

## Informe preliminar sobre la posibilidad de ocurrencia de tornado en municipios de Córdoba entre el 8 y el 9 de marzo de 2024

Juan de Dios Soriano Romero  
Delia Gutiérrez Rubio

### 1- Introducción

La noche del 8 al 9 de marzo de 2024, una banda nubosa asociada a una potente borrasca, nombrada Mónica, centrada al noroeste de la Península dejaba a su paso precipitaciones generalizadas y vientos moderados a fuertes del suroeste en amplias zonas. A la mañana siguiente se reciben noticias de importantes daños por viento en la ciudad de Córdoba, atribuidos por diversas fuentes a un tornado. Posteriormente se recibe información de daños por viento en una central termosolar en el término municipal de Posadas, al suroeste de la capital. En este informe preliminar se analiza la información de daños disponible y las características de la situación meteorológica para determinar la probabilidad de ocurrencia de tornado y las posibles zonas afectadas.

### 2- Entorno sinóptico

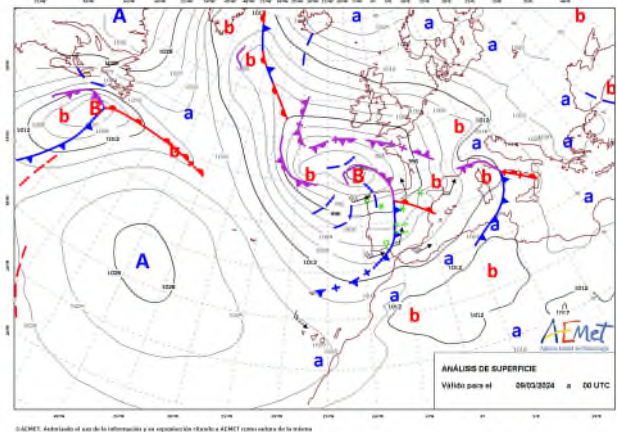
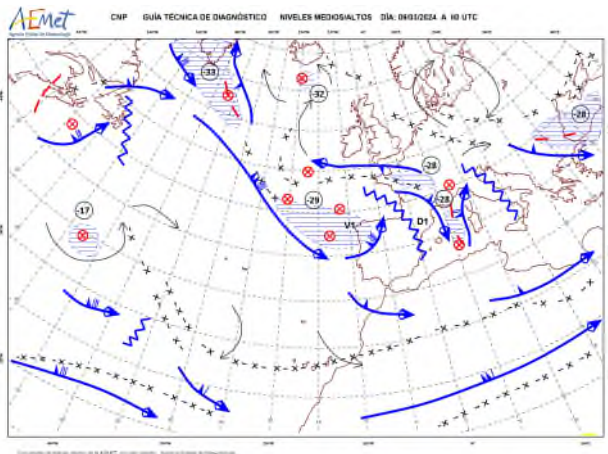
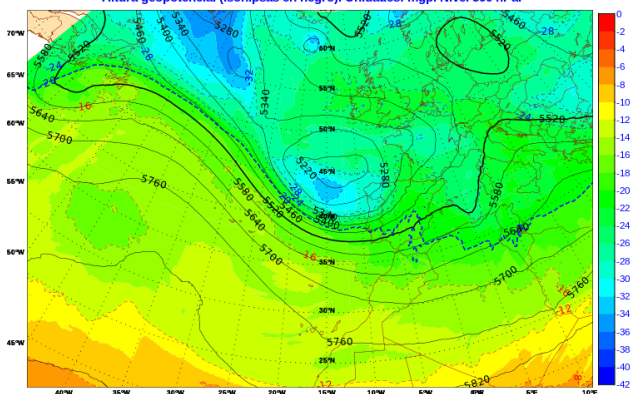


Figura 1. Guía técnica de diagnóstico de niveles medios y altos (izq.) y análisis de superficie (dcha.) elaborados en el CNP, válidos para las 00 UTC del día 09 de marzo

HRES-IFS (0.1°) 20240309 a 00 UTC. H+000. Validez: sábado, 9 de marzo de 2024, a 00 UTC. Temperatura (sombreado). Unidades: °C.



HRES-IFS (0.1°) 20240309 a 00 UTC. H+000. Validez: sábado, 9 de marzo de 2024, a 00 UTC. Temperatura (sombreado). Unidades: °C.

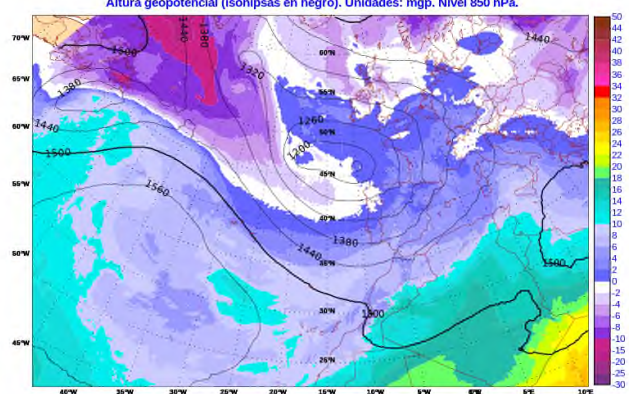


Figura 2. Geopotencial y temperatura en 500 hPa (izq) y en 850 hPa (der). Análisis de las 00 UTC del día 09/03/2024 del modelo HRES-IFS

En niveles medios y altos (fig.1 izq.) se observaba a las 12 UTC una amplia vaguada con varios centros de vorticidad al noroeste de la Península. Se observa importante difluencia a la derecha de la vaguada, acentuada por un chorro de SW sobre el noroeste Peninsular y otro de NW sobre Marruecos. La vaguada engloba una bolsa de aire frío en 500 hPa con temperaturas mínimas del orden de  $-30^{\circ}\text{C}$  (fig.2). En superficie (fig.1 dcha.), la borrasca se centra un poco al norte de Galicia, con un frente frío orientado de norte a sur, desde Santander hasta la desembocadura del Guadalquivir. Al paso del frente se analizan vientos fuertes, de componente sur por delante y oeste por detrás. En 850 hPa (fig.2) se analiza una entrada cálida en forma de dedo por el golfo de Cádiz.

Este entorno determina la existencia de inestabilidad dinámica y térmica, así como fuerte cizalladura vertical al paso del frente, lo que favorece la formación de convección organizada.

### 3- Parámetros convectivos

El perfil vertical atmosférico a las 00 UTC sobre la vertical de Córdoba (fig. 3) mostraba elevada humedad hasta niveles altos, ligera inestabilidad y muy alta cizalladura vertical, especialmente en los primeros 2 km desde el suelo. Se analizaba un máximo de viento de 50 KT a unos 100 m de altura, con una cizalladura vertical de 38 nudos en el primer km

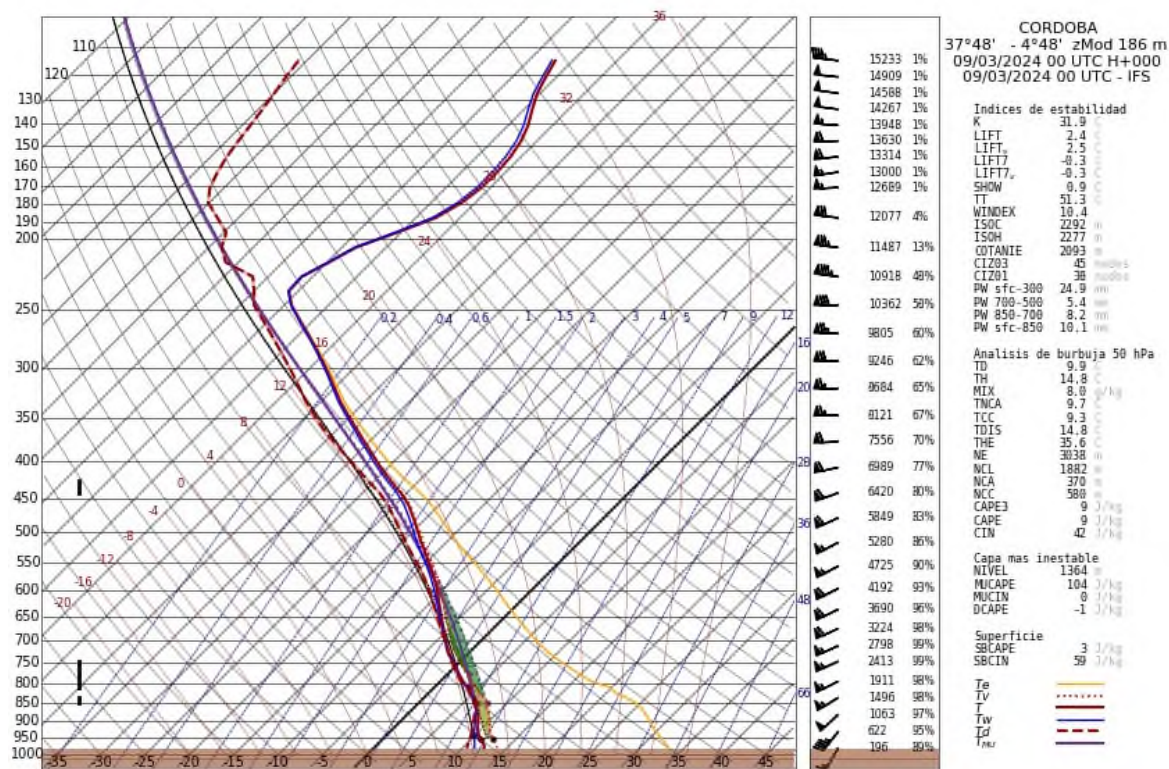


Figura 3. Modelo HRES-IFS. Análisis de las 00Z del día 09/03/24. Perfil vertical sobre el aeropuerto de Córdoba.

En los siguientes mapas (fig. 4) también se aprecia una situación de muy alta cizalladura y ligera inestabilidad afectando al bajo Guadalquivir hasta Córdoba, definiendo una situación típica de convección HSLC (*High Shear Low Cape*), asociada frecuentemente a la aparición de convección organizada y ocasionalmente a tornados en Andalucía Occidental en esta época del año.

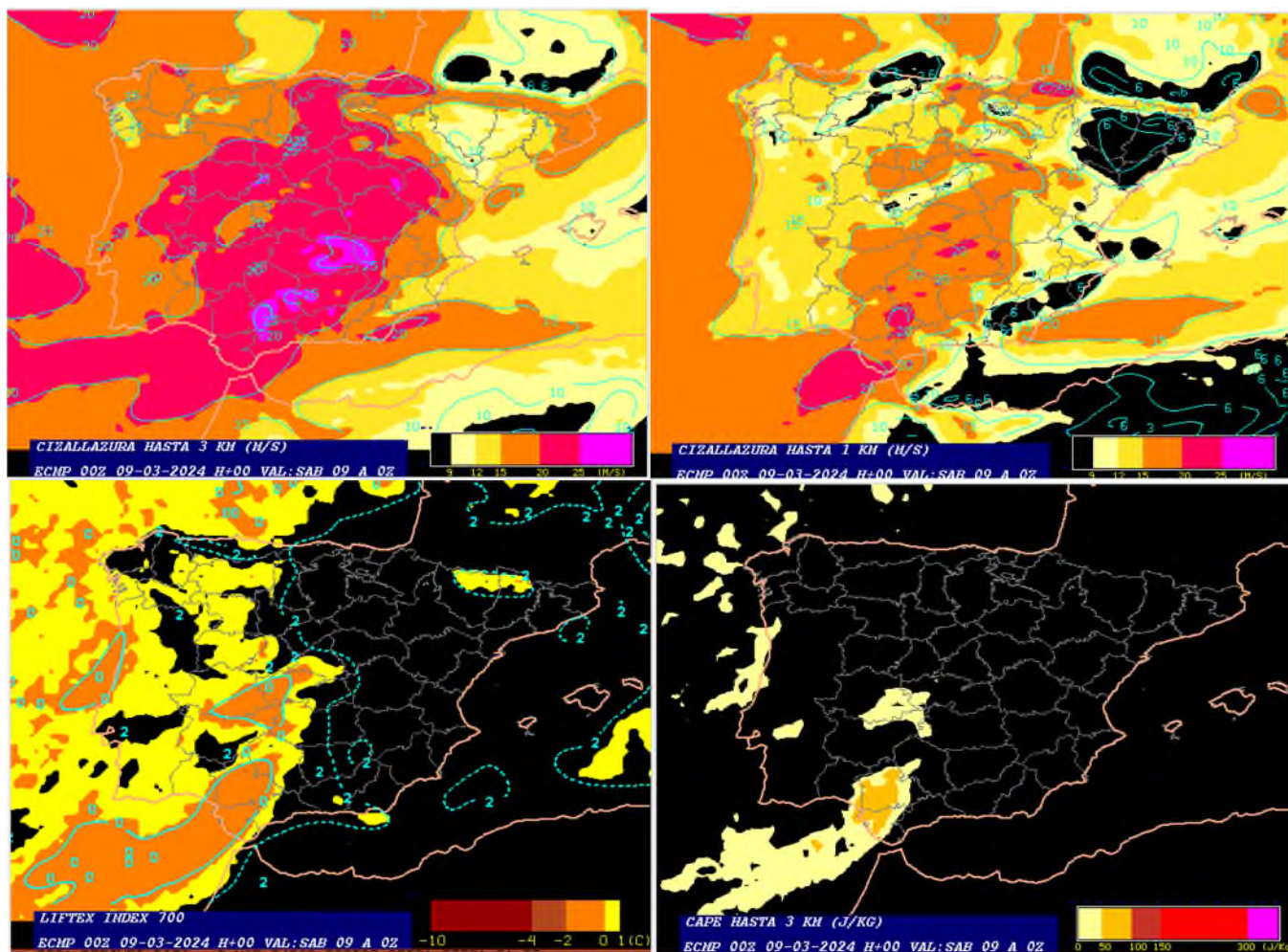


Figura 4. Modelo HRES-IFS. Análisis de las 00Z del día 09/12/22. Cizalladura hasta 3 y 1 km. Lifted index en 700 hPa y CAPE en los primeros 3 km.

#### 4- Teledetección

Las imágenes de satélite (fig. 5) muestran una banda nubosa bastante compacta desde el Cantábrico oriental hasta el golfo de Cádiz. Entre las 21 y las 00 UTC se aprecia una ondulación y una elevación de los topes nubosos en la parte sur de banda frontal. El centro de la ondulación se sitúa justo al suroeste de Córdoba a las 00 UTC.

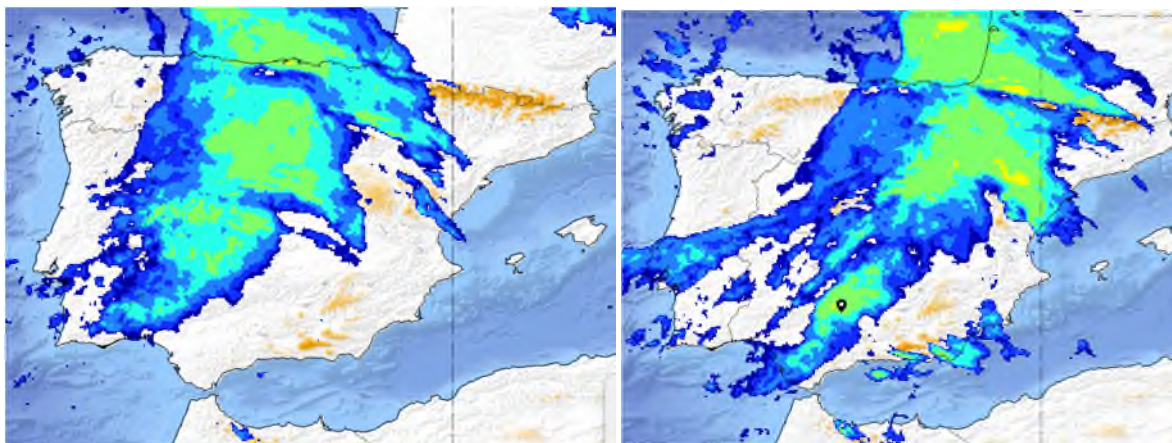


Figura 5. Imágenes realizadas del canal 10.8 de Meteosat 11. Izqda. 21 UTC del día 8. Dcha. 00 UTC del 9, donde se marca también la situación de la ciudad de Córdoba

En las imágenes del radar de Sevilla (fig. 6, 7 y 8) se aprecian varios aspectos de interés. Durante las horas anteriores se observa la formación de una línea de reflectividad realizada dentro de la banda de precipitación, en su. Dicha línea se va ondulando y muestra una alternancia de máximos y mínimos de reflectividad, claramente visibles a las 23:46 UTC (fig. 6). La reflectividad máxima supera los 50 dBz. Los cambios bruscos y marcados que se observan en las imágenes de viento de la exploración Doppler (fig. 6) permiten intuir la posible existencia de pequeños vórtices, coincidiendo con la línea de reflectividad realizada, de los que se denominan *misociclones*, de una escala intermedia entre la de los mesociclones y la de los tornados. Este tipo de patrón, en bandas de precipitación estrechas en frentes fríos, se ha asociado en algunos estudios con la formación de máximos de viento entre vórtices y, a veces, tornados en la zona norte de los vórtices, sobre todo cuando coinciden con puntos de rotura en el patrón de reflectividad.

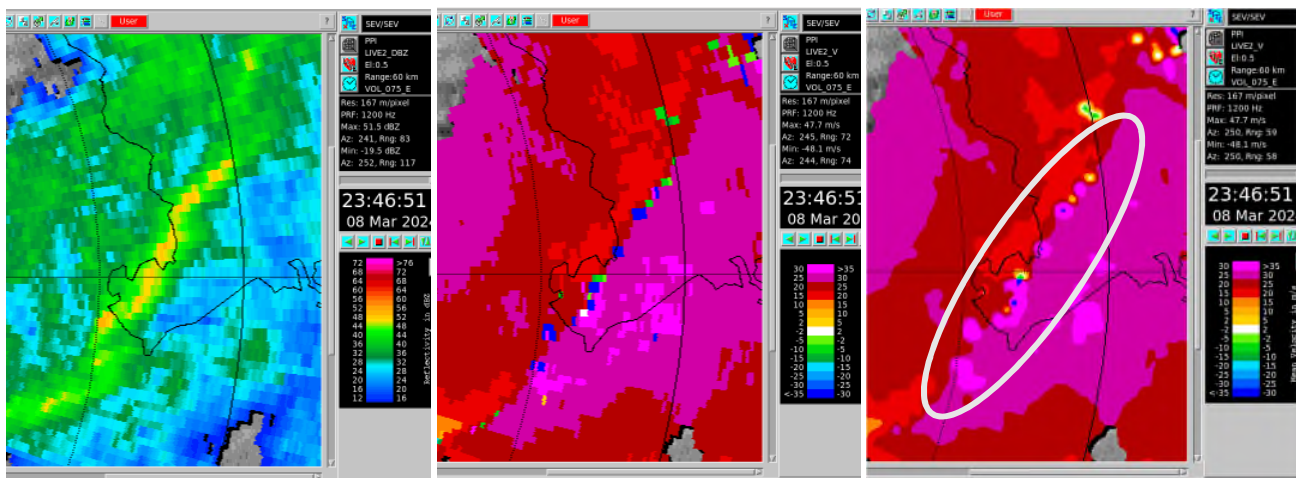


Figura 6. Radar de Sevilla. PPI de las 2346 UTC. Elevación 0.5°. a) imagen de reflectividad. b) imagen de viento radial sin suavizar y c) suavizada. En la imagen suavizada se aprecia mejor la ondulación en el patrón de velocidades sobre la línea convectiva. En la imagen b) los píxeles azul oscuro muestran *aliasing*, por exceder la velocidad límite de detección, de aproximadamente 50 m/s

En la exploración de las 00:06:51 UTC (fig.7) se observa uno de esos posibles misociclones, justo al NE de la ubicación de la central termosolar, primer lugar donde se tiene constancia de daños y aproximadamente a la hora a la que se produjeron, coincidiendo con un hueco en el patrón de reflectividad. Dicho vórtice tendría un diámetro aproximado de unos 2 km. Teniendo en cuenta el efecto de *aliasing* presente en la imagen, la velocidad de salida máxima por el sur del vórtice, incluyendo la traslación, sería al menos de 58 m/s. La elevación del haz radar en dicho punto es de unos 2200 m. Dicho vórtice podría estar relacionado con los daños producidos, bien por la extensión hacia abajo del vórtice mismo, bien por la posible formación de un tornado por estiramiento hacia la superficie.

La central termosolar se ubica en el límite de la exploración Doppler, por lo que no se dispone de imágenes de viento radar sobre la capital. Las imágenes de reflectividad, por su parte (fig. 8), muestran como el hueco en el patrón de reflectividad pasa también sobre la capital a las 0020 UTC, hora a la que se produjeron los primeros daños en la zona oeste de la misma. El ECHOTOP de 12 dBz llega a unos 8 km de altura. La estructura general de la línea realizada pierde definición respecto a pasadas anteriores, cuando la línea convectiva se situaba más al oeste, pero ello puede deberse a la elevación del haz y el posible apantallamiento, no pudiendo deducirse un debilitamiento real de las estructuras.

No se detectaron descargas eléctricas en la zona de interés, presumiblemente por la relativamente escasa extensión vertical de los desarrollos.

Puede concluirse en este apartado que las imágenes de teledetección son compatibles con la posible ocurrencia de tornados u otros vientos intensos de origen convectivo en las zonas donde se tiene constancia de daños.

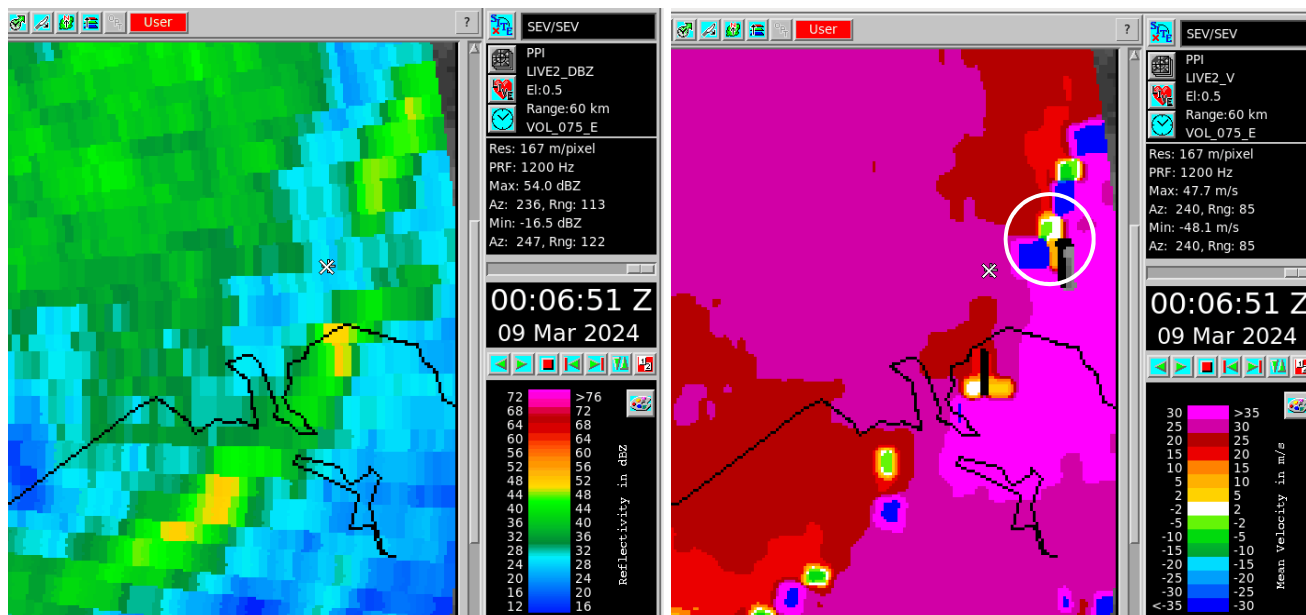


Figura 7. Radar de Sevilla. PPI de las 0006 UTC del día 9. Elevación 0.5°. a) imagen de reflectividad. b) imagen de viento radial ligeramente suavizada. Los píxeles azul oscuro muestran *aliasing*, por exceder la velocidad límite de detección, de aproximadamente 50 m/s. Se marca con un aspa la situación de la central termosolar afectada, y en b) con un círculo el posible *misociclón* que pudo pasar sobre la central momentos antes. El vórtice coincide con el punto de rotura del patrón de reflectividad

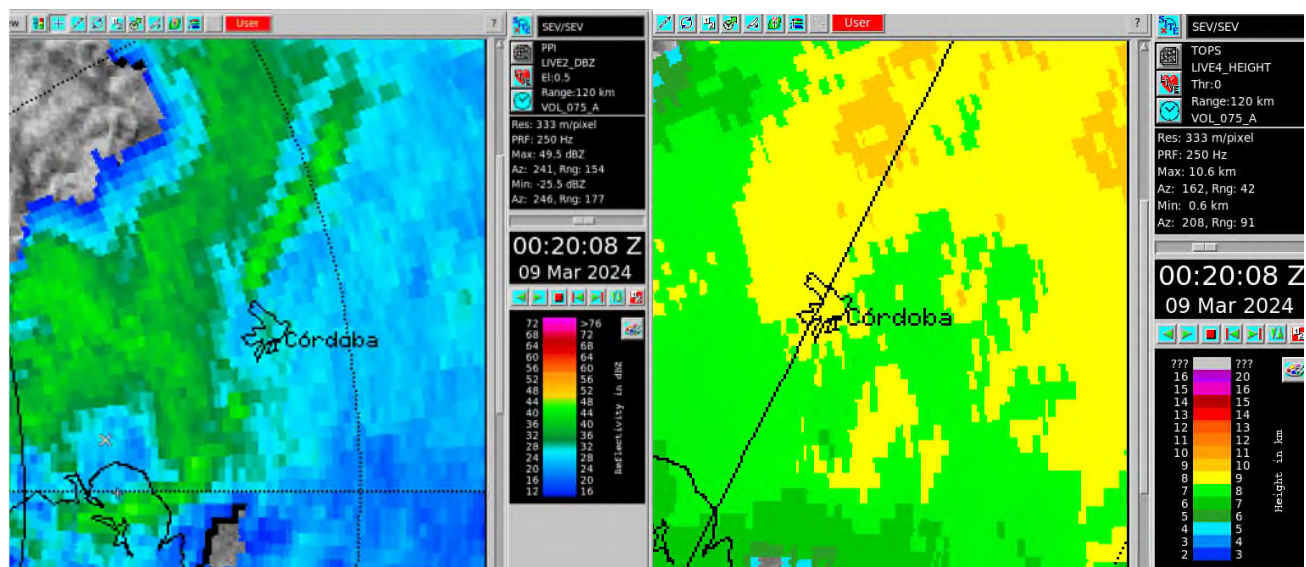


Figura 8. Radar de Sevilla. 0020 UTC del día 9. a) PPI de reflectividad, elevación 0.5°. b) ECHOTOP de 12 dB

## 5- Datos de observación

Los datos de la EMA del aeropuerto de Córdoba (fig.9), muy próxima a las zonas con daños, pero no afectada por el episodio, muestran el paso de la banda frontal entre las 0020 UTC y las 0030 UTC. Previo al paso se observa un ligero ascenso de temperatura, un aumento del viento, precipitaciones débiles y un continuado descenso de la presión. Al paso del frente se produce un descenso de temperatura de unos 3 grados, un aumento de la intensidad de precipitación, un giro de viento de unos 50 grados y un descenso brusco de presión de casi 2 hPa, seguido de un rápido ascenso de algo más de 2 hPa. Después continúa la lluvia, desciende el viento y la presión recupera su tendencia descendente, de forma más suave.

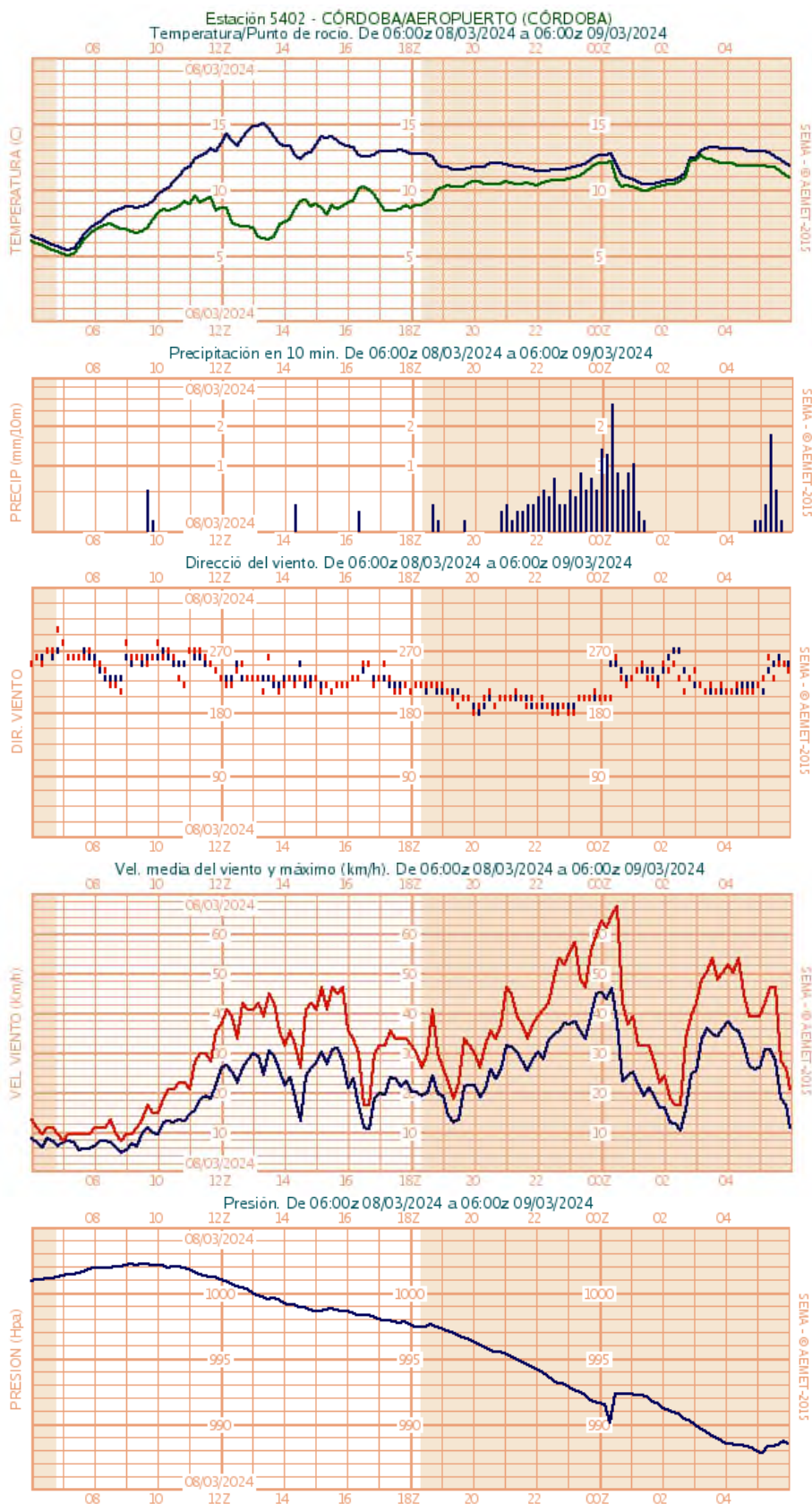


Figura 9. Registros de la estación automática de Córdoba Aeropuerto hasta las 06 UTC del 9/3/2024



Los datos de viento máximo no son suficientes para explicar los daños producidos, lo que lleva a reforzar la idea de un fenómeno de viento local de origen convectivo.

Se nos han facilitado también las medidas de dos estaciones meteorológicas de la central termosolar afectada. No podemos asumir la exactitud de las medidas, dado que no conocemos detalles del mantenimiento y calibración de los sensores. No obstante, la evolución de algunos de los registros al paso del episodio de viento sí puede llevar a algunas conclusiones. Una de las estaciones se ubica al NE de las instalaciones y no se vio afectada por el episodio. La otra, al SW, queda más cerca de la línea donde se concentran los daños, quedando un poco al NW de la misma. En ambas estaciones se observa una evolución similar a la de Córdoba, con un aumento ligero de la temperatura y un descenso de la presión antes del paso del frente. Coincidiendo con el inicio del descenso de temperatura y apenas iniciado el ascenso de presión, en la estación del SW se inicia un brusco aumento del viento y un descenso de la presión, que no se notan en la estación del NE. En la estación SW, en el lapso de menos de 1 minuto se llega a una velocidad de viento de 26.8 m/s, desde una previa de unos 13 m/s y la presión desciende 2 hPa. Inmediatamente, el viento y la presión vuelven a los niveles previos, similares a los de la otra estación. Los datos de dirección de viento no parecen muy fiables, por lo que no podemos sacar conclusiones de ellos.

## 6- Análisis de daños

Las informaciones acerca de daños asociados a este episodio proceden de muy diversas fuentes. Desde la misma madrugada se publicaron testimonios en Twitter (ahora X), que pronto tuvieron su reflejo en numerosos medios de comunicación y se fueron ampliando. Desde el mismo sábado día 9 hemos comenzado a recopilar testimonios, grabaciones e información acerca de los daños. El lunes día 11 realizamos una visita para inspección de daños en la ciudad de Córdoba. Debemos agradecer a Enrique Muñoz, del *colectivo Meteofreak* que nos acompañó y guió, así como al equipo del ayuntamiento de la ciudad, especialmente a su Delegado de Infraestructuras, y al equipo de gobierno del Hospital Reina Sofía que nos facilitó el acceso, grabaciones y testimonios acerca de lo sucedido en sus instalaciones, así como a otras personas que amablemente nos atendieron e informaron en otros puntos de la ciudad. Contamos con una relación detallada de incidencias recopilada por los servicios municipales y otra compilada por el 112. Con posterioridad a nuestra visita hemos recibido también un informe pericial de algunos de los daños conocidos en la capital así como información detallada de daños en el Centro IFAPA Alameda del Obispo, ubicado en las afueras de la ciudad, hacia el suroeste, y de daños en una instalación termosolar en el término municipal de Posadas, a unos 25 km al SW de la capital. En el espacio entre la central termosolar y la capital (zona predominantemente de cultivo) no hemos tenido conocimiento de daños.

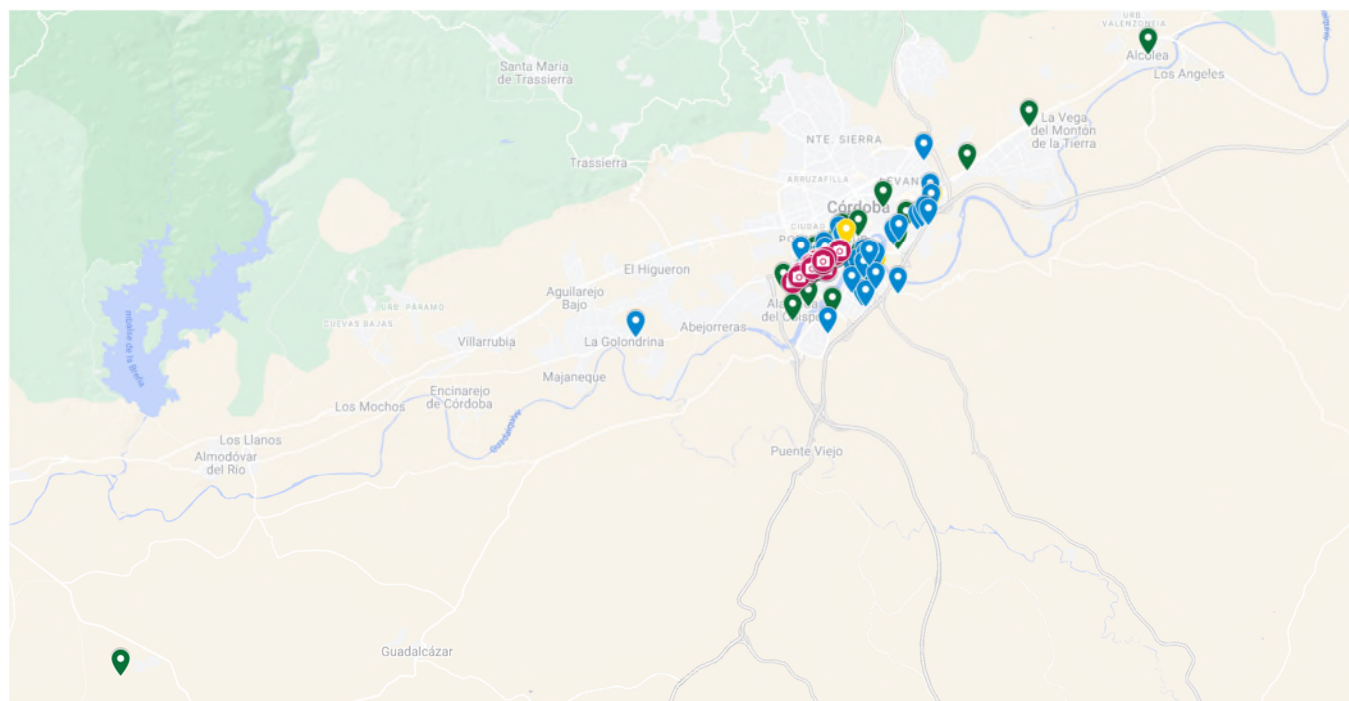


Figura 11. Mapa general con ubicación de los puntos donde tenemos referencias de daños. En la esquina inferior izquierda, la central termosolar, y en la superior derecha la barriada de Alcolea.

Los daños en la ciudad parecen organizarse en dos trayectorias paralelas que discurren de SW a NE, en principio a ambos lados del río, aunque la trayectoria más al sur lo cruzaría río arriba del meandro que dibuja el curso del Guadalquivir en la ciudad. La primera trayectoria tendría una extensión de más de 4 km, y la segunda se acercaría a los 10 km. Los daños identificados se distribuyen en un ancho máximo del orden de unos 400 m en la línea al norte, y de unos 800 m en la del sur. La distancia entre ambas trayectorias sería del orden de un kilómetro. La primera parece perder intensidad a la entrada del casco antiguo de la ciudad, mientras que la segunda se prolonga hacia las afueras al NE.

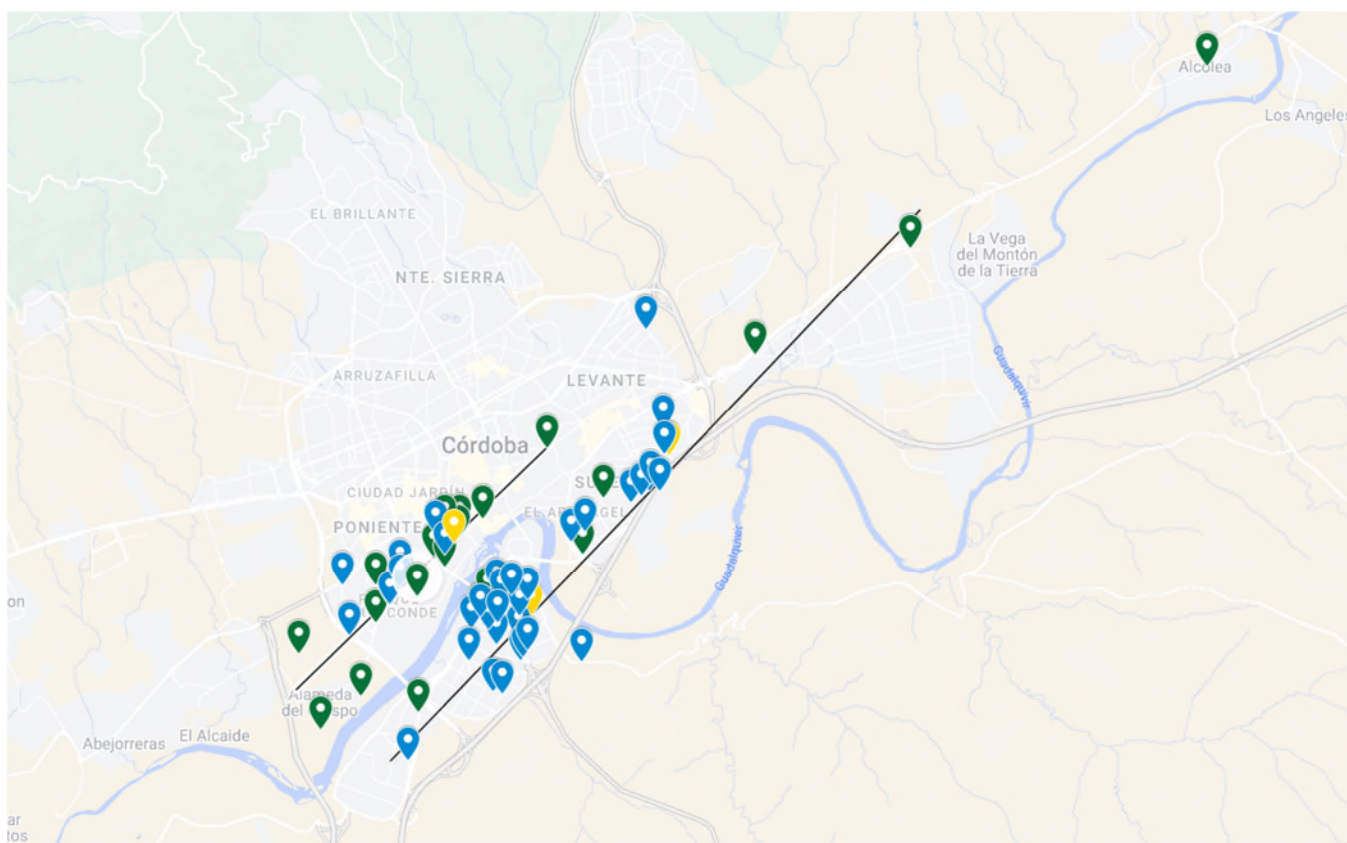


Figura 12. Detalle de las trayectorias que parecen dibujar los daños conocidos en la capital.

Durante nuestra visita pudimos inspeccionar principalmente los daños en la trayectoria 1 (la situada al norte) y el final de la trayectoria 2 (la situada al sur). No obstante, hemos obtenido de la policía municipal, el 112 y testimonios mediante contacto vía mensajes directos de Twitter de personas afectadas, detallada información de la magnitud de los daños en la zona sur. El hecho de que esta segunda trayectoria parezca ser más ancha y más larga, y que la densidad de incidencias recopilada por los servicios de emergencias sea mayor, invita a pensar que esta segunda línea fue al menos de la misma intensidad, si no más, que la primera. En cuanto al periodo temporal, los testimonios y registros de incidencias invitan a pensar que fueron simultáneas, en el entorno de la 1:20 ó 1:30 locales. Una de las grabaciones de las cámaras de seguridad del Hospital Reina Sofía permite identificar con mucha precisión la hora del evento, que alcanza la ubicación del edificio de gobierno del hospital en torno a la 01:20, y apenas dura unos 30 segundos. Esta grabación, de dos minutos de duración, permite apreciar cómo, en una situación inicial de lluvia y viento intensos a la 01:19:00, se observa una intensificación que se acentúa muy bruscamente en torno a la 01:19:50, provocando la caída de objetos y mobiliario urbano, y un oscurecimiento de la imagen por lo que parece intensa lluvia horizontal. Tras un intervalo de unos 30 segundos, amainan rápidamente el viento y la lluvia, que parecen ser, al final de la grabación, a la 01:21, de intensidad similar o algo menor respecto a las condiciones iniciales.





En otro vídeo que circula en IG, tomado al parecer a la 01:22 desde el centro comercial El Arcángel mirando hacia el río, <https://www.tiktok.com/@.mercadona/video/7344358434545978657>, se aprecia también un fuerte golpe de viento y lluvia que se prolonga al menos unos 30 segundos

El tipo de daños que hemos conocido en la capital consiste en arbolado, mobiliario urbano y cartelería, material deportivo, tejados, muros, y placas solares. La intensidad de los daños parece encontrarse mayoritariamente en la categoría 1,5 de la escala IF (International Fujita), que corresponde a vientos de unos 180 km/h, aunque algunos de los daños podrían estar incluso en la categoría IF2 que supone vientos del orden de 220 km/h, mientras que otros daños, como el desplazamiento de maquinaria pesada en el tejado del edificio del hospital, o el vuelo durante más de 200 m de chapas de placas del techado de una nave son difíciles de evaluar.

Los daños conocidos en el IFAPA, a la entrada de la ciudad por el SW, son principalmente en árboles, y se encuentran en ubicaciones dispersas dentro de un área de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>, sin que tengamos noticias de daños en las edificaciones. Los más llamativos son los casi 200 olivos arrancados de raíz en la zona denominada La Rebuja, la más elevada y expuesta a los vientos.

En la instalación termosolar han sido parcialmente afectados algunos de los espejos, sin que hayan colapsado estructuras. La mayor densidad de daños se se observa en una línea de SW a NE,

Resulta útil la comparación de los efectos de este episodio con los del temporal Bernard, de octubre de 2023. En aquella ocasión el aeropuerto de Córdoba se registraron 128 km/h. Según diversos testimonios, los daños fueron de mucha menor entidad. Concretamente, en la central termosolar se nos indica que se vieron afectados aproximadamente una cuarta parte del número de heliostatos dañados en este episodio.



Cartel parcialmente derribado, categoría 1.5



Muro de bloques de hormigón, rellenos y con estructura reforzada, derribado, categoría IF2.



Árbol de categoría débil (conífera) tronchado, categoría IF1



Arbol de categoría fuerte (olivo) derribado, categoría IF  $\geq 1.5$



Placa metálica de techado de nave desplazada más de 200 m.



Los daños conocidos en la ciudad de Córdoba y alrededores, por su intensidad y distribución, son compatibles con un fenómeno de vientos convectivos. Los testimonios y grabaciones recogidos no son concluyentes en cuanto a la existencia de un embudo de tipo tornádico, aunque el hecho de producirse de noche haría difícil su observación. Si bien la estructura lineal de las trayectorias invita a pensar en dos fenómenos tornádicos, el hecho de que sean dos trayectorias paralelas, cercanas y probablemente simultáneas, favorece la hipótesis, apoyada por el análisis de los patrones radar del apartado 4, de que ambas trayectorias estén asociadas a un único vórtice de una escala algo mayor, un misociclón. La trayectoria de daños situada más al sur podría deberse a vientos descendentes asociados al flanco sur de dicho misociclón, mientras que la trayectoria norte podría estar asociada a la formación de un pequeño tornado en el flanco norte del mismo.

Los daños en la central termosolar siguen también un patrón lineal, por lo que también serían compatibles con el paso de un vórtice.

## **7- Conclusión**

La situación meteorológica, los datos de teledetección y observación disponibles, así como el análisis de los daños localizados y testimonios no deja lugar a dudas acerca de la ocurrencia de vientos intensos de carácter localizado y origen convectivo en la ciudad de Córdoba. La intensidad de las rachas registradas en la muy cercana (a unos 4 km del comienzo de las trayectorias identificadas) estación del aeropuerto en absoluto pueden justificar los daños conocidos. La estructura lineal de las trazas de daños hace pensar en el paso de vórtices tornádicos o de mayor escala como causantes de los mismos.

Daños similares, siguiendo también un patrón lineal, en la central termosolar habrían tenido un origen similar.

Por todo ello, se estima que, durante las primeras horas de la madrugada del día 9 de marzo de 2024 en la ciudad de Córdoba, vientos de origen convectivo, incluyendo un posible tornado, fueron los causantes de los daños producidos en la ciudad. La intensidad máxima del viento habría alcanzado categoría IF2 (escala International Fujita), del orden de unos 220 km/h. Un fenómeno similar, de intensidad algo menor, de categoría entre IF1 y IF1.5, con vientos máximos del orden de 150 - 180 km/h, habría afectado a la central termosolar en el término de Posadas.