

Análisis de episodios de viento fuerte de origen convectivo

MEDIANTE LA ELABORACIÓN DE TRABAJOS DE CAMPO

ORIOLO RODRÍGUEZ¹, SALVADOR CASTÁN², JOAN BECH¹, JUAN DE DIOS SORIANO³, DELIA GUTIÉRREZ³

¹UNIVERSITAT DE BARCELONA, BARCELONA/ ²AGENCIA PERICIAL, CORNELLÀ DE LLOBREGAT/ ³AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA, SEVILLA
orodriguez@meteo.ub.edu

1. Introducción

El conjunto de la península ibérica y las islas Baleares cada año se ve afectado por tornados. Aunque pueden ocurrir en cualquier lugar, hay tres zonas donde se observan con una mayor frecuencia: Baleares, la costa central catalana y el entorno del golfo de Cádiz (Riesco et al., 2013; Gayà, 2018; Rodríguez y Bech, 2021).

La gran mayoría de los tornados registrados en toda la Tierra, también en España, son débiles (de intensidad EF0 o EF1 según la escala de Fujita mejorada, EF; Doswell et al., 2009). Aun así, pueden causar daños importantes, pérdidas económicas significativas e incluso daños personales. Ocasionalmente pueden ser de intensidad EF2 o superior y pueden formarse varios tornados asociados a un mismo sistema mesoescalar, como ocurrió en los casos de septiembre de 2005 en Barcelona (Bech et al., 2007), de octubre de 2007 en Palma (Ramis et al., 2009) o de marzo de 2018 en Andalucía (Figura 1a; Soriano y Gutiérrez, 2018).

De todos modos, los tornados no son el único fenómeno meteorológico relacionado con vientos fuertes de origen convectivo capaz de provocar destrozos. Los reventones (*downburst* en inglés) y los frentes de racha (*gust front*) también pueden generar vientos ampliamente superiores a los 25 m s⁻¹, con las consecuencias que ello conlleva.

Frecuentemente estos episodios ocurren de noche, o en entornos con poca visibilidad debido a las precipitaciones que los acompañan, o en zonas poco pobladas. Estas condiciones dificultan la observación directa del fenómeno meteorológico y, por lo tanto, el conocimiento de qué tipo de evento ha tenido lugar. Por ello, la elaboración de trabajos de campo y el posterior análisis de los datos recopilados pueden ayudar a esclarecerlo, ya que la morfología del área afectada y el patrón que presentan los daños tienen distintas características en función del fenómeno meteorológico (Bech et al., 2009). Además, también es posible estimar la velocidad del viento mediante el uso de escalas como la EF. Los resultados derivados de los trabajos de campo tienen un interés científico evidente, como es poder construir bases de datos robustas y homogéneas que discriminen el tipo de fenómeno convectivo (Rodríguez et al., 2021). Asimismo, también son cruciales, por ejemplo, para las administraciones, las aseguradoras y el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS).

La necesidad de poder analizar *in situ* tantos episodios como fuera posible de una manera sistemática llevó a los autores del presente artículo a proponer una metodología (Rodríguez et al., 2020). Está basada en publicaciones previas como Bunting y Smith (1993) y Gayà (2018), y en la experiencia ad-

quirida al llevar a cabo 136 trabajos de campo entre los años 2004 y 2018, principalmente en Andalucía y Cataluña.

El objetivo de este trabajo es mostrar la utilidad de la metodología analizando tres casos de estudio. La estructura del presente artículo se detalla a continuación. En la sección 2 se describe el procedimiento usado para recopilar la información. En la sección 3 se presentan los tres episodios analizados, que corresponden al tornado de Sant Llorenç d'Hortons (Barcelona) del 21 de marzo de 2016, al reventón de Badalona (Barcelona) del 13 de septiembre de 2016 y al tornado de Llinars del Vallès (Barcelona) del 13 de octubre de 2016. Finalmente, en la sección 4 se desarrollan las conclusiones.

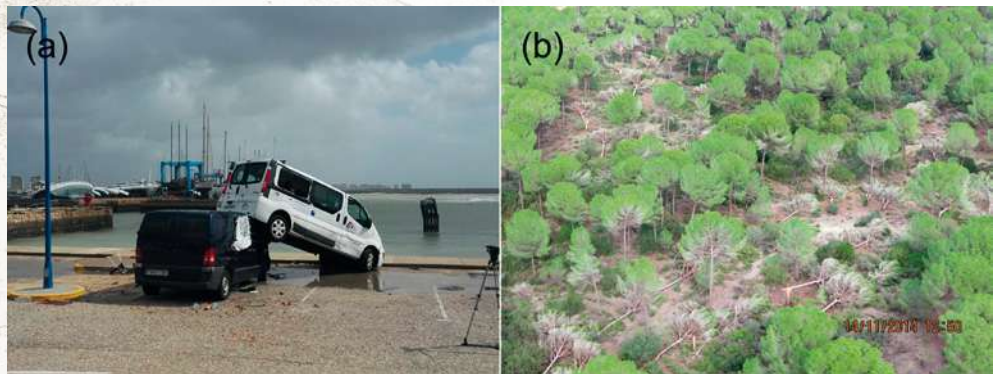


Figura 1. (a) Vehículos afectados por el paso de un tornado de intensidad EF2 el 4 de marzo de 2018 en el Puerto de Santa María (Cádiz) (autor: Juan de Dios Soriano). (b) Imagen tomada desde un helicóptero donde se observan pinos tumbados, y algunos tronchados, por un tornado de intensidad EF2 el 11 de noviembre de 2014 en Aznalcázar (Sevilla) (autor: Tomás Álvarez).

2. Metodología

La metodología propuesta en Rodríguez et al. (2020) tiene por objetivo representar de la forma más fidedigna posible el escenario de los daños producidos por un episodio de viento fuerte de origen convectivo. De este modo, los datos recopilados pueden facilitar la tarea de conocer qué tipo de fenómeno meteorológico tuvo lugar (tornado, reventón o frente de racha), además de poder caracterizar la traza de daños (longitud y anchura) y estimar la intensidad del episodio.

Se trata de un procedimiento fácilmente reproducible y que optimiza el tiempo y los recursos dedicados al estudio *in situ* de los casos. Así, es factible poder realizar trabajos de campo de una manera sistemática y analizar la mayoría de los episodios que ocurren cada año en el conjunto del territorio.

Es preferible que el equipo que desempeñe el trabajo de campo esté compuesto por dos o más miembros y, además, es deseable que sea multidisciplinar. La presencia de personas expertas en meteorología, ingeniería forestal, arquitectura o evaluación de daños por viento, puede favorecer un análisis detallado de la intensidad del viento.

La metodología se divide en tres partes: las tareas previas al trabajo de campo, el estudio *in situ* y la preparación posterior de los datos recopilados para poder llevar a cabo su análisis. A continuación se describe el procedimiento.

2.1. Tareas previas al trabajo de campo

El proceso empieza con la detección de un episodio de viento fuerte de origen convectivo. Las fuentes principales de los reportes suelen ser los medios de comunicación, las redes sociales y las plataformas de ciencia ciudadana como SINOBAS (Figura 2; Gutiérrez et al., 2015). A continuación, es necesario hacer una búsqueda de información relativa a posibles daños causados por el evento a través de internet y contactando con las autoridades locales y servicios de emergencia de la zona.

En caso que haya daños conocidos, hay que averiguar la localización y la tipología para proceder a su análisis en el lugar. Por otro lado, si se dispone de imágenes del fenómeno meteorológico es recomendable estimar la posición (latitud, longitud y dirección) desde donde se tomaron las fotografías. Esta tarea es especialmente necesaria para aquellos casos en los que se observa una tuba desarrollada sin reporte alguno de daños (i.e. sin reflejo aparente del vórtice en superficie), ya que de este modo es posible poder delimitar la zona que podría haber sido afectada de haber tocado tierra (véase la sección 3.1).

Finalmente, hay que llevar a cabo un análisis con datos meteorológicos (estaciones automáticas, satélite, radar) para estimar la hora y duración del episodio y la dirección de traslación de la célula convectiva. También es deseable conocer la climatología de viento de la zona, ya que puede influir en la resistencia al viento de ciertas direcciones de construcciones y árboles, e investigar si ha habido recientemente algún episodio que haya podido provocar daños (por ejemplo, viento sinóptico fuerte, ne-

cia hay que visitar las áreas urbanas, seguidas de las líneas eléctricas o de telecomunicaciones y de los polígonos industriales afectados. A continuación el análisis se debe centrar en los parques urbanos y, por último, en las zonas rurales y forestales. Es especialmente en estas últimas zonas donde se suele obtener la información más relevante para poder caracterizar el evento estudiado.

El objetivo principal de la visita al área afectada es geolocalizar (latitud y longitud) aquellos elementos que han sido dañados por el episodio, sean de construcción humana (edificios, farolas, señales de tráfico, etc.) o de vegetación, y recoger información relevante para el posterior análisis. Por este motivo, es recomendable medir la dirección de caída de los árboles tumbados o arrancados, el perímetro del tronco de los árboles tronchados, así como la distancia y dirección de arrastre de algunos restos e incluso su peso.

También es conveniente estimar la intensidad del viento que ha causado los distintos daños mediante, por ejemplo, la escala de Fujita mejorada (EF; Doswell et al., 2009). Cabe destacar que esta escala fue desarrollada en los Estados Unidos para evaluar daños en edificaciones típicas del país, de modo que presenta limitaciones al aplicarla en Europa. Al realizar esta tarea hay que estudiar y documentar el estado de instalación y conservación de los elementos afectados, y hacer constar la existencia de debilidades previas que puedan aumentar la vulnerabilidad tanto de los árboles como de las construcciones.

Durante la elaboración del trabajo de campo es altamente recomendable hablar con personas que hayan visto o vivido el episodio estudiado. Su experiencia suele ser de utilidad para complementar el análisis *in situ*, a la vez que pueden informar de otras zonas afectadas o de episodios parecidos recientes. Por otro lado, es conveniente localizar estaciones meteorológicas automáticas de observadores o de entes públicos, aunque no formen parte de

la red oficial, además de las cámaras de seguridad que pueda haber en el exterior de las edificaciones. Los datos e imágenes registrados, respectivamente, pueden ser de ayuda para averiguar el fenómeno meteorológico ocurrido, o bien para ajustar la estimación de la intensidad del viento (Figura 3).

Ocasionalmente puede haber la posibilidad de disponer de imágenes aéreas del área afectada, las cuales son de gran utilidad para complementar el análisis de episodios que hayan afectado una zona muy extensa o de orografía compleja (Figura 1b). En cualquier caso, el análisis en superficie es siempre necesario para documentar con detalle las debilidades previas en estructuras, los daños leves que son difícilmente ob-



Figura 2. (a) Reporte en SINOBAS del tornado registrado en Palos de la Frontera (Cádiz) el 1 de diciembre de 2016, (b) tuit del medio de comunicación COPE Huelva con fotografías de los daños y (c) tuit del usuario @BayoRafael con fotografías del tornado y de sus consecuencias.

vadas abundantes) en la zona que pueda provocar la superposición de afectaciones.

2.2. Análisis de los daños *in situ*

A la hora de realizar el trabajo de campo se tiene que dar prioridad a las zonas urbanizadas y dónde hay una mayor actividad socioeconómica para poder documentar los daños antes que las brigadas municipales alteren el escenario. Así, en primera instan-

servables desde el aire, o la experiencia de los testigos del fenómeno meteorológico.

2.3. Tareas posteriores al trabajo de campo

Al acabar el trabajo de campo hay que ordenar los datos obtenidos para sintetizar toda la información y facilitar el análisis de los resultados. Se propone presentarlos mediante tres entregables. El primero es un informe en el cual se resume la información

Análisis de episodios de viento fuerte de origen convectivo mediante la elaboración de trabajos de campo

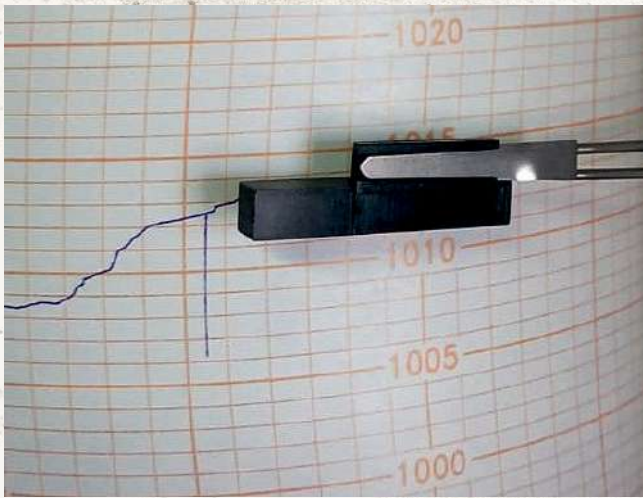


Figura 3. Evolución de la presión atmosférica registrada por el barógrafo de la estación meteorológica de AEMET situada en el Club Náutico de Cádiz tras el paso de una tromba marina el 15 de abril de 2020 (autor: Alfonso Díez). Se observa un abrupto descenso de 6 hPa, mostrando el típico patrón asociado al paso de un tornado. La estación midió una racha máxima de viento de 38.6 m s^{-1} .

con respecto al trabajo de campo y al evento estudiado. El segundo consiste en una tabla que contiene la geolocalización y la descripción de los elementos dañados y de otros datos relevantes. Finalmente, el tercero es un mapa o archivo KML (*Keyhole Markup Language*) que contiene toda la información presente en la tabla, preparada para su visualización gráfica y el posterior estudio. Es deseable superponer en el archivo KML las imágenes aéreas disponibles de los daños, que pueden proceder de vuelos de helicóptero, de avioneta o de dron, así como de satélite.

Pueden consultarse, como ejemplo, los entregables correspondientes al tornado del 15 de octubre de 2018 registrado en Malgrat de Mar (Barcelona) en este enlace:

<https://doi.org/10.5194/nhess-20-1513-2020-supplement>

Precisamente, a partir de los entregables se puede analizar el patrón de daños y la morfología del área afectada, que presenta diferencias en función del tipo de episodio (Fujita, 1981; Bech et al., 2009; Beck y Dotzek, 2010), y así conocer qué fenómeno meteorológico tuvo lugar. Normalmente, los tornados producen una traza de daños estrecha y alargada, y los árboles tumbados suelen mostrar una convergencia hacia el centro de la franja de afectación o bien un patrón claro de rotación. Por su parte, los reventones acostumbra a afectar una zona con una anchura considerable, en comparación con su longitud, y los daños presentan un patrón divergente. Los frentes de racha pueden afectar zonas muy amplias, pero con un patrón de daños básicamente lineal. Finalmente, también es posible caracterizar la traza de daños midiendo la anchura y la longitud de la zona afectada y estimar la intensidad del episodio mediante el uso de escalas como la EF.

3. Casos de estudio

3.1. Caso 1. Tornado en Sant Llorenç d'Hortons, Barcelona (21 de marzo de 2016)

El día 21 de marzo de 2016 por la tarde hubo algunos chubascos dispersos en el interior de Cataluña, localmente de carácter tormentoso. A las 15:45 UTC en una zona rural situada 30 km al

oeste de Barcelona se observó la formación de una tuba que se descolgaba de la base de uno de estos núcleos convectivos. Era una nube-embudo prominente por lo que respecta a la anchura de su parte superior, si bien su desarrollo vertical no alcanzó el 50 % de la distancia entre la base del cúmulo y la superficie terrestre. Debido a las buenas condiciones de visibilidad varias personas pudieron observar el fenómeno y algunas de las fotografías que se tomaron se publicaron en las redes sociales (Figura 4b, c, d).

Aunque en un primer momento no se reportaron daños, se procedió a llevar a cabo un trabajo de campo para saber si el vórtice asociado a la tuba había alcanzado la superficie terrestre. Las tareas previas a la visita se centraron en localizar desde qué puntos se tomaron las distintas imágenes de la nube-embudo y hacia qué dirección. De este modo fue posible estimar un área relativamente pequeña en la que centrar la búsqueda de posibles afectaciones (Figura 4).

Posteriormente se realizó una inspección de la zona acotada. Varios testigos de la tuba ayudaron a delimitar de una manera más ajustada el área dónde podría haber habido daños. Asimismo, una de las personas entrevistadas mencionó que tenía conocimiento de algunas afectaciones en una finca del sur del municipio de Sant Llorenç d'Hortons.

En la zona referida se observó que el tejado de un cobertizo de estructura simple estaba dañado. Concretamente, 15 m^2 de placas de fibrocemento habían sido arrancadas, si bien la sujeción de éstas a las vigas era débil. También había algunas ramas de árbol de un diámetro inferior a 2 cm rotas. Los propietarios de la finca, que fueron testigos directos del episodio, confirmaron que los daños fueron producidos por el paso de un remolino que se desplazó de oeste-noroeste hacia el este-sureste durante el chubasco de la tarde anterior. Además, comentaron que el fuerte viento, que tuvo una duración de pocos segundos, desplazó una distancia de 30 m dos tubos de plástico de 20 cm de diámetro y 2 m de largo que había en el suelo cerca de uno de los edificios de la finca.

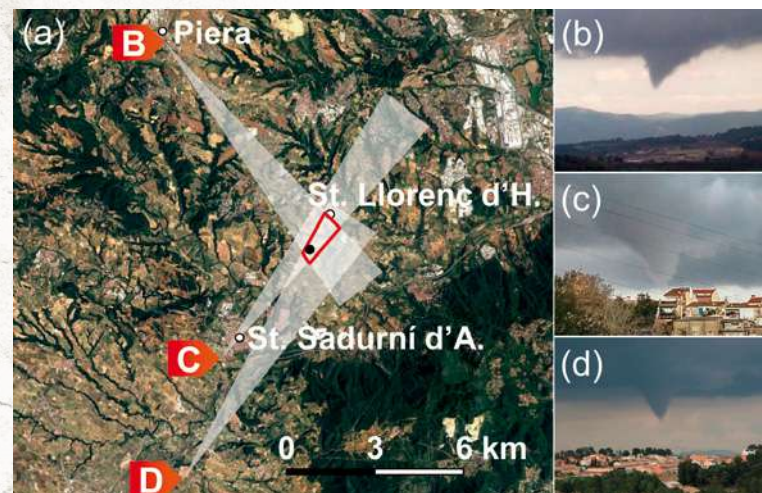


Figura 4. (a) Mapa de las localizaciones desde donde se tomaron las fotografías (b) autor desconocido (Piera), (c) @illa_98 (Sant Sadurní d'Anoia) y (d) Carles Roca (Avinyonet del Penedès). Las zonas sombreadas de color blanco muestran la dirección con que se tomaron las imágenes, con un margen de error de $\pm 5^\circ$, mientras que el área delimitada con un contorno rojo indica la zona posiblemente afectada. La localización de la finca con daños se indica con un punto negro.

En este caso, el trabajo de campo permitió tener conocimiento de daños leves causados por un tornado débil. El fenómeno se calificó de intensidad EF0, y el área de afectación tuvo una longitud de 0,3 km y una anchura máxima de 20 m.

3.2. Caso 2. Reventón en Badalona, Barcelona (13 de septiembre de 2016)

El segundo episodio analizado ocurrió el 13 de septiembre de 2016 por la noche y afectó la ciudad de Badalona, de 220.000 habitantes, situada 10 km al nordeste de Barcelona. Según los testigos, cuando la precipitación asociada a la tormenta que se acercaba por el oeste empezó a intensificarse, se produjeron fuertes rachas de viento que duraron alrededor de dos o tres minutos. Fue un fenómeno local, ya que sólo las estaciones meteorológicas ubicadas en la parte sureste de la ciudad registraron valores superiores a los 20 m s^{-1} (Tabla 1).

Estación	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Racha máx. (m s^{-1})	Hora (UTC)
Badalona - Museu	41.4522	2.2476	33.9	23:41
Badalona - Centre	41.4460	2.2473	25.9	23:41
Badalona - Progrés	41.4450	2.2433	20.6	23:41

Tabla 1. Latitud, longitud, racha máxima de viento y hora del registro de las estaciones meteorológicas situadas al sector sureste de Badalona. Datos del Servei Meteorològic de Catalunya (Badalona - Museu) y de Meteoclimatic (Badalona - Centre y Badalona - Progrés).

Al tratarse de un episodio nocturno y con mala visibilidad debido a las intensas precipitaciones que se produjeron, no hubo ningún testigo que pudiera observar con claridad el fenómeno meteorológico acontecido. Aun así, algunos medios de comunicación informaron de la ocurrencia de un tornado en Badalona (Figura 5).

El trabajo de campo se empezó al cabo de pocas horas para evitar que los servicios de emergencia y de limpieza de la ciudad alteraran el escenario. Se procedió a geolocalizar los daños observados en las edificaciones y en el arbolado, midiendo con especial interés la dirección de caída de los árboles para poder determinar el campo de viento asociado al episodio. Además, se visitó la periferia de la zona afectada para delimitarla de la manera más precisa posible.

Uno de los sectores con más daños fue un parque urbano de 8.5 hectáreas. Allí se localizaron numerosos árboles con ramas rotas, e incluso algún ejemplar tronchado. Sin embargo, se detectaron varios árboles que padecían patologías debilitantes, por lo que la magnitud de las afectaciones era mayor que la que correspondería al viento registrado.

En el resto de Badalona, en general, los daños observados fueron, en general, leves. Se tuvo conocimiento de toldos y persianas rotos, algún desprendimiento de fachada y afectaciones en antenas de televisión, además de varios árboles tumbados.

En la Figura 6, donde se muestra la localización de los elementos con daños y la dirección de caída de los árboles documentados durante el trabajo de campo, se puede observar que el área

afectada era extensa. Medía alrededor de 1.5 km de anchura y al menos 1 km de longitud en el sentido de desplazamiento del núcleo convectivo (oeste-este). Por otro lado, se puede comprobar que, mientras en el sector sur los árboles estaban tumbados hacia el sur y sureste, en el norte de la zona lo estaban hacia el este.



Figura 5. Noticia de la agencia EFE publicada en "La Vanguardia" sobre el episodio ocurrido en Badalona el 13 de septiembre de 2016, en la que se apunta a un tornado como causa de los destrozos.



Figura 6. Mapa resultante del trabajo de campo del reventón de Badalona del 13 de septiembre de 2016. Los iconos en el mapa indican la localización de las estaciones meteorológicas (veleta naranja), de los testigos entrevistados (icono "i"), de las notas con información complementaria (icono de bloc de notas), de los daños en construcciones (icono de casa) y en elementos de vegetación (icono circular), así como los árboles tumbados (icono de puntero, cuya dirección indica la dirección de caída). Ortofotografía del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. El color de los iconos referentes a los daños muestran la intensidad del viento estimada en función de la escala EF: EF0 (amarillo), EF1 (naranja) y sin identificar (blanco).

Análisis de episodios de viento fuerte de origen convectivo mediante la elaboración de trabajos de campo

Las dimensiones del área de afectación y este patrón divergente son característicos de casos de reventones.

Así, se concluyó que el 13 de septiembre de 2016 hubo un reventón en la ciudad de Badalona, y no un tornado como se apuntó en un primer momento por parte de algunos medios de comunicación. Atendiendo a los daños observados y a los registros de viento de las estaciones meteorológicas de la zona, se estima que fue de intensidad EF0.

3.3. Caso 3. Tornado en Llinars del Vallès, Barcelona (13 de octubre de 2016)

El día 13 de octubre de 2016, en un contexto depresionario marcado por traslación de una baja en superficie por la península ibérica, se produjeron tormentas en muchos puntos del territorio. Las más intensas se concentraron en el extremo nordeste.

A las 15:30 UTC, de acuerdo con los testigos del episodio, los metadatos de las fotografías y los datos de radar (no mostrados), se formó un tornado en el término municipal de Llinars del Vallès (35 km al nordeste de Barcelona). Los medios de comunicación que recogieron la noticia citaron que el tornado había producido daños en un polígono industrial. Además, incluyeron imágenes de un árbol que había caído sobre la parte delantera de un vehículo que estaba circulando por la carretera C-251. A pesar de la espectacularidad de la incidencia, no hubo heridos (Figura 7a).

Debido a la hora en la que ocurrió, a las condiciones de visibilidad y al tratarse de una zona poblada y con importantes vías de comunicación, rápidamente aparecieron imágenes del episodio en las redes sociales. En ellas se podía ver la presencia de varios vórtices de succión asociados al mismo tornado (Figura 7b; Bluestein et al., 2018). De hecho, algunos observadores directos del fenómeno apuntaron que pudo haber entre tres y cinco vórtices distintos durante la fase de formación del tornado.

Al día siguiente se empezó el trabajo de campo. Se priorizó la zona dónde había daños conocidos, entorno al polígono industrial de Collsabadell. Allí se observó que parte de la cubierta de fibrocemento de una nave había sido arrancada, así como la rotura de ventanas y daños en las puertas metálicas de acceso. Se encontraron algunos palés de madera provenientes de la nave, de unos 20 kg de peso, a una distancia de 75 a 100 m de su origen. Curiosamente, a 50 m de estas afectaciones había una carpa que estaba intacta.

Atendiendo al movimiento de la célula convectiva, que según las imágenes de radar se desplazó de SSW a NNE, se prosiguió a visitar la zona rural que se encuentra camino de Sant Esteve de Palautordera. En este sector hubo varias fincas afectadas, principalmente por daños en cubiertas. También se observaron pinos tronchados, cuyo tronco medía entre 60 y 100 cm de perímetro (Figura 7c), además de robles y encinas tumbados o con daños en las ramas. El propietario de una de las fincas explicó que años atrás otro tornado provocó destrozos similares (proba-

blemente se trate del que hubo el 6 de septiembre de 1999 cerca de esta zona; Gayà, 2018).

Tras delimitar el área afectada por el norte, el equipo del trabajo de campo se desplazó al sur del polígono industrial, ya que según varias fotografías y vídeos el tornado tocó tierra en esa zona. Se localizaron algunos daños leves en el tejado de un edificio y en las ramas de algunos árboles. Así, se pudo acotar la franja de daños.



Figura 7. (a) Árbol tumbado sobre un vehículo en la carretera C-251 a su paso por Llinars del Vallès (autor: Juan Moreno). (b) Fotograma de un vídeo del tornado dónde se observa la presencia de dos vórtices de succión (autor: Ros Simón). (c) Medición del perímetro del tronco de un pino tronchado (autor: Salvador Castán).

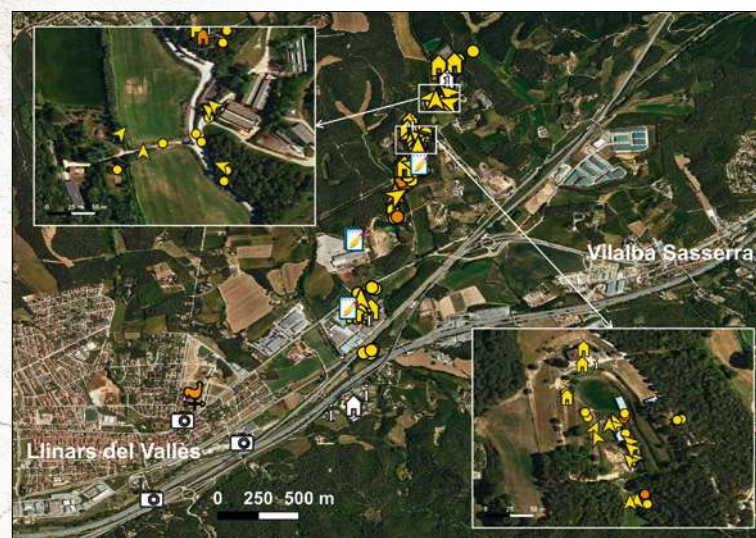


Figura 8. Como en la Figura 6, pero para el trabajo de campo del tornado de Llinars del Vallès del 13 de octubre de 2016. Los iconos de cámara fotográfica indican la posición desde dónde se tomaron imágenes del episodio. Asimismo, se muestran dos paneles en la figura que corresponden a la ampliación de dos áreas de la zona afectada, indicadas en el mapa con rectángulos blancos.

Aunque en este caso no había duda de qué fenómeno meteorológico tuvo lugar, es interesante analizar el patrón de daños para compararlo con el observado en el caso del reventón de Badalona. Puede verse en la **Figura 8** como la dirección de caída de los árboles presenta un patrón convergente hacia un eje central. Precisamente, en las dos zonas ampliadas de la misma figura se observa que los árboles situados a la izquierda del centro de la traza de daños estaban tumbados hacia el norte o noreste, mientras que los de la derecha lo estaban hacia el noroeste. Es un patrón clásico asociado al paso de un tornado (Bech et al., 2009; Beck y Dotzek, 2010), a diferencia de la divergencia mostrada en la **Figura 6** fruto de un reventón.

A raíz del estudio *in situ* de los daños producidos por este episodio se concluyó que el tornado de Llinars del Vallès fue de intensidad EF1, según la escala de Fujita mejorada. La franja de afectación tuvo una longitud de 3.1 km, y una anchura máxima de 145 m.

4. Conclusiones

En este artículo se ha mostrado la utilidad de la metodología propuesta en Rodríguez et al. (2020) para llevar a cabo trabajos de campo para estudiar episodios de viento fuerte de origen convectivo. Para ello se han analizado tres casos que presentaban distintas características a partir de los datos obtenidos en las visitas *in situ* a las zonas afectadas.

El primer episodio estudiado es el de una tuba cuyo vórtice aparentemente no estaba en contacto con la superficie terrestre, observada el 21 de marzo de 2016 en Sant Llorenç d'Hortons (Barcelona). La identificación de la zona posiblemente afectada mediante la geolocalización de las fotos publicadas en las redes sociales y la posterior visita de campo permitieron conocer que se habían producido daños. Por este motivo, se concluyó que hubo un tornado.

Seguidamente se analiza el episodio ocurrido en Badalona (Barcelona) el 13 de septiembre de 2016 por la noche. En un principio algunos medios de comunicación publicaron que un tornado había causado daños en esta ciudad. Ahora bien, el trabajo de campo mostró que las afectaciones fueron provocadas por un reventón, ya que la dirección de caída de los árboles presentaba un patrón divergente.

Finalmente, se discute el caso del tornado del 13 de octubre de 2016 registrado en Llinars del Vallès (Barcelona). La visita a la zona afectada permitió conocer las dimensiones de la franja de daños, además de estimar la intensidad máxima del episodio, como en los otros dos eventos analizados. Además, se pudo observar la existencia de un patrón convergente por lo que respecta a la dirección de caída de los árboles, siendo coherente con el paso de un tornado.

La elaboración de trabajos de campo es altamente recomendable para conocer el fenómeno meteorológico que hay detrás de unos daños. El uso de una metodología como la propuesta por los autores, que es fácilmente reproducible y optimiza el tiempo y los recursos dedicados, favorece poder analizar un gran número de casos de manera sistemática. Ello contribuye a construir bases de datos homogéneas y robustas de episodios de tiempo severo y, a la vez, a dar soporte a otros ámbitos que necesitan de esta información.

Referencias

- Bech, J., Pascual, R., Rigo, T., Pineda, N., López, J. M., Arús, J., y Gayà, M. 2007: An observational study of the 7 September 2005 Barcelona tornado outbreak. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 129–139, <https://doi.org/10.5194/nhess-7-129-2007>
- Bech, J., Gayà, M., Aran, M., Figuerola, F., Amaro, J., y Arús, J. 2009: Tornado damage analysis of a forest area using site survey observations, radar data and a simple analytical vortex model, *Atmospheric Research*, 93, 118–130, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.10.016>
- Beck, V., y Dotzek, N. 2010: Reconstruction of Near-Surface Tornado Wind Fields from Forest Damage. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1517–1537, <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2254.1>
- Bluestein, H. B., Thiem, K. J., Snyder, J. C., y Houser, J. B. 2018: The Multiple-Vortex Structure of the El Reno, Oklahoma, Tornado on 31 May 2013. *Monthly Weather Review*, 146(8), 2483–2502, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-18-0073.1>
- Bunting, W. F., y Smith, B. E. 1993: A guide for conducting damage surveys. NOAA Tech. Memo. NWS-SR-146, Scientific Services Division, Southern Region, Fort Worth, TX, USA, 44 pp.
- Doswell III, C. A., Brooks, H. E., y Dotzek, N. 2009: On the implementation of the enhanced Fujita scale in the USA. *Atmospheric Research*, 93, 554–563, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2008.11.003>
- Fujita, T.T. 1981: Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 38(8), 1511–1534, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1981\)038<1511:TADITC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1981)038<1511:TADITC>2.0.CO;2)
- Gayà, M. 2018: Els Fiblons a Espanya: Climatologia i catàleg de tornados i trombes (en catalán), 2ª edición, Edicions UIB, Palma, Spain, 619 pp.
- Gutiérrez, D., Riesco, J., y Ponce, S. 2015: SINOBAS, a tool for collaborative mapping applied to observation of “singular” weather phenomena. En: 15th EMS Annual Meeting & 12th European Conference on Applications of Meteorology (ECAM), Sofía, Bulgaria.
- Ramis, C., Romero, R., y Homar, V. 2009: The severe thunderstorm of 4 October 2007 in Mallorca: an observational study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9(4), 1237–1245, <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1237-2009>
- Riesco, J., Polvorinos, F., Núñez, J. A., Soriano, J. D., y Jiménez, C. 2015: Climatología de tornados en España Peninsular y Baleares, Agencia Estatal de Meteorología (AEMet), 83 pp., disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.11765/713> (último acceso: 27 de enero de 2021).
- Rodríguez, O., Bech, J., Soriano, J. D., Gutiérrez, D., y Castán, S. 2020: A methodology to conduct wind damage field surveys for high-impact weather events of convective origin. *Natural Hazards and Earth System Science*, 20(5), 1513–1531, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-1513-2020>
- Rodríguez, O., y Bech, J. 2021: Tornadoic environments in the Iberian Peninsula and the Balearic Islands based on ERA5 reanalysis. *International Journal of Climatology*, 41 (S1), E1959–E1979, <https://doi.org/10.1002/joc.6825>
- Rodríguez, O., Bech, J., Arús, J., Castán, S., Figuerola, F., y Rigo, T. 2021: An overview of tornado and waterspout events in Catalonia (2000–2019). *Atmospheric Research*, 250, 105415, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105415>
- Soriano, J. D., y Gutiérrez, D. 2019: Estudio múltiple de tornados del 4 de marzo de 2018 en Andalucía occidental. Sexto Simposio Nacional de Predicción - Memorial Antonio Mestre, 461–471. <https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.461>