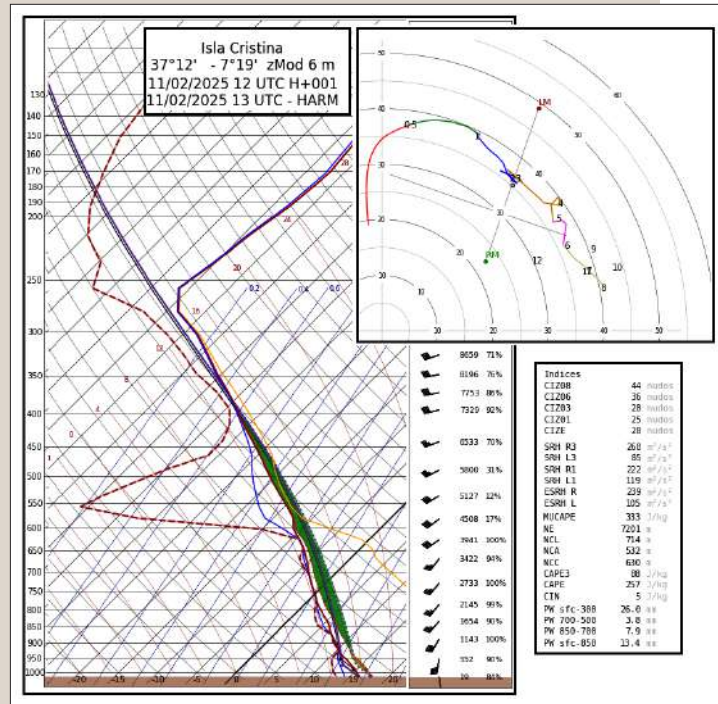


Figura 4. Campos previstos por Harmonie: MUCAPE, agua precipitable y viento en 925 hPa. Pasada 12 UTC del 11 de febrero de 2025, alcance H+1 (13:00 UTC).
Fuente: AEMET

hodógrafa se aprecia un máximo de viento de 40 kt (-20 m/s) en los niveles más bajos (entre 500 m y 1 km de altura) asociado a un LLJ, que aporta gran cantidad de humedad. Además, se apreciaba un giro anticiclónico del viento con la altura, muy marcado en los primeros 3 km, que posibilita que los valores de helicidad sean muy elevados (ESRH 239 m²/s²) y que revela una clara advección cálida junto a la superficie.

Vemos, por tanto, que el ambiente convectivo existente en el entorno del litoral onubense el día 11 de febrero de 2025 concuerda con las características típicas de episodios HSLC expuestos anteriormente. El contexto sinóptico, caracterizado por una vaguada en altura de poca amplitud pero con una fuerte intrusión seca, con banda frontal asociada, también es compatible con los mencionados episodios invernales de HSLC, en los que el forzamiento dinámico a escala sinóptica juega un papel relevante (Sherburn K. D. et al. 2016).

En este tipo de episodios invernales, los valores de CAPE, aunque limitados, suelen verse realzados a nivel mesoescalar en bandas estrechas, justo por delante de la posición del frente en superficie (sector cálido) donde se sitúa el chorro en niveles bajos (LLJ) o embebidas en el propio frente. Por tanto, aunque el entorno sinóptico sea de paso de un sistema frontal, el ambiente convectivo en el que se dan las tormentas de tipo HSLC suele presentar rasgos de advección cálida en los niveles más bajos.

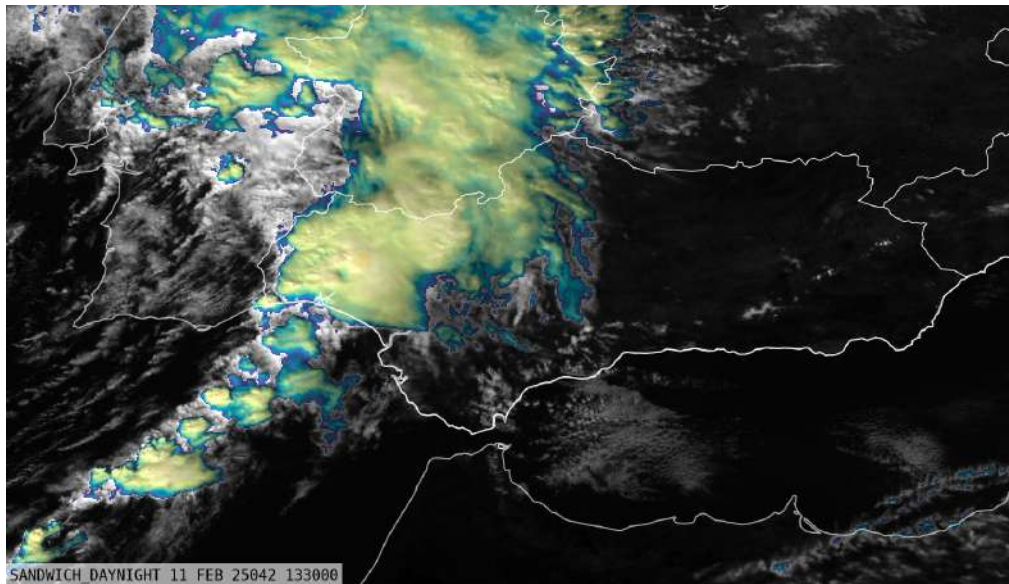
En la figura 4 se muestran diferentes campos del modelo Harmonie, ploteados a las 13 UTC del 11 de febrero de 2025. Se aprecia una banda relativamente estrecha con valores máximos de agua precipitable y MUCAPE, que coincide con el máximo de viento de suroeste en 925 hPa.

Los impactos asociados a este tipo de episodios HSLC, como puede ser la ocurrencia de tornados, suelen ser de dimensiones espaciales muy reducidas,

de carácter local, por lo que mediante herramientas de teledetección es muy difícil identificarlos de manera unívoca. Por otro lado, son fenómenos confinados en la capa límite, por lo que a nivel radar solo pueden ser distinguibles si ocurren cerca de la posición del propio radar. Por último, los vórtices tornádicos asociados a tormentas HSLC evolucionan rápidamente con transiciones temporales muy bruscas, lo cual constituye otra dificultad añadida para su identificación.

En la figura 5 se muestra una imagen de satélite con realce *Sandwich* del MTG del sur peninsular a las 13:30 UTC. En ella se aprecian células convectivas localizadas, con cierta organización en forma de línea, embebidas a lo largo del frente. Todas ellas se hallan en el mar, excepto las situadas en el extremo septentrional del frente que tocan tierra en el litoral de Huelva. Por otro lado, en la figura 6 se muestran productos del radar de Sevilla:

Figura 5. Imagen del MTG (EUMETSAT) con realce tipo Sandwich del 11 de febrero de 2025 a las 13:30 UTC. Fuente: AEMET



PPI de la elevación más baja (0.5°), *echotop* y viento radial también de la elevación más baja (0.5°). Se aprecian células convectivas con toques de hasta 8 km, compatibles con el sondeo mostrado, pero de dimensiones muy reducidas. En la imagen de viento radial destacan valores de más de 24 m/s en zonas del litoral onubense, asociadas al chorro en niveles medios-bajos del suroeste.

4. Desafíos en predicción operativa

Este tipo de episodios HSLC constituyen un gran desafío para la predicción operativa debido a varias circunstancias (Sherburn K. D. *et al.* 2014). La principal dificultad radica en las dimensiones espaciales tan reducidas que presentan los fenómenos convectivos asociados, como son los tornados. Esto constituye un gran problema en las tareas de vigilancia y *nowcasting*, ya que las estructuras y señales de rotación identificables no pueden ser resueltas por los productos radar, especialmente a distancias no muy cercanas a la posición del radar, debido a que son fenómenos confinados junto a la superficie. Además, estos fenómenos (tornados) asociados a este tipo de episodios son, a menudo, transitorios y evolucionan rápidamente, lo que dificulta disponer de un tiempo de antelación previo suficiente para emitir un aviso de *nowcasting*.

Aunque es bastante frecuente que durante el invierno se den condiciones caracterizadas por una fuerte cizalladura vertical y un CAPE limitado, la ocurrencia

de fenómenos convectivos severos asociados, como son los tornados, tiene lugar durante un periodo de tiempo desproporcionadamente corto. Esto provoca que la predicción operativa de estos fenómenos presente altas tasas de falsas alarmas y una baja probabilidad de detección.

Los parámetros compuestos tradicionales para predecir entornos favorables a la ocurrencia de estos fenómenos, como son el STP (*Significant Tornado Parameter*) o el EHI (*Energy Helicity Index*) se basan en primera instancia en el CAPE. Por lo tanto, estos parámetros tienden a presentar valores muy reducidos en episodios de tipo HSLC. Por último, la predictibilidad de este tipo de episodios por los modelos numéricos es muy baja, ya que los fenómenos asociados tienen lugar en la mesoescala-gamma, o incluso de microescala.

Todo ello hace que este tipo de episodios continúen siendo un gran desafío en la predicción operativa en la actualidad.

5. Bibliografía

- AEMET (2019). *Climatología de descargas eléctricas y días de tormenta en España*. <https://doi.org/10.31978/639-19-007-7>
- Gutiérrez D. *et al.* (2024). *Ventajas de la escala Internacional de Fujita (IF) para calificar los daños por tornados y vientos*. Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española (AME) celebradas en marzo de 2024 en Cádiz. https://jornadas.ame-web.org/wp-content/uploads/2024/04/Compendio-de-resumenes-por-sesiones_corregido.pdf
- Morán Samaniego F. (1944). *Apuntes de Termodinámica de la Atmósfera*. Servicio Meteorológico Nacional, pg. 195-198. <https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/16036/1/Moran.pdf>
- Sherburn K. D. *et al.* (2016). *Composite Environments of Severe and Nonsevere High-Shear, Low-CAPE Convective Events*. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0086.1>
- Sherburn K. D. *et al.* (2014). *High-shear, low-CAPE environments: What we know and where to go next*. https://ams.confex.com/ams/27SLS/webprogram/Manuscript/Paper254227/sherburn_sls_paper_120314.pdf

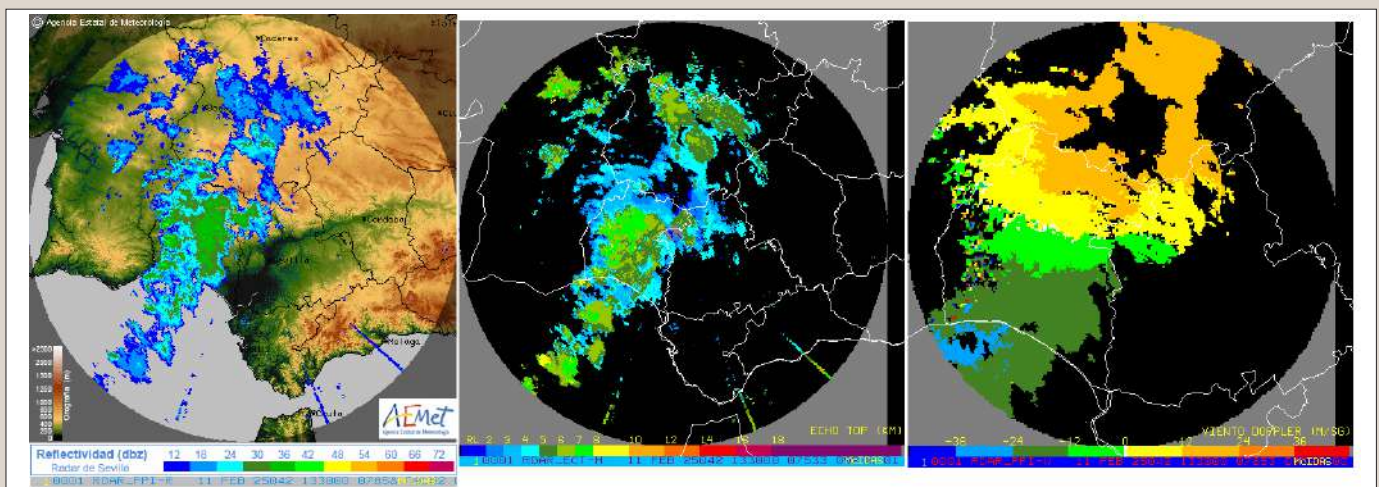


Figura 6. Imágenes de PPI elevación 0.5°, *echotop* y viento radial (elevación 0.5°) del radar de Sevilla a las 13:30 UTC del 11 de febrero de 2025. Fuente: AEMET