

EL TORNADO DE CRUCES DEL 9 DE MAYO DE 1999: CARACTERÍSTICAS SINOPTICAS, MESOESCALARES Y DAÑOS CAUSADOS

Autores: ANTONIO DE JESÚS FERNÁNDEZ GARCÍA*
PASTOR ARTURO HURTADO RUIZ**

* Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos

** Sección de Defensa Civil del Estado Mayor Municipal de Cruces, Provincia Cienfuegos.

RESUMEN:

En el trabajo se realiza un análisis del tornado que arrasó el "Barrio de las Nubes", en la localidad de Cruces (Cienfuegos), el día 9 de mayo de 1999. Se estudian diferentes matices de la circulación atmosférica a diferentes escalas que influyeron en la génesis de la convección profunda en el entorno de esta localidad y de las condiciones específicas que dieron origen al tornado. Se discute en el análisis del patrón de circulación del macroproceso, el papel que jugó la onda corta profunda en los niveles medios de la atmósfera y la componente de helicidad relativa reflejada del análisis de la hodógrafa del viento en el entorno de la región central de Cuba. Además, se analiza el rol del patrón de circulación del viento confluyente en superficie, como consecuencia del calentamiento diurno, que fue elemento detonante para el desarrollo posterior de la convección profunda y génesis del tornado. Se presentan las principales características que tuvo el tornado a su paso, su trayectoria, tiempo de duración, imágenes del impacto del meteoro, la clasificación del tornado como F4 en la escala de Fujita y la evaluación de los daños causados por el fenómeno.

Introducción

Las tormentas locales severas pertenecen a la familia de fenómenos meteorológicos que más daños causan a la economía después de las tormentas tropicales, huracanes y de los organismos tropicales productores de lluvias intensas. En la década de los años 80, el notable meteorólogo cubano Arnaldo Alfonso Fernández (doctor en ciencias geográficas), realizó aportes importantes al estudio de estos fenómenos, culminando parte de su obra con el libro: "Climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba", Alfonso (1994). La clasificación de estos fenómenos locales, sus características en las diferentes épocas del año y el comportamiento de estos sistemas en las principales regiones geográficas, fueron algunos de los aspectos abordados por su obra.

Los tornados, las arovalanchas y las granizadas son algunos de los fenómenos meteorológicos que pertenecen a la familia de los fenómenos severos. En el caso de los tornados, se han realizado estudios que han enriquecido el conocimiento sobre la génesis, estructura y dinámica de estos fenómenos Doswell y Burges (1993). Los tornados y las arovalanchas forman parte integral de procesos atmosféricos que se reflejan en otras escalas espaciales y temporales, Fujita (1981), Fujita y Wakimoto (1986), sin embargo no es hasta el surgimiento y explotación de los radares de la generación de los WSR-88D y del tipo doppler, cuando se logra un salto cualitativo significativo en el conocimiento sobre la dinámica de estos fenómenos meteorológicos severos, Nielsen y Read (1995).

En Cuba no son frecuentes los tornados intensos pertenecientes a las categorías F3 y F4 de Fujita (1973). Los procesos de la circulación atmosférica asociados con la ocurrencia de tornados y arovalanchas se presentan con cierta frecuencia a comienzos del período lluvioso. Los patrones de circulación asociados con estos procesos se caracterizan por la existencia de un núcleo de aire frío en los niveles medios, que se combina con un flujo de aire cálido en los niveles bajos de la atmósfera, Alfonso (1994).

En el presente trabajo, se realiza un estudio de las características del tornado que afectó la localidad del llamado "Barrio de las Nubes" en el poblado de Cruces perteneciente a la provincia de Cienfuegos, en la tarde del 9 de mayo de 1999. Se estudian las características de los procesos de

circulación reflejados en las escalas mesoalfa y mesobeta de Orlansky (1975), así como son examinados diferentes aspectos relacionados con la clasificación del fenómeno y los daños causados en la localidad.

Materiales y métodos

Para llevar a cabo el presente trabajo se tuvieron en cuenta los siguientes materiales:

- Análisis de flujo de las cartas sinópticas analizadas de los niveles de 850 y 500 hPa. de los días 8 y 9 de Mayo de 1999. Además se tuvo en cuenta la información brindada por la hodógrafa del viento en el entorno de la región central de Cuba, para lo cual se tuvieron en consideración los datos de dirección y velocidad del viento a diferentes niveles de la atmósfera (incluyendo niveles mandatorios y opcionales reportados por los radiosondas de la estaciones radiosondas de Cayo Hueso (72201), Kingston (78397) y Belice (78583). Los datos del sondeo de la isla Caimán Grande (78384), no estuvieron disponibles en la fecha analizada.
- Análisis de flujo a mesoescala a la 18 UTC del día 9 de Mayo de 1999.
- Datos del radar meteorológico de Pico San Juan correspondiente con las 21 UTC del día 9 de Mayo de 1999.
- Fotografías tomadas en la zona del "Barrio de las Nubes" en la mañana del 10 de Mayo de 1999.
- Datos suministrados por el Estado Mayor Municipal de la Defensa Civil de Cruces a partir de la evaluación de los daños causados por la tormenta.

Análisis y discusión del tornado de cruces

Características del macroproceso de circulación que estuvo asociado a la génesis del tornado.

Las condiciones sinópticas que caracterizaron el comienzo de mayo de 1999, estuvieron precedidas por un incremento significativo de la actividad de precipitaciones que se presentó a lo largo de la isla entre los días 26 y 30 de abril. Después de este período relativamente inestable, que se caracterizó por la presencia de una vaguada en los niveles medios de la atmósfera, se estableció una

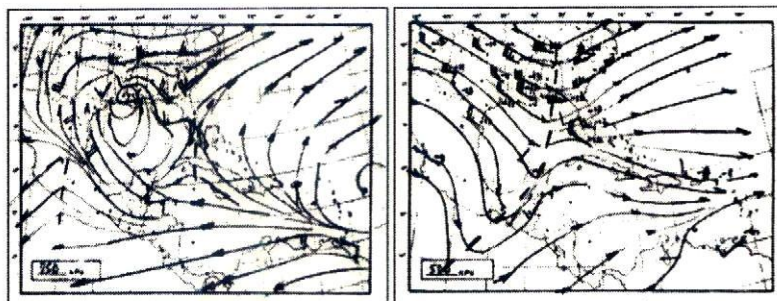


Fig. 1 Cartas de flujo de los niveles de 850 y 500 hPa del día 8 de Mayo de 1999.

marcada influencia anticiclónica que trajo como consecuencia una nueva disminución de las precipitaciones en el país. Sin embargo las corridas de los modelos hidrodinámicos de plazo medio (ECMWF, MRF y NOGAPS), de los primeros días de mes, indicaban que entre el 5 y 7 de mayo se profundizaría una onda corta en niveles medios de la atmósfera, que se extendería a lo largo de la costa oriental del continente, el extremo occidental de Cuba y la península de Yucatán.

El análisis de las cartas de flujo de los niveles de 850 y 500 hPa, en el horario de las 12 UTC del día 8 de mayo de 1999, (Fig. 1) corrobora la presencia de la onda corta mencionada en los niveles medios de la atmósfera, en combinación con la influencia en superficie de la periferia del

anticiclón subtropical. Este tipo de situación sinóptica en el nivel de los 850 hPa, se asemeja al tipo conocido como anticiclón subtropical extendido, que forma parte de la clasificación de Lapinel (1988). El examen realizado a la carta de flujo en el nivel de 850 hPa,, describe la formación de una ondulación, como resultado de la interacción de la celda principal del anticiclón subtropical del Atlántico Norte y una celda secundaria ubicada en el noroeste del Golfo de México.

La presencia de la onda corta antes mencionada, es la causa de la entrada de una inyección de aire frío por los niveles medios

de la atmósfera, lo cual se corrobora con el dato de temperatura de -12 gC en el nivel de 500 hPa, reportado por el equipo de radiosonda de la estación aerológica de Cayo Hueso, que a las 1200 UTC. la tarde de ese mismo día, ocurría un tornado devastador que afectó el poblado de Pedroso, perteneciente al municipio de Bolondrón en la provincia de Matanzas.

De esta manera se verifica el hecho que desde del día anterior a la ocurrencia del tornado de Cruces, se presentaron ya de hecho condiciones favorables para la aparición de tormentas locales severas en la parte occidental de la isla. Para el día 9 de mayo a las 12 UTC se observa el avance algo

más al este de la onda corta referida, ganando más en amplitud y profundizándose algo más hacia el sur. El reporte de temperatura observado por el radiosondeo de la estación 201 de Cayo Hueso en el nivel de los 500 hPa era de 13 gC y la irrupción de aire frío de componente noroeste se hizo más penetrante al comparar las cartas sinópticas de los días 8 y 9 de Mayo, (Fig. 2).

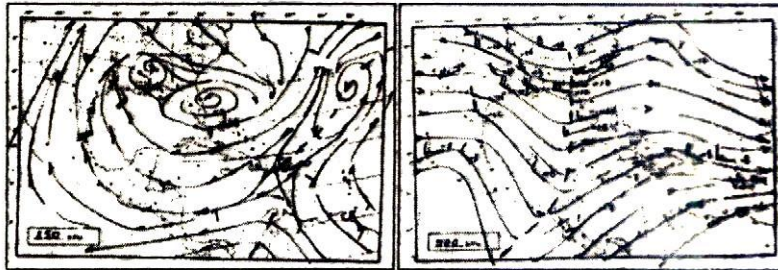


Fig. 2 Cartas de flujo de los niveles de 850 y 500 hPa del día 9 de Mayo de 1999.

Las condiciones sinópticas reinantes, representadas por los campos de flujo 850 y 500 hPa, denotaban que existían condiciones favorables para la ocurrencia aislada de fenómenos severos. En los niveles bajos de la atmósfera el macroproceso de circulación estaba asociado a un flujo de aire muy cálido, con un contenido de humedad relativa en la capa 850-500 hPa del orden del 30%. El otro elemento importante es la instauración de un flujo de aire muy frío en los niveles medios, que desde el día anterior había comenzado a influir sobre la parte occidental de Cuba. El desplazamiento al este de la onda corta en niveles medios acentuaba este proceso y como consecuencia aumentaba significativamente el gradiente vertical de temperatura en el entorno de la parte occidental y central de Cuba.

Otro factor importante está asociado al comportamiento de la cizalladura vertical del viento en la vertical. La Fig. 3 se muestra la hodógrafa del viento en el entorno de la región central, denotando la capacidad de transformación

de vorticidad horizontal en vertical a través del efecto de helicidad relativa, que está implícito en el análisis de la hodógrafa del viento. Este último factor constituye uno de los factores principales para la génesis de los tornados, Droegemeier et. al. (1993).

En el caso analizado se observa que la cizalladura vertical de esta variable se caracterizó por

una disminución acentuada de los vientos de componente este por encima del nivel de los 850 hPa, aspecto que predominó hasta el nivel de 600 hPa, donde el módulo de la intensidad del viento es despreciable. En la medida que nos aproximamos al nivel de 500 hPa, comienza a producirse en sentido contrario un aumento gradual de vientos de componente oeste (asociados con la presencia de la onda

corta) que de hecho induce un aporte vertical de la vorticidad que está implícito en el concepto de la helicidad relativa.

Circulación del viento en el nivel de superficie (escala mesobeta). Aspectos que favorecieron el desarrollo de la supercelda e interacción de la circulación a diferentes escalas.

La ocurrencia del brote de TLS estuvo precedida por el intenso calentamiento del día. La deformación del viento en superficie por el efecto de las brisas marinas de ambas costas se denotó desde el final de la mañana y a la 1400 hora local (18 UTC), se observaba una zona de marcada confluencia del viento que se ubicaba en el interior de la isla. El análisis de flujo realizado en la carta de superficie de las 18 UTC, (Fig. 4), permitió calcular la magnitud de la divergencia en una rejilla en la escala mesobeta de Orlandsky (1975), cuyo paso es de $s = 15$ km, utilizando un intervalo de tiempo de 30 minutos en el periodo trihorario comprendido entre las 18 y 21 UTC. La convergencia superficial se incrementó extraordinariamente y de acuerdo con la interpolación temporal realizada,

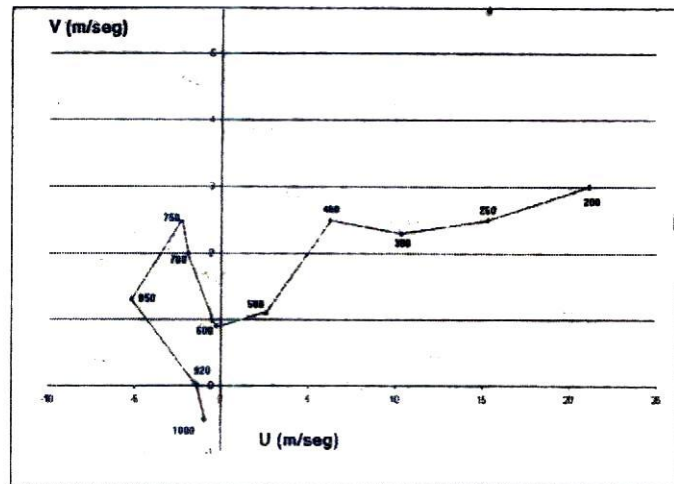


Fig. 3 Hodógrafa del viento calculada para la región central de Cuba, en base a los datos de viento de los radiosondeos de Cayo Hueso, Kingston y Belice, para las 12 UTC del día 9 de mayo de 1999.

los valores máximos de este parámetro estuvieron entre -0.3 y $-0.45 \times 10^{-3} \text{ seg}^{-1}$.

Por otro lado fueron realizadas observaciones del radar meteorológico de Pico San Juan en coincidencia con el horario de observación comprendido entre las 20 y 21 UTC. Precisamente en el período en que se observaron los máximos de convergencia del viento en superficie, comenzó a desarrollarse con rapidez una supercelda en el entorno comprendido entre los poblados de Cruces, Lajas y Ranchuelo que alcanzó un tope de hasta 18 kilómetros y 54 dbz de reflectividad, en sólo 20 minutos. La fuerte convergencia del viento generada por el calentamiento y las componentes del viento estimulada por las brisas en el entorno del triángulo formado por estas tres localidades, encontraba condiciones muy favorables de cizalladura que se acentuaban por un marcado gradiente vertical de temperaturas inducido por las bajas temperaturas prevalecientes en la atmósfera media.

Como consecuencia de la interacción de procesos de diferentes escalas, imperantes en el macroproceso de circulación dominante y de la fuerte convergencia del viento a mesoescala se generó la supercelda que dio origen al tornado. Informaciones recolectadas en el trabajo de campo que se rea-

lizó en la mañana del día 10 de Mayo, indican que el tornado fue precedido por una intensa granizada y aerovalancha que ocasionó fuertes daños a las plantaciones del Complejo Agroindustrial Marta Abreu, situado apenas a 5 kilómetros al nordeste de la localidad de Cruces.

Características del tornado, su afectación en el Barrio de las Nubes, clasificación y daños a la economía.

- Apoyados en la información brindada por un vídeo realizado por un aficionado, más los relatos obtenidos de una encuesta realizada a más de 10 personas que observaron el desplazamiento de la nube de embudo. Se llegaron a las siguientes conclusiones:
- El proceso de formación del tornado comenzó en la base de un potente cúmulo nimbus que se ubicaba al nordeste y muy cerca de la ciudad.
- Inicialmente apareció una nube de embudo pequeña que fue desplazándose hacia el norte de la ciudad y aproximándose al poblado de Marta Abreu. En la zona mencionada ocurre simultáneamente una intensa granizada acompañada de una aerovalancha. Minutos después comienza a

formarse una segunda nube de embudo más próxima y al este de la localidad de Cruces. En un período de 15-18 minutos, esta segunda nube de embudo absorbe la primera y comienza un proceso rápido de intensificación.

- Cuando se alcanzan los 25 minutos desde el primer momento en que fue detectada la nube de embudo, ya se encuentra prácticamente estructurado y formado. El tornado comienza su desplazamiento general en la dirección Este-Oeste, con rotación ciclónica sobre el "Barrio de Las Nubes", ubicado en la parte norte de la localidad de Cruces. La rotación de los vientos quedó manifiesta con la orientación en que fueron proyectados objetos, paredes, caída de árboles, etc. al paso del tornado.
- El desplazamiento general del tornado hacia el Oeste, se caracterizó por fluctuaciones en forma de saltos como es típico de estos sistemas. Las propias huellas de la destrucción parcial y total de viviendas, árboles y obstáculos constituyeron el mejor testimonio de la trayectoria seguida por el tornado durante un período aproximado de 5 minutos de contactos interrumpidos con la superficie de la tierra. El período total de duración del tornado desde su génesis hasta su desaparición fue de 25 minutos. Las estimaciones realizadas por los pobladores y los daños ocasionados por el fenómeno indican que el ancho de la nube de embudo en su trayectoria sobre la superficie de la tierra osciló entre 15 y 20 metros.

Para la clasificación del tornado nos auxiliamos de la escala de Fujita (1973). La Fig. 5 muestra algunos de los daños ocasionados por el tornado. Entre los efectos más sobresalientes que se tuvieron en cuenta para la clasificación del tornado tenemos los siguientes:

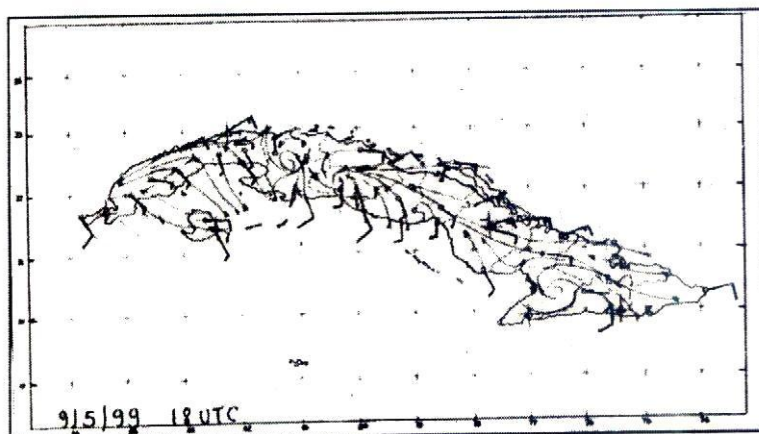


Fig. 4 Campo de viento a las 1400 hora local (1800 UTC) del día 9 de mayo de 1999

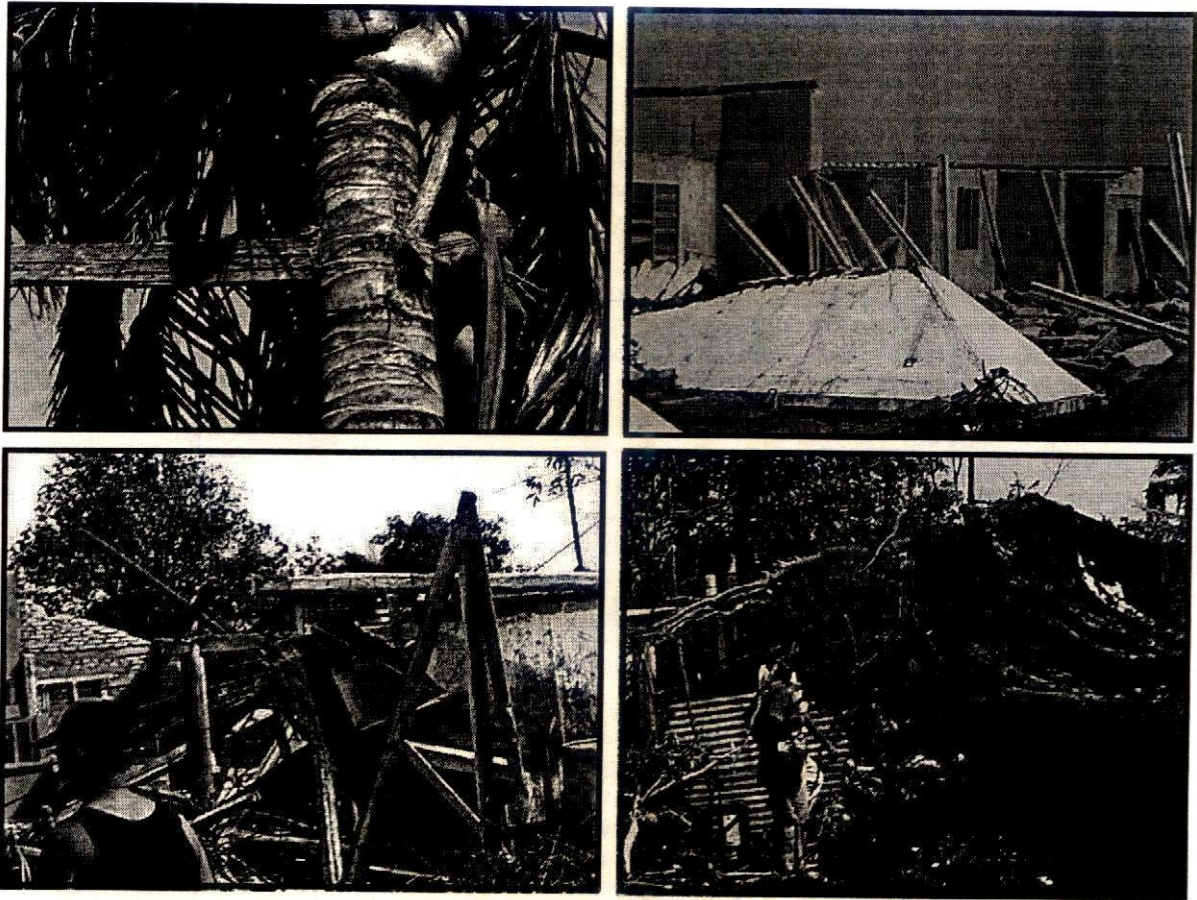


Fig. 5 Fotografías de daños y efectos causados por el tornado F4 que azotó el barrio de "Las Nubes" en la localidad de Cruces, el día 9 de mayo de 1999.

- La destrucción total de viviendas construidas de ladrillos, bloques y de techos de tejas.
- El corrimiento y desprendimiento de una placa de su cerramiento (incluyendo la caída del repello) y la quebradura de las zapatas a más de 50 cm de profundidad.
- El impacto de un pedazo de tabla de palma sobre el tronco de un cocotero que fue atravesado por la parte central de la planta e incidió que el obstáculo se proyectara hacia el otro lado de acuerdo con la propia orientación de las fibras del mismo.
- La caída de 8 tanques con agua de un peso aproximado de 5 toneladas, que fueron sacados de sus bases respectivas y lanzados contra la superficie de la tierra.
- La proyección a altas velocidades por el aire de una carreta con un buey a más de 200 metros de distancia.
- Es de interés señalar que la misma localidad del llamado "Barrio de las Nubes", (al norte del poblado de Cruces), fue afectada por un tornado F3 que produjo cuantiosos daños el día 29 de mayo de 1973, Bueno (1980). Sustentamos la hipótesis, de que este pequeño barrio presenta particularidades excepcionales y que la propia pendiente orográfica orientada en la dirección sudeste-noroeste actúa como un elemento favorable para que se produzca la afectación de estos tipos de meteoros. En estos casos la convergencia generada por el desplazamiento de sistemas meteorológicos sobre una zona de marcada pendiente topográfica puede ser un factor de la escala meso-gamma que incentive la ocurrencia microlocalizada de estos fenómenos, Orlova (1979).

Los elementos antes expuestos nos permitieron calificar al tornado en el mínimo de la categoría F4 de la escala Fujita, con vientos estimados del orden entre los 330 y 350 km./h. El hecho de que el tiempo de exposición de las viviendas ante los fuertes vientos fuera muy poco, por espacio de fracciones de segundo y que la trayectoria descrita por el tornado sobre el área de afectación no rebasara los 4 - 5 minutos, justifica objetivamente las velocidades tan elevadas que debieron alcanzar los vientos en el entorno adyacente al embudo del tornado.

El refugio y evacuación rápida de la población hacia zonas fuera del alcance de los vientos devastadores del fenómeno, permitió de que sólo ocurriera el fallecimiento de una persona (una anciana que fue arrastrada por los vientos más intensos en el momento que intentaba trasladarse hacia una vivienda para refugiarse). Como resultado de la afectación del tornado, hubo un total de 15 heridos y lesionados. La afectación de viviendas ascendió a un total de 264, con un total 40 derrumbes totales, 27 parciales, 94 afectaciones por techo y 103 afectaciones parciales de techo, (entre ellas muchas construidas con ladrillos, una con techo de placas con quebraduras en su cerramiento).

La cuantificación de los daños causados a la economía del país, expresados en moneda nacional y moneda libremente convertible es como sigue:

Tabla 1. Monto en moneda nacional (Pesos) y divisas (USD) de los daños, gastos, etc., ocasionados por la afectación del tornado F4 que azotó la localidad del Barrio de las Nubes en el poblado de Cruces

Tipo de Moneda	Serv. Eléc.	Serv. Telef.	Agua Potable	Agríc. Cañera	Educ. Inst.	Otras	Const.	Medic.	Alimen. Recup.	Trab. Vivien.	Perdida	Total
Moneda Nacional	20,600.	-	20,000.	10,000.	5,000	6000.	17,000.	1000.	25,000.	19,000	320,000	443,600
Divisa USD	15,500	4,100	-	-	-	300.	-	-	-	-	-	19,900

Conclusiones

1. La interacción de varios factores de la circulación atmosférica en el entorno de Cuba, dio origen al brote severo y al tornado F4 que arrasó el Barrio de las Nubes en la tarde del 9 de mayo de 1999. La representación de todo este proceso en las escalas mesoalfa y mesobeta, quedó evidenciada en el diagnóstico de la información disponible.

2. La situación meteorológica dominante, detectada en la escala mesoalfa, se caracterizó por la influencia periférica de la dorsal anticiclónica en los niveles bajos y la presencia de una onda corta profunda en los niveles medios, que en su desplazamiento hacia el este aportó una corriente de aire frío de componente noroeste, que exacerbó el gradiente vertical de temperatura y creó condiciones favorables de cizalladura vertical del viento para el desencadenamiento de la convección profunda. El análisis de la hodógrafa del viento estimado sobre la región central de Cuba, evidenció también condiciones favorables de helicidad relativa para la génesis del proceso.

3. El elemento disparador de la convección profunda que dio origen al tornado F4 estuvo condicionado en superficie, por el patrón de circulación del viento confluyente a lo largo de la isla en la escala mesobeta, como consecuencia del calentamiento diurno y de la componente de las brisas generada a lo largo del litoral. Este patrón

de flujo en superficie aportó una convergencia del viento en superficie significativa, que encontró condiciones muy favorables en los niveles bajos y medios de la atmósfera para el desarrollo de la convección profunda y la génesis del tornado.

4. El tornado F4 en la escala de Fujita, que afectó el "Barrio de las Nubes" en la localidad de Cruces, estuvo asociado a la formación de una supercelda,

que se localizó en el extremo nordeste de la provincia de Cienfuegos y la parte suroeste de Villa Clara. Datos del radar meteorológico de Pico San Juan, estimaron un tope extremo en el conglomerado de cumulo nimbus superior a 18 kilómetros con 54 dbz de reflectividad, provocando una granizada intensa que afectó la localidad de Martha Abreus, apenas 5 kilómetros al norte de la zona donde se generó el tornado.

5. El tornado tuvo un desplazamiento general este-oeste, ocasionando un desastre en la localidad referida y dejando consigo un rastro de destrucción sin precedentes. La magnitud de los daños ocurridos, como fue la destrucción total de viviendas, el desplazamiento a más de 200 metros de una carreta con sus bueyes y la caída estrepitosa de los gigantes tanques de agua, permitieron clasificar al meteoro como un F4 en la escala de Fujita. Los daños causados por el siniestro fueron cuantiosos y evaluados por la sección de defensa civil del municipio.

Referencias Bibliográficas

ALFONSO, A.P. (1994): Climatología de las tormentas locales severas en Cuba. Cronología. Ed. Academia, Ciudad de La Habana, 110 pp.

BUENO, J. (1980): "El Tornado de Lajas del 27 de Junio de 1980"(inédito), IV Forum Terr. Est. Met., Santa Clara; 19 pp.

DOSWELL C.A. and D.W. BURGESS (1993): "Tornadoes and tornadic storms: A review of conceptual model. The Tornado: Its Structure, Dynamics, Prediction, and Hazards". American Geophysical Union Press, 161-172.

DROEGEMEIER K.K., M. LAZARUS AND R.P. DAVIES-JONES (1993): "The influence of helicity on numerical simulated convective storms", *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2005-2029.

FERNÁNDEZ, A. J., O.SANTANA NUÑEZ Y M.L. PINO GARCÍA, J. GONZALEZ, JULIO PEREZ, A. SANCHEZ, R. AYRA Y D. ARCIA (1998): "PROMETEO: Sistema de pronóstico objetivo de variables meteorológicas", Edit. Academia, Ciudad de La Habana, 34 p.

FUJITA T.T. (1973): Tornadoes around the World. *Weatherwise* 26, 56-62, 78-83.

FUJITA T.T. (1981): "Tornadoes and downburst in the context of generalized planetary scales", *Journal of Atmospheric Sciences*, 38, 8, 1511-1534.

FUJITA T.T. y R.M. WAKIMOTO (1981): "Five scales of airflow associated with a series of downburst on 16 July 1980". *Mon. Wea. Rev.* 109, 1438-1456.

LAPINEL, B. (1988): "La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las lluvias en Cuba". Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Camagüey, Cuba, 132 pp.

NIELSEN-GAMNON J. Y W.L. READ (1995): "Detection and Interpretation of left-moving severe thunderstorms using the WSR-88D: A case study". *Weather and Forecasting*, Volume 10, Number 1, 127-140.

ORLANSKY I. (1975): "A rational subdivision of scales for atmospheric processes", *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 56(5): 527-530.

ORLOBA, E.M. (1979): "Prognóstico a corto plazo de las lluvias atmosféricas", *Guidrometeoizdat*, Leningrado, 166 p.