

Análisis meteorológico de la situación de lluvias intensas del 29 de octubre de 2024 en la provincia de Valencia

Juan Andrés García-Valero

Agencia Estatal de Meteorología

jugarciav@aemet.es



<https://orcid.org/0000-0002-3914-6328>

José Ángel Núñez

Agencia Estatal de Meteorología

Ramon Pascual Berghaenel

Agencia Estatal de Meteorología

Resumen

El 29 de octubre de 2024 se produjo un acontecimiento meteorológico extraordinario en la provincia de Valencia. La intensidad de las precipitaciones fue de tal magnitud que se batieron ampliamente los récords de todos los intervalos de acumulados en territorio español entre una y doce horas. En este artículo se presenta una descripción sinóptica de las estructuras dinámicas atmosféricas, las precipitaciones registradas y los principales elementos que provocaron que se desencadenara y, posteriormente, se desarrollara la convección profunda. También se describe desde el punto de vista del radar la estructura del sistema convectivo que se formó durante la tarde en la zona interior prelitoral de la provincia de Valencia.

Palabras clave: meteorología sinóptica, lluvia torrencial, convección profunda, DANA, Valencia.

Resum: Anàlisi meteorològica de la situació de pluges intenses del 29 d'octubre de 2024 a la província de València

El 29 d'octubre de 2024 es va produir un esdeveniment meteorològic extraordinari a la província de València. La intensitat de les precipitacions va ser de tal magnitud que es van batre àmpliament els rècords, en territori espanyol, de tots els intervals d'acumulats entre 1 i 12 hores. En aquest article es presenta una descripció sinòptica de les estructures dinàmiques atmosfèriques, les precipitacions registrades, així com dels principals ingredients que van donar lloc al dispar i posterior desenvolupament de la convecció profunda.

També es descriu des d'un punt de vista radar l'estructura del sistema convectiu que es va formar durant la tarda a la zona prelitoral de la província de València

Paraules clau: meteorologia sinòptica, pluja torrencial, convecció profunda, DANA, València.

Abstract: Meteorological analysis of the intense rainfall event on 29 October 2024 in the province of Valencia

On 29 October 2024, an extraordinary meteorological event occurred in the province of Valencia. Rainfall intensity was such that numerous Spanish records were broken for all accumulation intervals between 1 and 12 hours. In this article, a synoptic analysis of atmospheric dynamic structures, recorded precipitation, and the principal factors that led to the triggering and subsequent development of deep convection is presented. The article also includes descriptive radar mapping of the structure of the convective system that formed during the afternoon in the pre-coastal area of the province of Valencia.

Keywords: synoptic meteorology, torrential rain, deep convection, isolated high altitude depression, Valencia.

* * *

1. Introducción

El día 29 de octubre de 2024 un episodio extraordinario de precipitaciones afectó al este peninsular provocando acumulados históricos en la Comunitat Valenciana. El evento se desencadenó debido a la presencia de una depresión aislada en niveles altos (DANA) localizada en el entorno del Estrecho de Gibraltar que forzó el desarrollo de un área de bajas presiones en superficie en el sur peninsular que contribuyó a la canalización de un intenso flujo del este desde el mar Mediterráneo hacia la fachada oriental peninsular. La confluencia de estos factores favoreció el desarrollo y organización de diferentes estructuras convectivas acompañadas de precipitaciones torrenciales que se mantuvieron estacionarias en diferentes zonas de las provincias de Valencia, Cuenca, Albacete y Murcia.

Los acumulados máximos de este día superaron, en una amplia área del interior de la provincia de Valencia los 300 mm destacando, por encima de todos, los valores observados en la localidad de Turís, ubicada en la comarca de la Ribera Alta de la provincia de Valencia, donde se registraron nuevos récords nacionales de precipitación. Las intensas y duraderas precipitaciones provocaron el aumento muy rápido de los caudales de ramblas y ríos. Una de estas ramblas, la del Poyo o Chiva, provocó una de las peores tragedias naturales en la historia reciente de nuestro país, desbordándose en su cauce más bajo y provocando la pérdida de la vida de 229 personas e innumerables pérdidas materiales (Cámara de Valencia, 2024).

En este estudio se presenta una descripción de las principales causas meteorológicas que provocaron las intensas precipitaciones, centrándose en las acontecidas en la provincia de Valencia durante la tarde del día 29. Así, en la sección 2 se describe cómo fue configurándose durante los días previos la estructura sinóptica. En la sección 3 se describen las precipitaciones observadas. En la sección 4 se lleva a cabo un análisis de los ingredientes presentes que ayudaron al disparo y posterior desarrollo de la convección profunda, mientras que en la 5 se describe desde el punto de vista radar y de satélite la estructura convectiva originada durante la tarde. Por último, en la sección 6 se muestra un resumen de las principales conclusiones del estudio.

2. Descripción sinóptica de la situación atmosférica

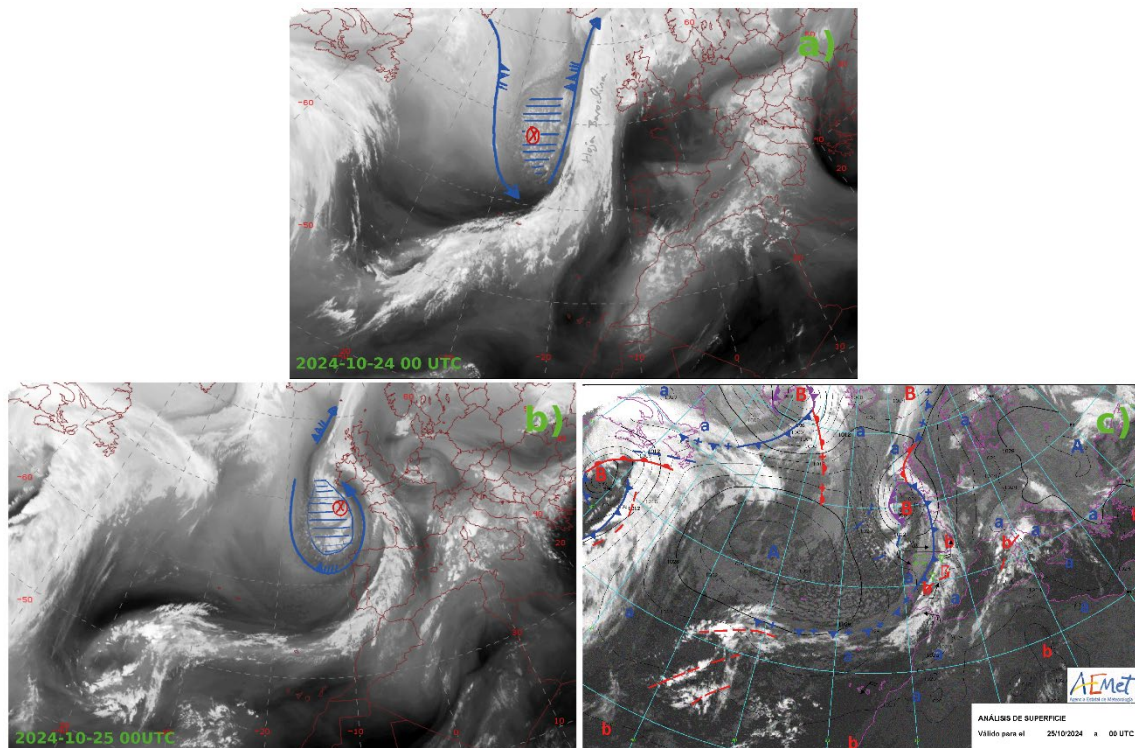
El patrón sinóptico que definió la situación del 29 de octubre comenzó a gestarse el jueves 24. Durante ese día, una vaguada de gran amplitud y notable anomalía fría situada en mitad del Atlántico Norte presentaba dos chorros de entrada y salida muy equilibrados conformando una estructura de vaguada simétrica. Su eje presentaba una orientación meridional (figura 1a), y la intensidad de los chorros que la circundaban, de más de 120 nudos, provocaba a lo largo del eje una marcada rotación ciclónica. La intensidad de esta circulación en el seno de la vaguada y, la gran anomalía fría que la acompañaba en los niveles altos sería el origen de la DANA que afectaría días más tarde a nuestro territorio.

A las 00:00 UTC (tiempo universal coordinado) del día 24, se apreciaba sobre el flanco derecho del chorro de salida de la vaguada una extensa hoja baroclina, síntoma de la existencia de un forzamiento dinámico a gran escala que elevaba las masas de aire sobre el océano hacia los niveles medio-altos de la atmósfera. En las imágenes de vapor de agua se aprecia como la hoja baroclina (figura 1a) fue evolucionando a lo largo del día 24, empezando a adquirir una mayor curvatura cerca de su punto de inflexión, síntoma de que se estaba produciendo la formación de una borrasca en superficie, la cual, a primeras horas del día 25 ya estaba completamente desarrollada al suroeste de las islas británicas (figura 1c).

A la vez que se desarrollaba el sistema depresionario, sobre aguas atlánticas, corriente arriba de la vaguada, se localizaba una extensa dorsal que se iba trasladando hacia el este aumentando así la circulación del viento en altura de componente norte, factor que contribuyó a intensificar el chorro de entrada a la vaguada. A su vez, su chorro de salida perdía intensidad tras el proceso ciclogénico por lo que empezaba así un desequilibrio entre ambos, lo que favorecía el desplazamiento hacia el sur de la depresión en altura, en el seno de la cual se mantenía una intensa actividad rotatoria.

A lo largo del día 25 la depresión en altura y la baja en superficie comenzaron a desacoplarse por el desplazamiento de la depresión hacia el sur, provocando

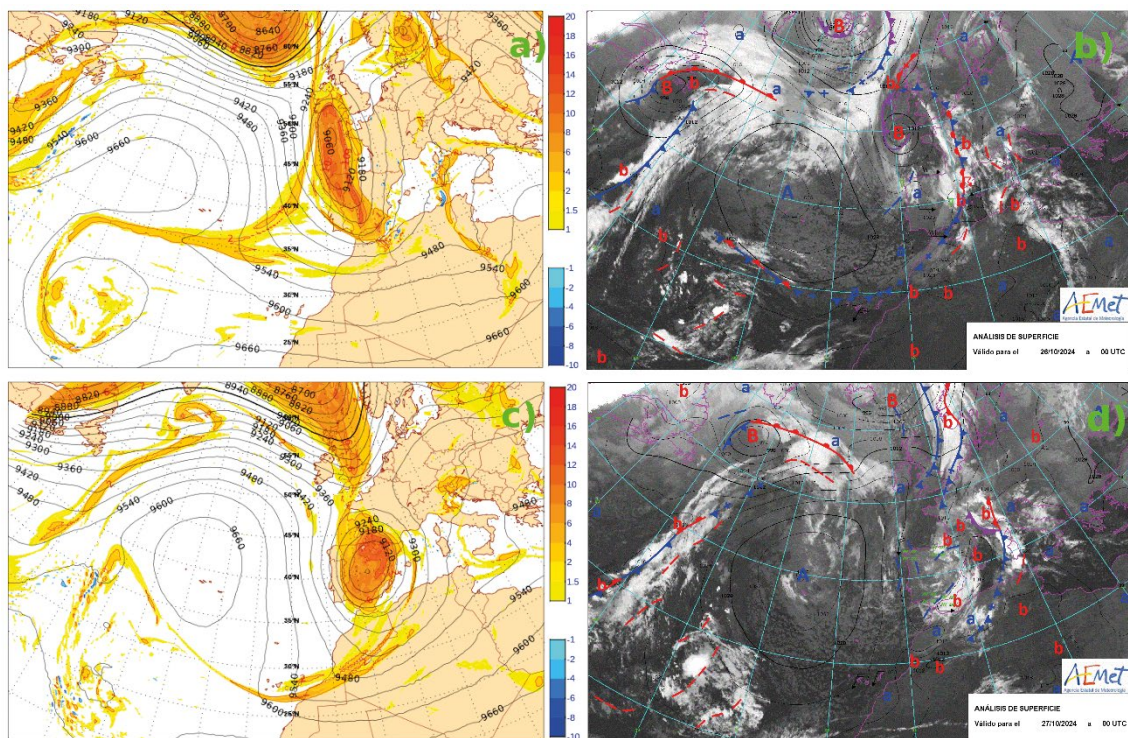
Figura 1. Imágenes de las 00:00 UTC del satélite Meteosat-11 correspondientes a los canales WV (7.3 micras) (a y b) e IR (10.8 micras) (c.), de los días 24 (a) y 25 de octubre (b y c).



Las imágenes a y b muestran un área rayada en azul que indica la región con las mayores anomalías térmicas negativas, así como el centro de vorticidad (en rojo) y los chorros asociados y su intensidad (líneas y flechas en azul). En la imagen c, se superpone a la imagen de satélite las principales estructuras de presión y sistemas frontales asociados en superficie. Fuente: AEMET.

que la región de bajas presiones en superficie experimentase un rápido debilitamiento (figura 2a y figura 2b). Así, la depresión fue descolgándose en latitud hasta situarse a primeras horas del día 27 sobre la vertical de la península ibérica, constituyendo un núcleo de vorticidad ciclónica desgajado de su vaguada madre (figura 2c y figura 2d). A esta depresión aislada de niveles altos, sin la existencia de un sistema de bajas presiones en superficie y, con circulación de vientos cerrada en torno a su centro, se le conoce técnicamente como DANA o *Cut-off Low* (en su denominación anglosajona, Gimeno *et al.*, 2007, Nieto *et al.*, 2008).

Durante el día 27 la dorsal existente corriente arriba avanzaba hacia el noreste manteniendo la intensidad del chorro de entrada a la DANA, pero haciendo que éste fuera cambiando a componente noreste, por lo que empezó a producirse un cambio en la dirección de desplazamiento de la DANA hacia el suroeste. De este modo, el día 28 a mediodía, la DANA se localizaba sobre la vertical

Figura 2. Análisis de las 00:00 UTC de los días 26 (a y b) y 27 (c y d) de octubre de 2024

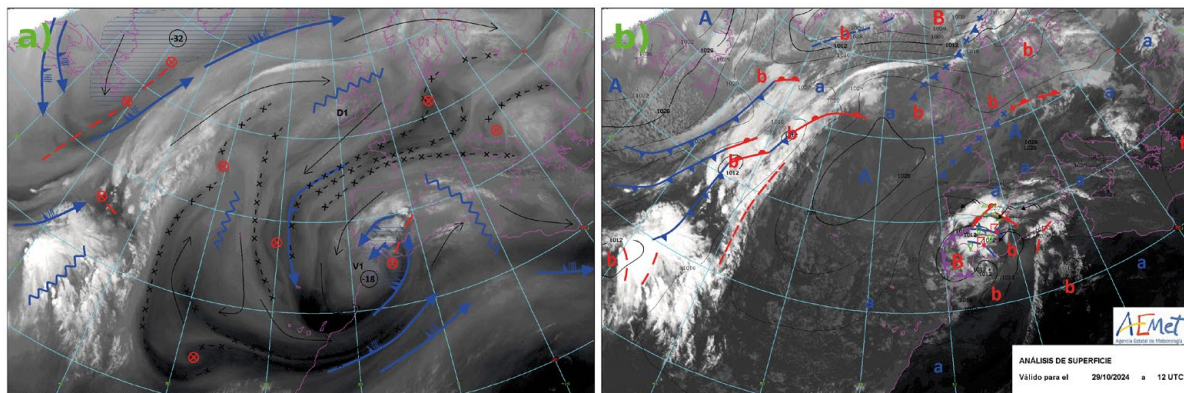
En la columna de la izda. (a y c). Se representa el campo de altura geopotencial y de vorticidad potencial en el nivel de 300 hPa (a unos 9 km de altitud), mientras que en la columna de la derecha (b y d) se representa el campo de presión a nivel del mar y las distintas estructuras frontales, junto con la imagen del canal IR (10.8 micras) del Meteosat-11. Fuente: AEMET.

del golfo de Cádiz, todavía sin una región de bajas presiones en superficie con centro claramente definido. En la tarde del 28, su desplazamiento continuó hacia el sur, localizándose sobre la vertical de la costa norte marroquí a primeras horas del día 29. En este momento, el chorro de entrada de la vaguada se debilitó rolando a oeste-noroeste, mientras que su chorro de salida se intensificó por la interacción de éste con el chorro subtropical, desarrollándose una intensa circulación de suroeste (figura 3a) cuya interacción con el sistema montañoso del Atlas dio lugar a la formación de un área de baja presión en superficie a sotavento sobre el mar de Alborán (figura 3b).

La formación y posterior desarrollo de esta baja en superficie indujo la intensificación de la circulación de viento de componente este sobre la fachada mediterránea peninsular, aportando mucha humedad a esta región. Mientras tanto, el chorro de componente suroeste en altura inducía sobre el sur y la mitad oriental peninsular un importante forzamiento dinámico que ayudaba al ascenso de la masa de aire húmedo de procedencia mediterránea y a la

organización de la convección desarrollada tras estos ascensos. A su vez, se iba configurando un centro de bajas presiones en superficie sobre la zona del golfo de Cádiz, por lo que la DANA pasaba técnicamente a definirse a partir de entonces como borrasca fría aislada (BFA).

Figura 3. Guías técnicas de niveles altos (a) y análisis de superficie (b) de las 12:00 UTC del día 29 de octubre de 2024



A la izquierda se representan los chorros y principales estructuras dinámicas en altura, superpuestos a la imagen de WV (canal 6.2 micras) del satélite Meteosat-11. A la derecha se muestra el campo de presión a nivel del mar, junto a los principales sistemas frontales y centros de alta y baja presión superpuestos a la imagen IR (canal 10.8 micras). Fuente: AEMET.

A partir de la tarde del día 29, y a lo largo de todo el día 30, continuó el desplazamiento de la dorsal corriente arriba de la BFA hacia el continente europeo, alcanzando primero a las islas británicas y extendiéndose después hacia el norte y centro de Europa. Con este patrón de altura, alta sobre el norte de Europa y baja sobre el suroeste europeo, se configuraba un patrón clásico de bloqueo atmosférico, conocido como patrón tipo Rex (Rex, 1950) que se mantendría hasta el día 4 de noviembre y que continuaría favoreciendo, en diferentes zonas del suroeste de la Península y del área mediterránea, precipitaciones muy importantes.

3. Precipitaciones registradas

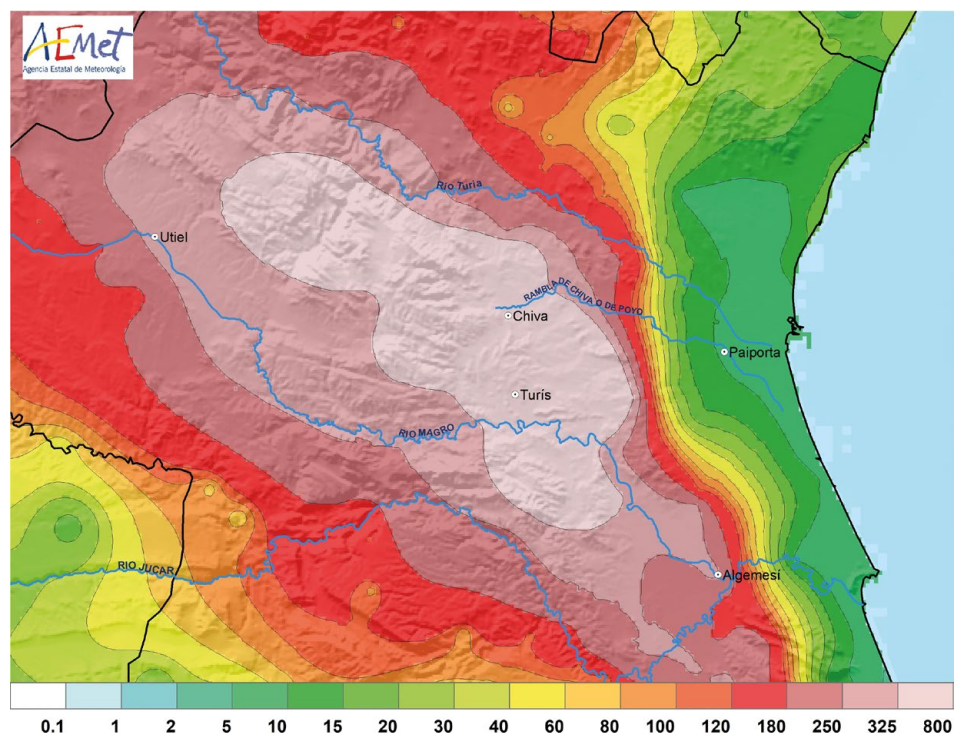
La situación atmosférica descrita en el apartado anterior dio lugar a la ocurrencia de precipitaciones muy intensas en diferentes puntos del territorio peninsular español. No obstante, este apartado se centra exclusivamente en las precipitaciones observadas en la provincia de Valencia durante el día 29.

En la figura 4 se muestra un mapa en el que se representa la distribución de los acumulados de precipitación en 24 horas en la provincia de Valencia. Una

de las características principales que se observan en la figura es el gran contraste entre los acumulados tan extraordinarios del interior y prelitoral, con una amplia zona superando los 300 mm, con aquellos otros observados a lo largo de todo el litoral, donde apenas se alcanzó el umbral de 10 mm.

Otra característica reseñable de la figura 4 es la estructura espacial de la precipitación, observándose una forma de elipsoide en dirección sureste-noroeste de la región de máximos acumulados. En el mapa se muestra también el curso de algunos ríos y ramblas que discurren por la zona, observándose de forma clara que el curso alto de la rambla de Chiva o del Poyo está localizado en la zona de máximos, rambla que recogería una cantidad extraordinaria de precipitación a lo largo de su curso alto provocando las riadas observadas horas más tarde en la zona litoral.

Figura 4. Acumulado de precipitación en 24 horas en la provincia de Valencia el 29 de octubre de 2024



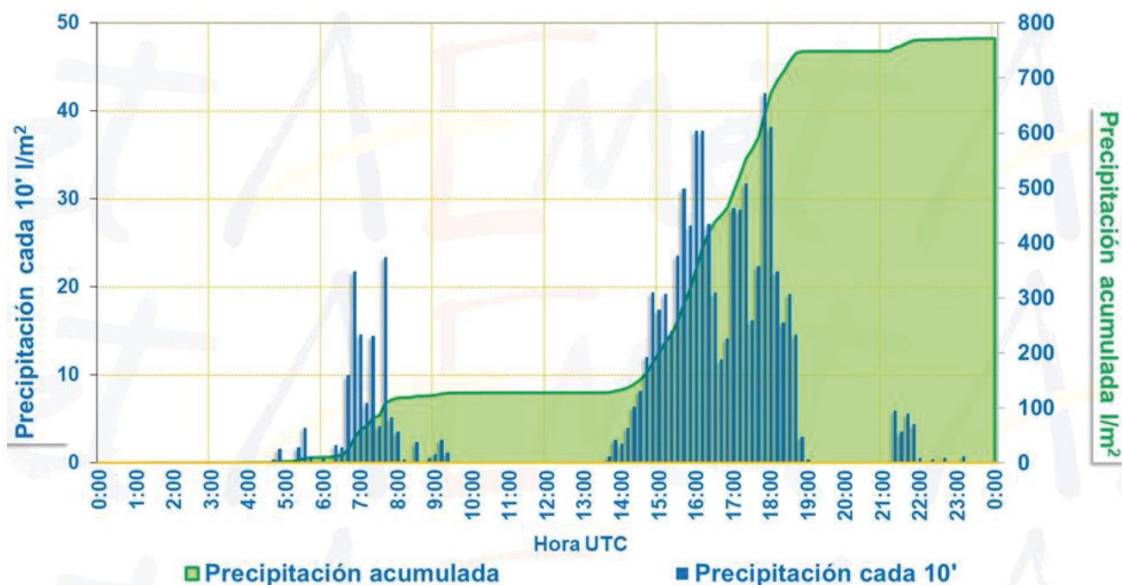
Fuente: mapa elaborado con datos de estaciones de las redes de AEMET, SAIH Júcar, IVIA, Siritel, AVAMET e Infortatge.

Un análisis más detallado de la intensidad de las precipitaciones a escala subdiaria lo encontramos en la figura 5. En ella se muestran los registros de 10 minutos de la estación automática de AEMET (8337X) ubicada cerca de la localidad de Turís. Un primer análisis de la figura revela la existencia de dos

eventos de precipitación sucedidos a lo largo del día. El primero tuvo lugar durante la mañana, de duración aproximadamente de una hora, entre poco antes de las 7:00 y las 08:00 UTC. Durante este tiempo llegaron a acumularse cantidades entre 100 y 150 mm, con intensidades máximas en 10 minutos del orden de 23 mm. Intensidades todas ellas de carácter torrencial (superiores a 60 mm en una hora).

A pesar de que estas cantidades son de por sí muy elevadas, nada tienen que ver con los acumulados registrados durante el segundo evento ocurrido durante la tarde. Así, a partir de aproximadamente las 14:30 UTC comenzó a llover en Turís con intensidad torrencial, y de forma ininterrumpida durante las siguientes 4 horas. Todos los acumulados en 10 minutos a partir de esa hora superaron los 10 mm, rebasándolos muy ampliamente en ciertos intervalos de tiempo entre las 16:00 y las 17:00 UTC, aunque el máximo de precipitación en 10 minutos, de 43 mm, se produjo entre las 18:50 y las 19:00 UTC. La persistencia y gran intensidad de las precipitaciones hizo que se batieran los récords de acumulaciones en todos los intervalos de entre 1 y 12 horas, siendo los acumulados de 1 y 12 horas de 184.6 y 720.4 mm, respectivamente. Como resumen, en la Tabla 1 se muestran los acumulados en 24 horas observados en diferentes estaciones de la red de AEMET en la provincia de Valencia.

Figura 5. Registros de precipitación en 10 minutos recogidos en la estación de AEMET (8337X) próxima a la localidad de Turís (Valencia)



Fuente: AEMET.

Tabla 1. Registros de acumulados en 24 horas durante el 29 de octubre de 2024 en estaciones de la red de AEMET en la provincia de Valencia

Indicativo	Nombre estación	Precipitación acumulada en 24 h (mm)
8337X	Turís	771,8
8334B	Chiva-La Pailla	615,0
8319G	Buñol	447,4
8329E	Montserrat Casadalt	294,6
8311	Utiel	289,3
8294	Barxeta (Cooperativa agrícola)	283,0
8295H	Rafelguaraf (Ayuntamiento)	283,0
8328F	Alginet Coagri	265,4
8395C	Chelva El Calvario	263,0
8399	Embalse de Loriguilla	246,0
8309X	Utiel, La cubera	243,0
8313	Requena	238,3
8401	Chera	230,0
8316I	Requena-Rebollar	225,2
8310B	Camporrobles Cooperativa	217,5
8303I	Guadassar Polideportivo	210,0

Fuente: AEMET.

4. Ingredientes presentes en el disparo y desarrollo de la convección profunda

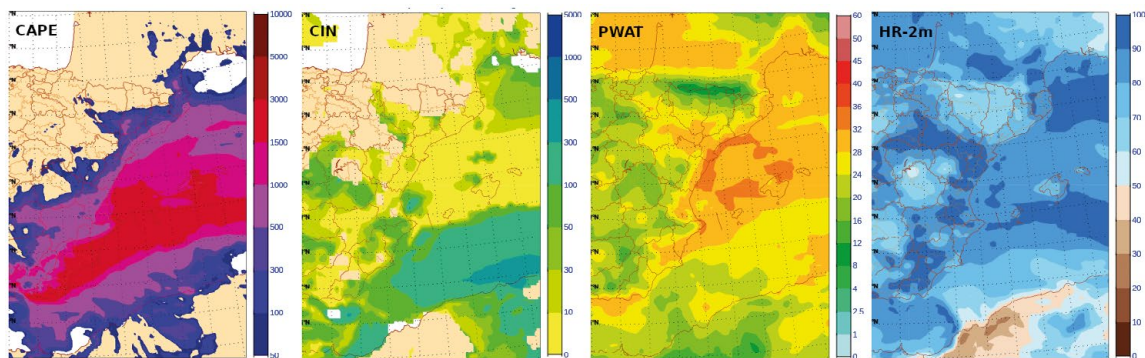
La intensidad de las precipitaciones registradas durante tantas horas tuvo que ser el resultado del desarrollo de uno o varios sistemas precipitantes asociados a convección profunda. Se entiende por convección profunda en aire húmedo a aquella que se produce cuando las burbujas de aire se elevan hasta su saturación y adquieren flotabilidad positiva, tras sobrepasarse el nivel de convección libre (NCL), continuando su ascenso hasta niveles muy altos de la troposfera (Markowski y Richardson, 2011).

Para sobrepasar el NCL las burbujas de aire deben presentar en su ascenso una energía superior a la energía potencial inhibidora de la convección (CIN). Además, una vez superado el NCL debe haber suficiente energía potencial disponible (CAPE, por sus siglas en inglés) para el desarrollo de la convección, para que la nubosidad desarrollada alcance niveles muy altos en la troposfera, siendo la CAPE de una proporción mucho mayor que la CIN. Otros factores

que contribuyen al aumento de la inestabilidad es el grado de humedad de la masa de aire y su temperatura, de modo que una masa de aire húmeda es mucho más inestable que otra más seca. Así, las burbujas de aire cálidas próximas a la saturación, son un ingrediente clave para el desarrollo potencial de la convección profunda.

En la figura 6, se muestra el análisis de las 12 UTC obtenido con el modelo HARMOMIE-AROME. En ella se representan diferentes campos: CAPE, CIN, agua precipitable en columna y humedad relativa en superficie. Todos ellos muestran valores muy favorables al posterior desarrollo de la convección profunda al oeste-suroeste de la ciudad de Valencia. Hay que remarcar la importancia del patrón sinóptico en los campos de humedad, el cual favorecería la presencia de viento del este, con gran recorrido marítimo en los niveles bajos, provocando así una intensa advección de humedad sobre todo el litoral mediterráneo peninsular. También es importante tener en cuenta la época del año en la que se produjo el evento, que coincide cuando la masa de aire mediterránea presenta todavía valores muy elevados de temperatura tras la fuerte insolación sufrida durante el período estival.

Figura 6. Análisis de la 12:00 UTC obtenidos del modelo HARMONIE-AROME, para los campos (de izquierda a derecha): CAPE (J/Kg), CIN (J/Kg). Agua precipitable (mm) y humedad relativa a 2 m (%)

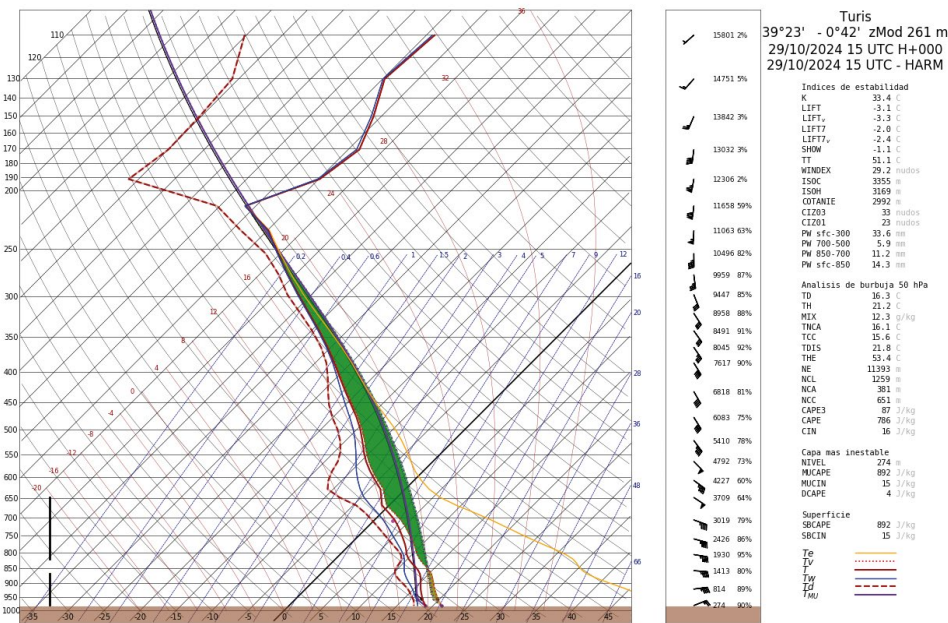


Fuente: AEMET.

El sondeo es otra herramienta útil para analizar el grado estabilidad del perfil vertical atmosférico sobre un punto. En él se puede analizar, entre otras cosas, hasta dónde llegarían las corrientes ascendentes en el caso de desarrollarse la convección, el cual es conocido como nivel de equilibrio (NE), así como otros niveles de interés como el de convección libre ya mencionado. En la figura 7 se presenta el sondeo procedente del análisis de las 15:00 UTC del modelo sobre la vertical de Turís, hora en la que se estaban produciendo precipitaciones torrenciales sobre esta localidad (figura 5). El sondeo muestra que el nivel de equilibrio se situaba aproximadamente en los 11.400 m de altitud, prácticamente al límite

superior de la troposfera, cuya altitud este día era de unos 12.000 m. Por otro lado, el NCL se localizaba alrededor de los 1250 m de altitud, siendo la CAPE y la CIN de 786 y 16 J/kg, respectivamente. Además de esta información, en el sondeo se representan también las curvas de evolución de las burbujas de aire y del estado del ambiente atmosférico. En la figura 7, la CAPE y la CIN vienen resaltadas en color verde oscuro y en un tono algo más claro, respectivamente. Ambos índices representan áreas delimitadas entre las curvas de evolución de las burbujas y la curva que representa el ambiente o estado medio atmosférico.

Figura 7. Sondeo derivado del análisis de las 15:00 UTC del modelo HARMONIE-AROME, sobre la vertical de la localidad de Turís (Valencia)



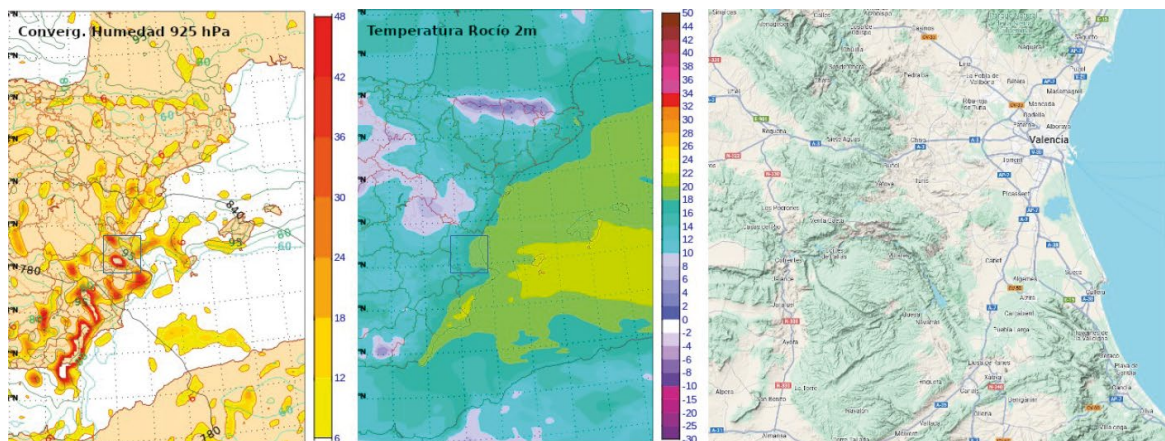
Fuente: AEMET.

Otro resultado que puede extraerse del sondeo es el perfil del viento que nos muestra si este presenta cambios en la vertical en su intensidad o dirección, cambio conocido como cizalladura. Su existencia puede terminar definiendo el tipo de estructura convectiva que se forme. Por lo general, una estructura más organizada suele presentar un mayor tiempo de vida media, por lo que sus efectos en superficie pueden ser más intensos y extenderse a una zona más amplia. El aumento de la vida media viene en gran medida dado por el desacople entre la corriente vertical alimentadora y la corriente descendente que se desarrolla en la zona de mayor precipitación.

En el caso del día 29 de octubre, se observa la existencia de cizalladura intensa, 33 nudos (aproximadamente 61 km/h) en los primeros 3 km, debida

fundamentalmente al giro del viento con la altura, de dirección noreste en los niveles bajos, hacia una componente sursureste en niveles medio y altos. Destaca también la intensidad del viento de los niveles bajos hasta aproximadamente los 5.000 metros, muy constante entre 40 y 50 nudos (74-93 km/h), mientras que, en los niveles más altos, entre 8.000 y 9.000 m este presentaba una intensidad significativamente menor. Este perfil de viento es compatible con el desarrollo de posibles supercélulas que son una de las estructuras convectivas más organizadas. Una de sus características principales es la existencia en su seno de un mesociclón profundo (Doswell y Burges, 1993). Además, estas estructuras son una de las más peligrosas en cuanto a tiempo adverso en superficie, pues suelen estar relacionadas con la ocurrencia de granizo de gran tamaño, fuertes rachas de viento, inundaciones repentinas y formación de tornados (Bluestein, 2013). De hecho, algo destacable de la tormenta que se formaría durante la tarde fue la ocurrencia de al menos 11 tornados que afectaron a la comarca de la Ribera Alta, especialmente a los términos municipales de Turís, Carlet, Catadau, Llombay, Alginet y Benifaió (AEMET, 2024). Como referencia para el lector, en Quirantes *et al.* (2023) puede encontrarse un estudio reciente de supercélulas en España donde se caracteriza el ambiente convectivo previo a su formación.

Figura 8. Análisis de la 12 UTC obtenidos del miembro de control del modelo ENS-IFS, para los campos convergencia del flujo de humedad en el nivel de presión de 925 hPa (izquierda) y temperatura de rocío a 2m (centro)



En ambos mapas se representa un cuadro correspondiente al área de la provincia de Valencia representada en la imagen de la derecha en la que puede verse la configuración orográfica de la zona (Google Maps). Fuente: AEMET.

Todos estos ingredientes que acaban de describirse dan una buena idea de la intensidad potencial que presentaría la convección profunda en caso de generarse. No obstante, no son una condición suficiente para su nacimiento. Para ello, debe darse algún mecanismo de disparo que ayude a iniciarla, provocan-

do el ascenso de las burbujas de aire hasta el NCL. Estos mecanismos pueden ser de diferente índole o una mezcla de varios. Así, están aquellos de carácter orográfico, donde un sistema montañoso puede contribuir al ascenso del flujo de aire que incide sobre él, hasta otros de tipo más dinámico, como aquellos que favorecen el encuentro de vientos superficiales o convergencias, así como aquellos otros relacionados con la existencia de fronteras de masa de aire, que obligan a la masa más húmeda y cálida a elevarse sobre la otra (Markowski y Richardson, 2011; Pascual, 2005, entre otros). Con el fin de analizar la posible o posibles causas que desencadenaron el disparo de la convección, en la figura 8 se muestra el análisis de las 12:00 UTC del modelo del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio.

En la figura 8 se representan los campos de convergencia del flujo de humedad en 925 hPa, así como el de la temperatura de rocío a 2 m, útil para identificar posibles fronteras mesoscalares, y, por tanto, aquellos límites donde podrían producirse ascensos forzados. Así, el mapa de la izquierda de la figura 8, muestra que efectivamente existía convergencia del flujo de humedad en la provincia de Valencia. En la imagen central se observa también una zona frontera de masas de aire que separaba una más cálida, que afectaba al litoral y prelitoral, de otra algo más fría localizada hacia el interior, de modo que la masa más cálida de origen marítimo, impulsada por los vientos de componente este existente tendería a elevarse al alcanzar la zona frontera del interior. Si además de estos factores de forzamiento, tenemos en cuenta la existencia de sierras localizadas en la zona interior y prelitoral, hacia el suroeste de la provincia de Valencia, cuya orientación es ortogonal al flujo presente en los niveles bajos (figura 8, derecha) vemos que había varios factores de forzamiento favorables al disparo de la convección.

5. Análisis del radar

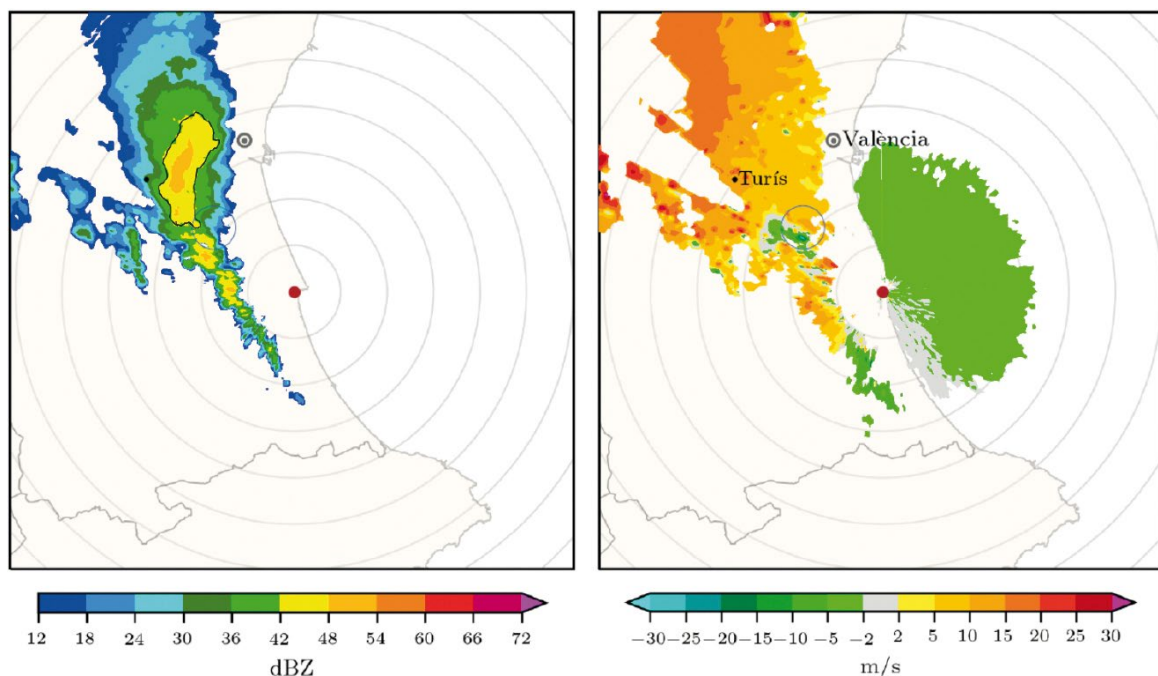
Con el fin de profundizar un poco más en la estructura convectiva que se formó durante la tarde en el interior de la provincia de Valencia, se describen en este apartado algunas de sus características más destacadas desde el punto de vista radar.

El radar meteorológico es una de las herramientas principales para el seguimiento de situaciones adversas relacionadas con la precipitación. Es capaz de ver las zonas en las que se está produciendo precipitación y seguir su evolución. El sistema está continuamente midiendo a lo largo de todo el volumen polar (cono 3-D) que hay alrededor del equipo radar, mediante el escaneo a diferentes ángulos azimutales y cenitales, completando un ciclo de escaneo cada 10 minutos. Presenta a su vez varios modos de medición, rango corto (alcance de 120 kilómetros de distancia radial desde equipo radar) y rango largo (alcance de 240 kilómetros). En el rango corto es capaz de medir la velocidad de los

ecos de precipitación en dirección al radar, infiriendo también si estos se alejan o acercan hacia la ubicación en la que éste se localiza.

Las imágenes radar presentan, sin embargo, una serie de limitaciones: elevación del haz con la distancia, apantallamiento por obstáculos, falsos ecos, etcétera, siendo necesario un conocimiento experto para su interpretación. A modo de ejemplo, en la figura 9 se muestra la imagen de reflectividad (izquierda) y velocidad radial (derecha) de las 14:56 UTC del día 29 de octubre observada con el radar de AEMET situado en la provincia de Valencia. Ambas imágenes, obtenidas a partir de la observación con elevación 1.4° respecto al plano horizontal del radar, están representadas en proyección polar, situándose en el centro de la imagen la posición del radar. En ellas se representan también una serie de círculos concéntricos con diferencias de radio entre dos círculos consecutivos de 20 km. Además, con el fin de localizar mejor la posición de los ecos de precipitación y de las velocidades radiales se representan los puntos relativos a la posición de la ciudad de Valencia y de la población de Turís (figura 9, derecha).

Figura 9. Imágenes radar de las 14:56 UTC. Campos de reflectividad (izquierda) y velocidad radial (derecha)



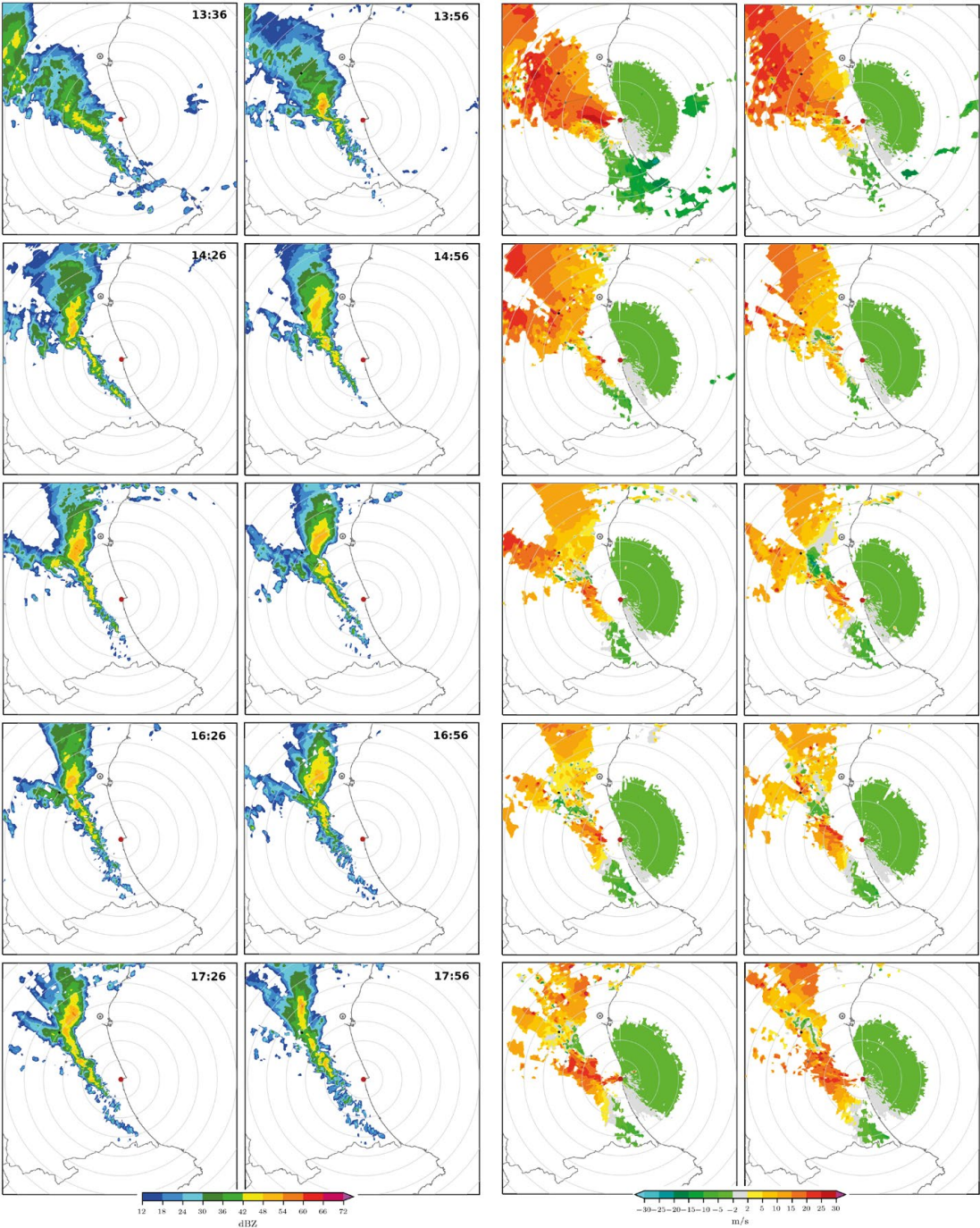
En ambas imágenes se muestra las posiciones de la ciudad de Valencia y la localidad de Turís, así como un círculo que señala la posición del mesociclón. En el centro de ambas imágenes se muestra también la posición de radar meteorológico. Fuente: AEMET.

Sobre la imagen de reflectividad puede verse una estructura de precipitación muy peculiar hacia el noroeste del radar. Para facilitar su visualización, se ha contorneado sobre la imagen de reflectividad la isolínea que define el intervalo de 42-48 dBz, observándose que el área encerrada presenta una forma de “habichuela”. Esta estructura se extiende en la dirección sursuroeste -nornoreste y se “retuerce” hacia el sureste en su extremo sur, a modo de “gancho”. En la parte de la “habichuela” se observa una región central de tonalidad naranja (figura 9, izquierda) que marca la zona de mayor intensidad de las precipitaciones, disminuyendo la reflectividad de forma gradual hacia los lados y hacia el norte. Dicha morfología, se asemeja en gran medida a la forma clásica descrita en Markowski y Richardson (2011) de una supercélula.

Como se ha mencionado anteriormente, una supercélula es una estructura muy organizada que se define principalmente por la existencia de un mesociclón profundo en su seno, que se localiza en la zona de la corriente vertical ascendente. El viento radial es un producto que puede resultar muy útil para detectar la presencia de este mesociclón, aunque no siempre es posible su observación debido a las limitaciones que presenta el propio sistema radar, así como por la posición relativa del radar respecto a la supercélula. En las imágenes del viento radial se representa en colores cálidos/fríos la velocidad de los ecos de precipitación que se alejan/acercan en dirección al radar. En el caso de la imagen derecha de la figura 9, si nos fijamos en la región donde se retuerce la “habichuela” hacia el sureste, se observa la existencia de un dipolo en el campo de la velocidad (rodeado por un círculo en ambas imágenes), siendo la línea que une ambos dipolos, perpendicular a la línea de dirección al radar. Este dipolo es compatible con la existencia de un mesociclón, con velocidades acercándose al radar en su parte sur, y alejándose en su parte norte, dando una idea de existencia de rotación ciclónica. Puede verse, además, como la posición del mesociclón se localiza en una zona de menor reflectividad (figura 9, izquierda), que obedece también al esquema clásico de la posición del mesociclón en la estructura supercelular, al coincidir con la región donde se localiza la corriente ascendente que en las supercélulas está desacoplada de la región de mayor precipitación.

Una característica más de las supercélulas es su duración, Estas, al ser sistemas muy organizados, pueden tener un tiempo de vida media de entre 1 y 4 horas (Markowski y Richardson, 2011). En la figura 10 se han representado las imágenes de reflectividad y viento radial en intervalos de media hora entre las 13:30 y las 18:00 UTC. Si atendemos al campo de reflectividad, puede observarse cómo la estructura de reflectividad se mantuvo muy similar durante 4 horas, observándose debilitamientos e intensificaciones. Por otro lado, las imágenes del viento radial, mucho más ruidosas, evidencian la existencia del mesociclón durante las primeras dos horas, siendo complejo determinar su posición en las siguientes horas.

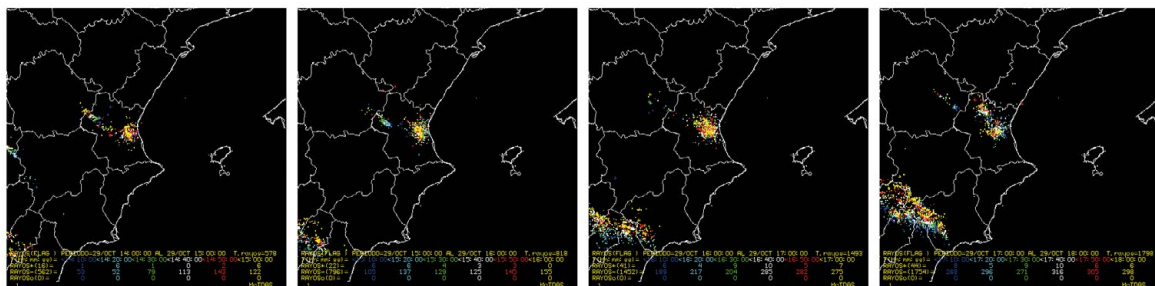
Figura 10. Imágenes radar de reflectividad y velocidad radial entre las 13:36 y las 17:56 UTC del 29 de octubre de 2024



Fuente: AEMET.

Otra característica observada en los sistemas supercelulares es el gran número de descargas eléctricas que las acompañan. Para analizar este hecho, en la figura 11 aparecen representadas las descargas registradas (nube-tierra) entre las 14:00 y las 18:00 UTC. En todas las imágenes de la figura se observa una intensa actividad durante el período de vida de la supercélula.

Figura 11. Descargas eléctricas nube-tierra detectadas en una hora



De izquierda a derecha se muestran las descargas entre las 14 y 15, entre las 15 y 16, entre las 16 y 17 y entre las 17 y 18 UTC, respectivamente. Fuente: AEMET.

6. Resumen y conclusiones

Durante la tarde del 29 de octubre de 2024 se produjeron precipitaciones torrenciales en la zona prelitoral e interior de la provincia de Valencia. La persistencia de estas precipitaciones provocó acumulados extraordinarios que ocasionaron la crecida de ríos y ramblas con desbordamientos en zonas bajas próximas al litoral, donde apenas se habían registrado precipitaciones importantes. Las consecuencias de estas inundaciones fueron realmente trágicas, con 229 personas fallecidas y un número ingente de pérdidas económicas por los impactos ocasionados en los bienes materiales de miles de personas y los daños en las infraestructuras.

En este trabajo se hace una descripción completa de la situación atmosférica a escala sinóptica desencadenante de las precipitaciones. Observándose como principales ingredientes la existencia de una DANA hacia el norte de África, un sistema mesoescalar depresionario sobre el mar de Alborán y altas presiones en el norte y centro de Europa que ayudaron a la canalización de un flujo del este, con gran recorrido marítimo, sobre la fachada mediterránea. También se ha llevado a cabo un resumen de las precipitaciones acumuladas, especialmente en la estación de Turís, donde se observaron precipitaciones torrenciales durante 4 horas entre las 14:30 y las 18:30 UTC.

Con el fin de determinar los ingredientes necesarios de carácter termodinámico, se ha hecho uso de un sondeo-análisis sobre Turís donde se observa un perfil vertical muy favorable a desarrollo de la convección profunda y or-

ganizada. Por otro lado, también se muestran algunos de los ingredientes que fueron clave aquel día para el disparo de la convección, destacando la presencia de fronteras de masa de aire, así como orográficas que debieron tener un papel importante en el inicio de la convección.

También se ha llevado a cabo un análisis de la estructura de reflectividad radar y del viento radial, usando para ello la información del radar meteorológico de AEMET localizado en la provincia de Valencia. Lo más destacado de este análisis es la existencia de una estructura supercelular definida por la existencia de un mesociclón, característica de este tipo de estructuras convectivas.

La consideración de todos estos factores, tanto meteorológicos como geográficos, puede ayudar a caracterizar mejor las situaciones similares que puedan repetirse en el futuro. No obstante, la compleja interacción entre estos factores solo puede abordarse desde un punto de vista de la modelización numérica del tiempo, que permita predecir de forma más acertada la localización e intensidad de las precipitaciones. La mejora de la predicción de dichas situaciones pasa necesariamente en superar las limitaciones de los modelos de predicción numérica actuales (Gascón *et al.*, 2025). Mejoras en la física de los modelos, en las redes de observación y en la asimilación de la observación en los modelos, así como en el desarrollo de nuevas técnicas de posproceso, son algunas de las líneas más urgentes para mejorar las predicciones. Además, La integración de esta información meteorológica en modelos hidrológicos, dentro de un contexto operacional, es otra línea de mejora que ayudaría a prever con más detalle las zonas de mayor impacto de las precipitaciones, que en ocasiones, como sucedió la tarde del 29 de octubre, se produjeron en localidades donde apenas llovió y fuera de la región donde las precipitaciones fueron excepcionalmente intensas y persistentes.

Agradecimientos

Las imágenes radar mostradas en este trabajo han sido proporcionadas por el grupo de análisis de la convección profunda de AEMET al cual los autores queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento. De forma muy especial, queremos agradecer también a nuestro compañero Julián Palacios por la revisión de este trabajo y sus sugerencias al respecto. Por último, agradecer también a todas aquellas redes de estaciones meteorológicas, tanto de aficionados (AVAMET, Inforatge, Siritel e IVIA) como oficiales (SAIH Júcar) distintas a las de AEMET, que nos han ayudado a hacernos una mejor composición de las precipitaciones históricas acumuladas en la provincia de Valencia que aparecen representadas en la figura 5 de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- AEMET (2024). *Estudio sobre la situación de lluvias intensas, localmente torrenciales y persistentes, en la Península Ibérica y Baleares entre los días 28 de octubre y 4 de noviembre de 2024*. <https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_lineal/publicaciones_y_estudios/estudios/estudio_28_oct_4_nov_2024.pdf> (Consulta: 19 de septiembre de 2025)
- BLUESTEIN, H. B. (2013). *Severe convective storms and tornadoes. Observations and dynamics*. Luxemburgo: Springer.
- CÁMARA DE VALENCIA (2024). *Datos económicos de las empresas industriales, construcción y servicios de los 68 municipios más afectados por la DANA*. (informe núm. 12)
- DOSWELL, C. A.; D. W. BURGESS (1993). "Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual models". *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, núm. 79. DOI: <https://doi.org/10.1029/GM079p0161>
- GASCÓN, E.; L. MAGNUSON; T. HEWSON; J. REY; J. RODRÍGUEZ (2025): *Extreme Precipitation in Spain's Valencia region*. ECMWF Newsletter núm. 183. <<https://www.ecmwf.int/en/newsletter/183/news/extreme-precipitation-spains-valencia-region>> (consulta: 19 de septiembre de 2025)
- GIMENO, L.; R. M. TRIGO; P. RIBERA; J. A. GARCÍA (2007). "Special issue on cut-off low systems (COL)". *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 96, núm. 1-2.
- MARKOWSKI, P.; Y. RICHARDSON (2011). *Mesoscale meteorology in midlatitudes*. Nova York: John Wiley & Sons.
- NIETO, R.; M. SPRENGER; H. WERNLI; R. M. TRIGO; L. GIMENO (2008). "Identification and climatology of cut-off lows near the tropopause". *Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 1146, núm. 1, p. 256-290. DOI: <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1196/annals.1446.016>
- PASCUAL, R. (2006). *Somera revisión del trabajo del inicio de la convección: algunos trabajos realizados en el INM. Calendario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología.
- QUIRANTES, J. A.; F. J. BELLO; M. CÍVICA; J. PALACIOS (2023). *Caracterización del ambiente convectivo en la formación de supercélulas en España en el periodo 2017-2021* (informe de la AEMET). <https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_lineal/publicaciones_y_estudios/publicaciones/NT_38_AEMET/NT_38_AEMET.pdf> (consulta: 19 de septiembre de 2025)
- REX, D. F. (1950). "Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate". *Tellus*, vol. 2, núm. 4, p. 275-301. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1950.tb00331.x>