



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA EN EL ARCHIPIÉLAGO CUBANO

BEHAVIOR ANALYSIS OF THE MESOSCALE CONVECTIVE SYSTEMS IN THE CUBAN ARCHIPELAGO

 KAMILA HIERREZUELO LOZADA*,  CHRISTIAN MUÑIZ CARRILLO

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

*Correo para correspondencia: kamilalozada0117@gmail.com

Palabras claves:	Resumen
Sistemas convectivos precipitaciones extremas satélite	Los Sistemas Convectivos de Mesoescala, se caracterizan por la ocurrencia de fuertes precipitaciones que acontecen en un corto periodo de tiempo y en algunos casos pueden provocar la muerte de personas y daños económicos. En Cuba el estudio de estos fenómenos se remonta a la década de 1980, cuando la región occidental del país se vio estremecida por un sistema de estas características. Desde entonces se han realizado diversas investigaciones alrededor del tema. El día 13 de marzo de 1993 y el 24 de mayo de 2020 se desarrollaron sobre el archipiélago cubano dos sistemas convectivos de mesoescala que causaron graves daños a las áreas afectadas por su rápido avance e intensificación. En el presente trabajo se realizó un estudio a partir de los entornos sinópticos y mesoescalares que dieron origen a estos fenómenos y sus ciclos de vida con la ayuda de datos de satélite meteorológico y de las estaciones meteorológicas de superficie, así como su comportamiento durante todo el año teniendo en cuenta las características climatológicas, y las consecuencias que trajo para el país el paso de estos sistemas.
Key words:	Abstract
Convective systems extreme precipitation satellites	Mesoscale Convective Systems are characterized by the occurrence of strong precipitations that occur in a short period of time and in some cases can cause economic damage as well as the death of people. In Cuba, the study of these phenomena dates back to the 1980s, when the western region of the country was shaken by a system of these characteristics. Since then, several investigations have been carried out on the subject. On March 13, 1993 and May 24, 2020, respectively, two Mesoscale Convective Systems developed over the Cuban archipelago, causing serious damage to the areas affected due to their rapid advance and intensification. The present paper exposes a study carried out about the synoptic and mesoscale environments that gave rise to these phenomena and their life cycles with the help of data from meteorological satellites and surface meteorological stations, as well as their behavior throughout the year taking into account the climatological characteristics, and the consequences that the passage of these systems brought to the country.

Introducción

El archipiélago cubano es afectado durante todo el año por intensas precipitaciones de origen convectivo, las cuales dependiendo de su desarrollo y evolución pueden terminar convirtiéndose en fenómenos de tiempo severo que dejan tras de sí importantes desastres. Las zonas de Cuba más proclives al desarrollo de estos sistemas continúan siendo, en mayor

medida, el occidente y centro. De hecho, los sistemas que más adelante se tratarán en este trabajo ocurrieron en estas dos regiones, que además son las de mayor desarrollo dentro del complejo socioeconómico del país, y que por sus características geomorfológicas y topográficas son las más vulnerables ante eventos de inundaciones súbitas causadas por las precipitaciones extremas, la formación de tornados, tormentas eléctricas y trombas marinas.

Recibido: 26 de septiembre de 2022

Aceptado: 28 de noviembre de 2022

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

A partir de las investigaciones y con el auxilio, principalmente de imágenes de los satélites se ha demostrado que el origen de estas precipitaciones en la mayoría de los casos, son asociadas a núcleos convectivos aislados, compactos y de gran extensión con una magnitud mayor que las tormentas e inferior a los ciclones tropicales. Estos meteoros son denominados como Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), tienen fases de estructuración interna dentro de la mesoescala que los hace evolucionar con un ciclo propio de vida e interactuar con su entorno sinóptico provocando incluso su alteración según lo referenciado por León, Mendaza, & Jódar (1994).

Lo que distingue a los SCM de la convección aislada, es el hecho de que un parámetro meteorológico organizará las nubes en un sistema circular o lineal que cubrirá un área grande y persistirá durante horas o incluso días. La presencia de un frente atmosférico, especialmente de un frente frío, suele ser el detonante de estos sistemas en latitudes medias. (Senra, 2022). Los SCM tienen un rápido comienzo asociado a la presencia de nubes convectivas (Cúmulos y Cumulonimbos) de gran desarrollo vertical que se desplazan en compañía de áreas de tormentas eléctricas con un lento movimiento o casi estacionarias.

Se originan en condiciones de gran inestabilidad atmosférica, entre ellas la presencia de un flujo de aire muy cálido y húmedo en superficie y en los niveles más bajos de la troposfera, y de temperaturas muy frías entre los cinco y seis kilómetros de altura. La mayoría de estos sistemas solo producen lluvia, que en ocasiones llega a precipitar en forma de granizo (Ortiz, 2014). A diferencia de otros tipos de convección, es común que el pico de precipitación de estos sistemas ocurra en las horas nocturnas, a menudo incluso después de la medianoche local.

Como antecedente del estudio de estos fenómenos en Cuba se puede citar el ocurrido entre los días 18 y 19 de junio de 1982, localizado en zonas próximas a la costa norte y municipios del este de la capital, donde un amplio sistema convectivo produjo lluvias torrenciales con acumulados superiores a los 600 mm en 6 horas, que ocasionó importantes inundaciones por la crecida de los ríos. (Senra, 2022)

El día 13 de marzo de 1993 lo que parecía ser un habitual frente frío se desplazaba rumbo a la zona occidental de Cuba, y conectaba a un área de baja presión extratropical, se encontraba en un continuo proceso de profundización, a lo que se le unió una banda nubosa que por delante del frente activó la actividad convectiva. Este fue el detonante perfecto para la tragedia a la cual se atribuye el más costoso desastre natural que ha vivido el país asociado a un fenómeno meteorológico de la temporada invernal. (González, 2018)

Extendiéndose sobre la zona central de Cuba el día 24 de mayo de 2020 en el horario nocturno, surgió un área convectiva que pronto adquirió un gran desarrollo, prolongándose hasta el final de la madrugada del día siguiente. Su desarrollo se produjo cuando una banda de tormentas, asociada a una vaguada de niveles medios de la Tropósfera se movió rápidamente, generando explosivas tormentas desde Matanzas hasta Sancti Spiritus. Con su avance, se reportaron vientos fuertes y lluvias intensas en esa región, inundaciones, daños a la vegetación y redes eléctricas. (Senra, 2022)

En Cuba, estas perturbaciones pueden ocurrir durante todo el año, aunque son más comunes entre los meses de mayo a octubre, en correspondencia con el período lluvioso, con un máximo notable en el sexto mes del año (junio es el mes más lluvioso en Cuba) (Senra, 2022), aunque también son conocidas como bandas prefrontales de tormenta, que afectan al país en el período poco lluvioso.

El impacto que, sobre el archipiélago cubano, tuvo la presencia de los dos sistemas a los cuales se hizo mención con anterioridad motivó la realización del presente estudio. Por lo que este trabajo de investigación se plantea como objetivo analizar el comportamiento de los SCM en el archipiélago cubano mediante el estudio profundo del complejo escenario del surgimiento y desarrollo de estos fenómenos sobre la base de las condiciones sinópticas y mesoescalares que favorecieron su aparición y posterior evolución.

Materiales y Métodos

Como base del estudio se toman los datos obtenidos a partir de la revisión de las investigaciones anteriormente realizadas en Cuba, los Estados Unidos y Europa. Se han compilado las imágenes IR de satélite meteorológico que reflejan los aspectos de indispensable conocimiento acerca de estos sistemas sobre todo lo concerniente a su estructura interna, organización, evolución y trayectoria, en un período de doce horas antes de la ocurrencia de la tormenta. (Figura 1).

Las variables consideradas son: precipitaciones, dirección del viento (Dir), velocidad del viento (WSK), temperatura (Temp), humedad relativa (HR) y presión atmosférica (PA). Además de analizar los datos satelitales, se han tenido en cuenta los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas de superficie de la Red Nacional de Estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba (Insmet) y las informaciones que diariamente almacena el Centro Nacional de Pronóstico en sus Estados Generales del Tiempo. La prensa escrita proporcionó gran cantidad de información útil a la hora de evaluar el impacto de ambos sistemas sobre territorio nacional.

Resultados y discusión

Tormenta del Siglo

Análisis sinóptico y mesoescalar

a) Descripción general:

Los días 11 y 12 de marzo de 1993 una fuerte invasión de aire ártico sobre el centro de los EE. UU provocó aumentos sostenidos en la presión atmosférica. Al mismo tiempo se desarrollaba un centro de baja presión extratropical sobre el golfo de México, que comenzó a moverse al este sobre un frente casi estacionario durante las 48 horas anteriores. A las 23:00 UTC del 12 de marzo el centro de altas presiones había alcanzado los 1031 hPa, al tiempo que la baja se había trasladado al golfo de México y tenía una presión de 1004 hPa. Una vaguada en tránsito por las Grandes Llanuras rápidamente entró en un proceso de centro profundización (Figura 2).

El centro de baja presión no escatimaba en su fortalecimiento, su presión central llegó a los 991 hPa hacia las 00:00 UTC del 13 de marzo. Para ese entonces el frente frío era fuerte y bien definido, extendiéndose hasta el Istmo de Tehuantepec (Figura 3). Los vientos en superficie continuaron aumentando a medida que la línea frontal avanzaba hacia el occidente de Cuba. Las imágenes de satélite a las 02:00 UTC del 13 de marzo indicaron que la corriente de chorro subtropical se localizaba muy al sur, emergiendo del océano Pacífico oriental a través del este de Honduras y continuando hacia Jamaica y La Española. (Alfonso & Naranjo, 1996)

b) Factores que produjeron el tiempo severo:

Las condiciones meteorológicas adversas que propiciaron la fuerte convección están asociadas a varios elementos de interés. En primer lugar, se detectó la presencia de una profunda capa húmeda en los niveles bajos de la troposfera. Para el día 13 el suministro constante de humedad en superficie es evidente con valores de relación de mezcla que alcanzaron los 16 g kg^{-1} (esto es más del doble del promedio para esta área en esta época del año) sobre Yucatán y aguas adyacentes, extendiéndose sobre el este del golfo de México. Existía un fuerte gradiente entre el aire muy húmedo al este y el aire muy seco al oeste de sistema. El escenario era muy favorable para la ocurrencia de tormentas locales severas (TLS) a medida que la línea frontal avanza hacia el occidente de Cuba por dichos contrastes que se generan en la temperatura y humedad en un área relativamente pequeña. (Alfonso & Naranjo, 1996)

El segundo elemento necesario para el desarrollo de convección profunda fue una tasa de caída suficientemente pronunciada encima de la capa húmeda, en este caso, el aire condicionalmente inestable cubrió Florida y el occidente de Cuba, lo cual ha quedado comprobado al analizar los datos de los sondeos realizados (Figura 4). (Alfonso & Naranjo, 1996)

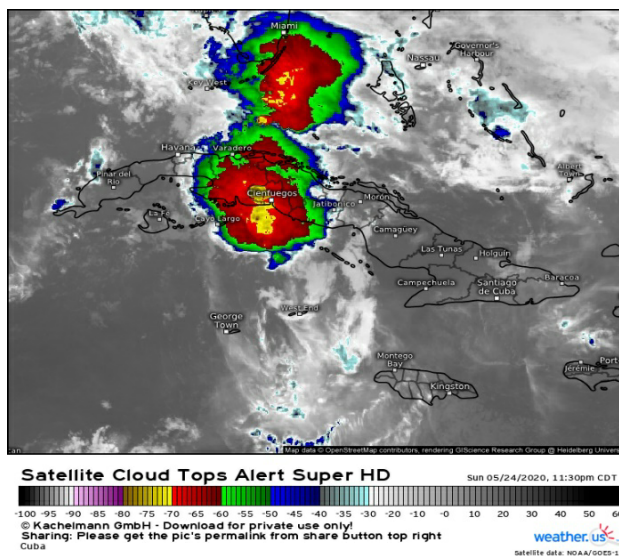


Figura 1. Imagen IR del sistema convectivo de mesoescala, región Central de Cuba en la madrugada del día 25 de mayo del 2020. (National Weather Service, NOAA., 2020)

Figure 1. IR image of the mesoscale convective system, Central region of Cuba in the early morning of 25 May 2020. (National Weather Service, NOAA., 2020)

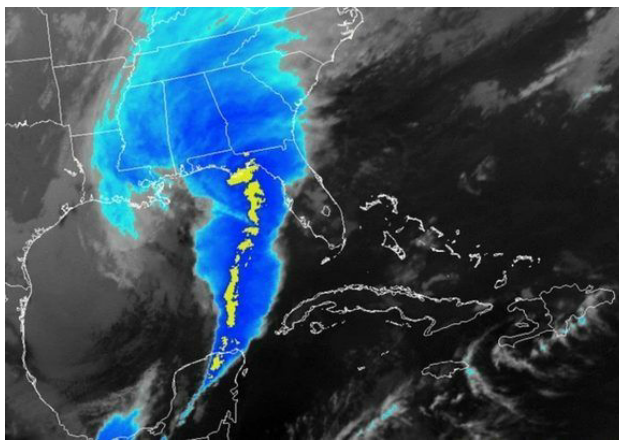


Figura 2. La vaguada en su esplendor en la noche del 12 de marzo de 1993, a punto de arribar a Cuba. (National Weather Service, NOAA., 2020)

Figure 2. The trough in all its splendor on the night of 12 March 1993, about to arrive to Cuba. (National Weather Service, NOAA., 2020)

Sondeos que sin embargo no parecen típicos de los que se asociarían por lo general a estos sistemas cargados de humedad. Los análisis muestran la existencia de vientos muy fuertes que soplan desde el altiplano mexicano hasta el este del golfo de México. Este aire seco y cálido avanza desde la parte trasera del frente fusionándose con la corriente de aire cálido y húmedo del sur y con el flujo de

aire frío y relativamente húmedo del norte. Esto llevó a una intrusión seca estrecha de la costa del golfo de México hacia el este, como resultado, la inestabilidad convectiva y las condiciones favorables para la intensificación de las corrientes descendentes en cumulonimbos y en consecuencia para el desarrollo de TLS se estaban intensificando. (Alfonso & Naranjo, 1996)

El tercer ingrediente necesario según (Alfonso & Naranjo, 1996), es el mecanismo de elevación que fue proporcionado por la línea de turbonada que era claramente una línea prefrontal a través de todo el golfo de México, y este comportamiento se mantuvo en toda Cuba. La línea de turbonada precedido el paso del frente polar por varias

horas, produciendo solo cambios de viento de S a SW y sin cambios significativos de temperatura. Lluvias ligeras y viento cambio a NW con una rápida caída de la temperatura caracterizó el paso frontal. Los cambios de presión típicos fueron registrados por barógrafos en el occidente de Cuba. (Alfonso & Naranjo, 1996) (Figura 5)

Dos de los factores que favorecen el desarrollo de tiempo severo son convergencia en niveles bajos y suministro de humedad (es decir, pronunciada convergencia de humedad). Es evidente que una zona de convergencia de humedad se encuentra sobre el noreste del golfo de México y la mitad occidental de Cuba, y aguas circundantes así lo refieren (Alfonso & Naranjo, 1996). Por lo tanto, se puede suponer

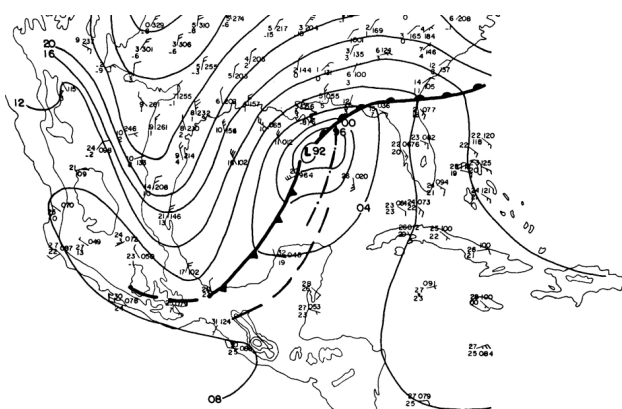


Figura 3. Análisis de la presión atmosférica a nivel del mar para las 00:00 UTC 13 de marzo de 1993. Isobaras cada 4 hPa. Temperatura y punto de rocío en grados Celsius. Racha de viento máximo en nudos. (Alfonso & Naranjo, 1996)

Figure 3. Sea level pressure analysis for 00:00 UTC 13 March 1993. Isobars every 4 hPa. Temperature and dewpoint in Celsius. (Alfonso & Naranjo, 1996)

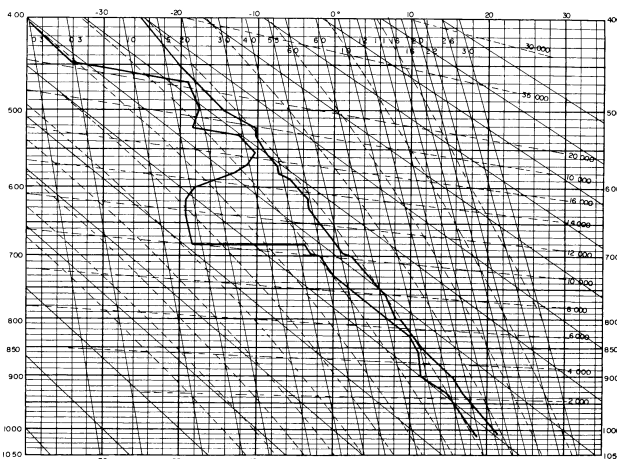


Figura 4. Diagrama de sondeo realizado a las 00:00 UTC del 13 de marzo de 1993 en Cabo Cañaveral (74794) (Alfonso & Naranjo, 1996)

Figure 4. Stuve diagram of sounding for 00:00 UTC 13 March 1993 at Cape Canaveral (Alfonso & Naranjo, 1996)

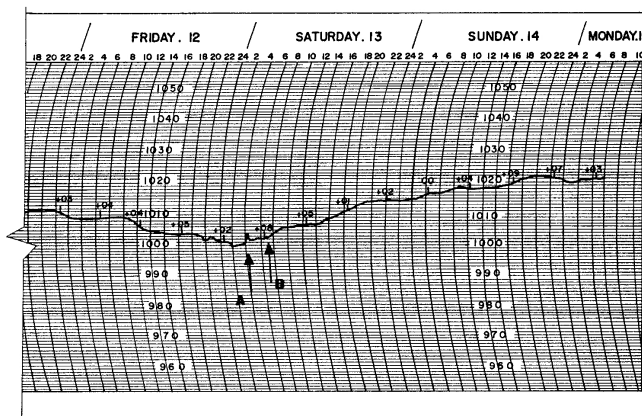


Figura 5. Barógrafo entre los días 12-14 de marzo de 1993 en Unión de Reyes, Matanzas. Momento del cambio de presión entre la línea prefrontal, A, y la línea del frente, B. (Alfonso & Naranjo, 1996)

Figure 5. Barograph trace for 12-14 March 1993 at Union de Reyes, Matanzas. Pressure jump line passage, A. Polar front passage, B. (Alfonso & Naranjo, 1996)

que estos valores indican una convergencia de humedad sustancial sobre el área afectada, favorable para el desarrollo de TLS.

En resumen, el entorno sinóptico fue favorable para el desarrollo de convección profunda y el tiempo severo asociado al este del golfo de México a las 00:00 UTC del 13 de marzo de 1993, incluyendo la mayoría elementos clásicos asociados con el desarrollo de tiempo severo común en latitudes medias durante el invierno o primavera. Sin embargo, debido a la latitud, la humedad disponible en la capa más baja fue más alta de lo normal para esta época del año y el aire era considerablemente inestable por delante de la línea del frente. (Alfonso & Naranjo, 1996)

Desarrollo y estructura

a) Formación:

A la llegada de la línea del frente al occidente de Cuba, ya se extendía hacia el noroeste del mar Caribe y su crecimiento hacia el sur continuó durante varias horas. A las 00:00 UTC del día 13 de marzo el entorno hacia el que se movía la línea del frente era muy favorable para su intensificación.

b) Estructura:

El radar de Casablanca (MRL, 10 cm) indicó en su secuencia desde las 05:00 UTC hasta las 10:00 UTC que la línea de turbonada consistía en un eco de línea patrón de onda con una serie de ecos de arco (figura 6). Una estructura similar fue detectada por los radares de la Península de la Florida. Estos ecos eran muy persistentes e intensos, los ecos llegaron a alturas de hasta 16,3 km e intensidades de hasta 70 dBZ, durante el periodo de máxima intensidad sobre las provincias más occidentales de Cuba. Aunque sobre territorio cubano no se reportó la ocurrencia de tornados, sí se registraron fuertes vientos.

Análisis a escala de tormenta

La figura 7 muestra la geografía, la topografía y las localizaciones claves de la zona occidental de Cuba afectada por la línea de turbonada. A excepción de las estaciones meteorológicas de Bauta y Santiago de Las Vegas, no hubo indicio que los vientos registrados fueran relacionados con sistemas convectivos de mesoescala, sino más bien, que estos superaron considerablemente el umbral de las TLS según refieren (Alfonso & Naranjo, 1996). Luego de un arduo proceso de recopilación de información de diversas fuentes del área en cuestión, incluyendo a un gran número de testigos oculares en las antiguas provincias de La Habana, Ciudad de La Habana y Matanzas, profesionales y meteorólogos residentes en el área dañada, quienes también examinaron los daños inmediatamente después del paso de la tormenta, se pudo arribar a buen término y a continuación se refleja todo ello.

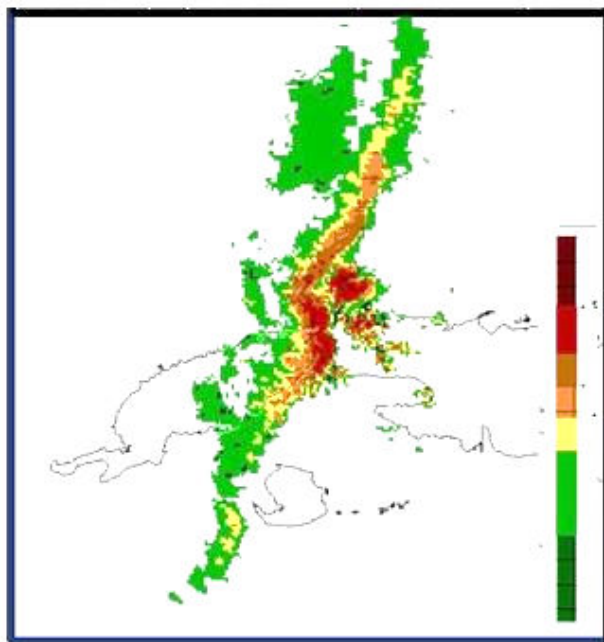


Figura 6. Representación digitalizada de la reflectividad del radar de La Habana a las 07:59 UTC del día 13 de marzo de 1993. (Díaz, 2004)

Figure 6. Digitized representation of the radar reflectivity of Havana at 07:59 UTC 13 Marc 1993. (Díaz, 2004)

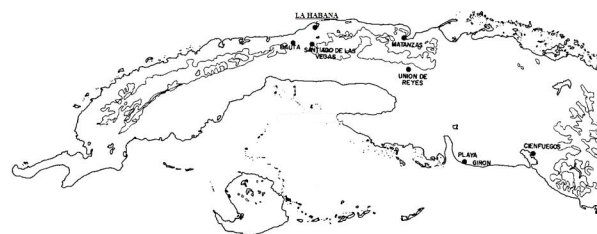


Figura 7. Ubicaciónes claves sobre el occidente y centro de Cuba, los contornos indican la elevación cada 100 msnm. (Alfonso & Naranjo, 1996)

Figure 7. Key locations over western and central Cuba. Contours indicate elevation every 100 m MSL. (Alfonso & Naranjo, 1996)

El daño se evaluó utilizando la escala de Fujita (F) y también la escala TORRO. El uso de ambas escalas permitió una evaluación más detallada de los patrones de daños que muestran los árboles y los diferentes tipos de construcciones hechas por el hombre. Los resultados de esta evaluación, en términos de escala F, se presentan para las antiguas provincias La Habana y Ciudad de La Habana (Figura. 8 a), se produjeron los daños más intensos y donde la red meteorológica, permite realizar análisis de campo meteorológico a escalas próximas a las escalas de

tormentas. (Alfonso & Naranjo, 1996). Se observó una franja de daño F2 con un ancho entre los 10 y 20 km, las rachas máximas estimadas oscilaron hasta los 215 km/h. Este daño ocurrió entre las 07:30 UTC y 09:00 UTC.

Un SCM intenso se muestra sobre la zona de La Habana a las 08:15 UTC, el elemento más fuerte era un mesociclón de sólo 5 km de diámetro, con un mínimo de presión de 999 hPa y un centro con gradiente de presión pronunciado. Esta característica fue seguida por un mesoalta intensa (más de 1009 hPa) (Figura 8 b). Esta combinación explica los fuertes vientos del SW que barrieron la zona dañada. En Santiago de Las Vegas, a los fuertes vientos le siguieron un episodio de granizo y lluvia. A este SCM se le atribuye el mayor daño causado sobre la región occidental de Cuba. Otra área de daños muy importantes estuvo relacionada con el eco de proa que afectó a la Isla de la Juventud y luego llegó a Playa Girón y la ciudad de Cienfuegos, donde se reportaron rachas destructivas correspondientes a escala F2 (superiores a los 180 km/h). En la ciudad de Cienfuegos los daños fueron muy similares a los encontrados en la destrucción causada en La Habana. La extensión del área cubierta por ráfagas de 90 km/h parece incluir todo el centro y sur de Florida y toda la costa oeste y norte de Cuba.

Sistema del 24 de mayo del 2020, sobre la Región Central de Cuba:

Análisis sinóptico y mesoescalar:

a) Descripción general:

El día 24 de mayo de 2020 el Centro de Pronósticos Nacional reportaba un gran contenido de humedad relativa debido a la interacción de una onda tropical que se desplazaba al sur de la región Occidental dejando a su paso chubascos, lluvias y tormentas eléctricas en gran parte del archipiélago exceptuando las provincias de Mayabeque, Santiago de Cuba, Granma y el municipio especial.

(Instituto de Meteorología de la República de Cuba, 2020). A su vez en el mapa de superficie de las 12:00 UTC se observaba que sobre Cuba y mares adyacentes estaban influyendo las altas presiones, cuyo máximo bórico de 1024 hPa se hallaba en el Atlántico central. Como reflejo de sistemas persistentes al este de Norteamérica, en el aire superior aparece una faja de altos valores de geopotencial compuesta por varios centros, que desciende en latitud con la altura.

En el nivel de 850 hPa el cinturón se extiende por el Atlántico central y occidental, el este y el sudeste de los Estados Unidos, el sudeste del golfo de México, el mar Caribe y Centroamérica el cual se ve imposibilitado a avanzar por la presencia de una celda de bajo geopotencial localizada próxima a la región occidental, que en niveles medios experimenta un desplazamiento hacia el nortenordeste, con un marcado descenso en latitud. (Instituto de Meteorología de la República de Cuba, 2020)

Según refieren (Instituto de Meteorología de la República de Cuba, 2020), de interés resultó la vaguada que se extendía desde la porción norte de la Península de la Florida hacia el suroeste hasta el Océano Pacífico estableciendo un flujo del tercer cuadrante sobre gran parte del país, en niveles medios continuando su desplazamiento hacia el sur, a la vez que la vaguada antes descrita se desplazaba al oeste estableciendo fuertes corrientes del suroeste sobre la mitad occidental, sobre la mitad oriental existía la influencia de la dorsal estableciendo vientos del noroeste. En las imágenes satelitales (Figura 9) se observaba la presencia de nublados en capas y grupos convectivos en gran parte del país e indicaba para el día 25 de mayo la débil influencia en superficie de las altas presiones con el centro alejado en aguas del océano Atlántico central el cual impondría vientos de componente sur en la mitad occidental y del este al sudeste en el resto del país.

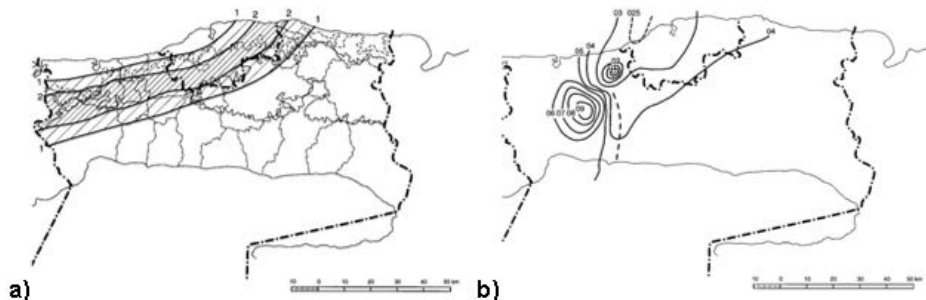


Figura 8. a) Las evaluaciones en escala Fujita de los daños experimentados en las provincias de La Habana y Ciudad de La Habana. b) SCM al norte y mesoalta más al sur. (Alfonso & Naranjo, 1996)

Figure 8. a) The F-scale assessments for damage experienced over the Havana and Havana City provinces. b) MCS pressure analysis every 0.1 kPa for 0815 UTC 13 March 1993 over the Havana and Havana City provinces. (Alfonso & Naranjo, 1996)

b) Factores que produjeron el tiempo severo:

Esta situación meteorológica según (Rey, 2020) estuvo relacionada con la presencia de la profunda vaguada mencionada anteriormente, la cual se encontraba representada en la atmósfera superior sobre el sudeste del golfo de México, y aportó fuertes vientos del suroeste a más de seis kilómetros de altura y abundante humedad, produciendo fuerte inestabilidad atmosférica y por lo tanto generando numerosas lluvias y tormentas eléctricas, las cuales persistieron durante gran parte del día en los territorios de Cienfuegos, Villa Clara, Matanzas y Sancti Spiritus.

Consecuencias tras el paso del sistema por la isla

Referenciaba Rey (2020), que el SCM dejó tras su paso fuertes precipitaciones con un promedio de acumulados significativos como muestra la figura 10. Como se aprecia en la figura 11 los mayores acumulados estuvieron dados en las provincias de Cienfuegos y Villa Clara.

En la figura 10 se muestra la suma promedio dada en porciento, del acumulado de precipitaciones registradas en las provincias de Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus.

The figure 10 shows the average sum given in percent, about to the accumulated rainfall registered in Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara and Sancti Spiritus provinces.

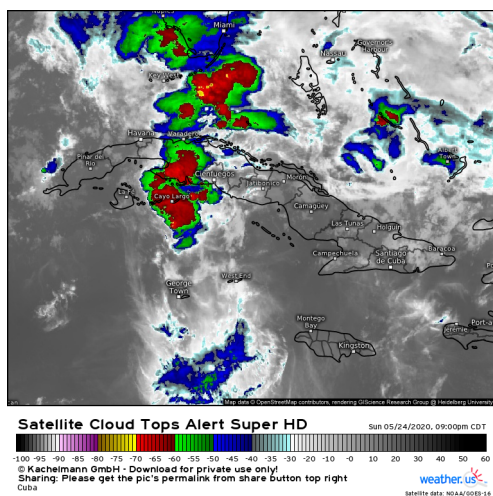


Figura 9. Imagen IR, donde se observa la influencia sobre Cuba de las altas presiones y la posterior formación del sistema convectivo de mesoescala sobre la región central de Cuba en la noche del 24 de mayo del 2020. (National Weather Service, NOAA., 2020)

Figure 9. IR image, where the influence on Cuba of high pressures is observed and the subsequent formation of the mesoscale convective system over the Central region of Cuba in the night of 24 May 2020. (National Weather Service, NOAA., 2020)

Las fuertes lluvias, registradas en casi todos los territorios mencionados, provocaron la crecida de los ríos, inundaciones de zonas bajas, incremento en los acumulados de las presas y complicaciones en algunos servicios de bombeo de agua. (Borrego, Cabrera Pérez, 2020)

En la ciudad de Cienfuegos, hubo además fuertes tormentas eléctricas con caída de granizo, rachas de vientos fuertes estimadas entre 60 y 80 kilómetros por hora; se reportaron inundaciones súbitas en algunas zonas bajas de la capital se reportaron acumulados de 153 milímetros, mientras en Matanzas, un acumulado de 126.3 milímetros (mm) registrado por la estación meteorológica de Playa Girón, ubicada en el sur. (Rey, 2020)

Una de las localidades más afectada fue Guasimal, Sancti Spiritus, por el paso de un tornado de intensidad F0, el más pequeño en la escala Fujita-Pearson, con vientos de 115 kilómetros por hora, dejando a 50 casas en malas condiciones. (Rey, 2020) También provocó serias inundaciones en zonas de la ciudad de Santa Clara, ocasionando daños de diversos tipos en viviendas y en bienes materiales de sus moradores, así como en instituciones estatales. Las inundaciones ocurrieron en zonas bajas de la ciudad, se aprecian las afectaciones ocurridas en lugares vulnerables cercanos al río Bélico, el cual sobrepasó incluso varios puentes ubicados en el transcurso de su cauce. (Rey, 2020)

Conclusiones

Cuba debido a sus características meteorológicas, se puede ver afectada durante casi todo el año por estos fenómenos, aunque los meses más comunes son de mayo a octubre correspondientes al período lluvioso. Se encuentra en el clima tropical, cálido y estacionalmente húmedo del

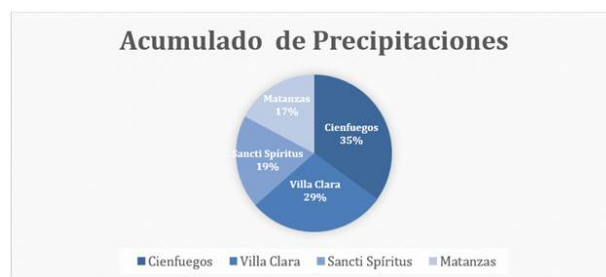


Figura 10. Confeccionado por los autores a partir de datos obtenidos de la red nacional de pluviómetros del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) y de las estaciones meteorológicas.

Figure 10. By the authors from the data obtained from the National Rain Gauge Network of the National Institute of Hydraulic Resources (INRH) and from the meteorological stations.

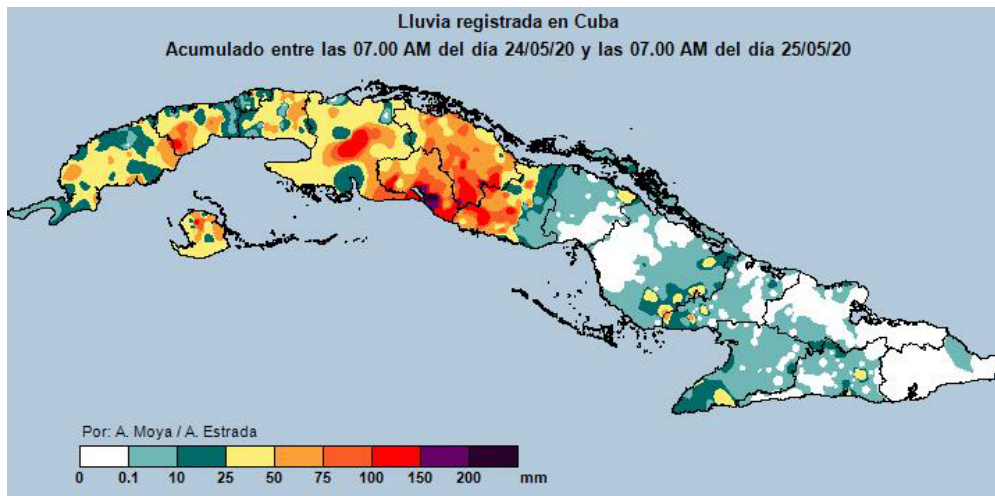


Figura 11. Mapa de acumulado total de precipitaciones (mm) entre las 11:00 UTC del 24 de mayo de 2020 y las 11:00 UTC del 25 de mayo de 2020. (Fuente: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH))

Figure 11. Map of the total accumulated rainfall (mm) between 11:00 UTC 24 May 2020 and 11:00 UTC 25 May 2020. (Font: National Institute of Hydraulic Resources (INRH))

archipiélago cubano el máximo incitador en el agravamiento de fenómenos de este tipo.

Según los sistemas tomados como referencia, los ocurridos el 13 de marzo de 1993 y el del 25 de mayo de 2020 ambos afectando el Occidente y Centro del país, se observa que, aunque tuvieron diversos factores que influyeron en su formación, el principal condicionante fue la presencia de una vaguada en las capas medias de la Troposfera que se desplazó rápidamente por Cuba.

El ciclo de vida de ambos Sistemas Convectivos a partir de datos de satélite guarda una muy buena relación y pueden servir de ayuda en labores de vigilancia atmosférica. Estos sistemas fueron causantes de tiempo severo con la ocurrencia de vientos con rachas huracanadas, descargas eléctricas, caída de granizo, formación de tornados, inundaciones severas en zonas bajas y altas de distintas localidades de Cuba. Se alcanzó un gran promedio de acumulado de precipitaciones destacándose las provincias de Cienfuegos y Sancti Spiritus.

Recomendaciones

Los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), son meteoros de gran interés para el país, afectan el archipiélago de manera sistemática. Se hace necesario emprender más líneas de investigación relacionadas con esta temática para estudiar con precisión su comportamiento de manera general en Cuba. Se debe realizar una investigación más a fondo sobre el sistema del 25 de mayo de 2021 que afectó al Centro del país, pues se pueden obtener de cuantiosos datos para el estudio general del comportamiento de los SCM.

Agradecimientos

Se agradece al Msc. Carlos Manuel González Ramírez, meteorólogo y profesor del INSTEC, por su colaboración en la realización de esta investigación y su apoyo en la búsqueda de los datos necesarios archivados en el INSMET.

Bibliografía

- Alfonso, A. (1986). El brote de tiempo severo en Cuba del 8 de febrero de 1978. Descripción del brote y situación sinóptica. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*, 10, 101-114.
- Alfonso, A. P., & Naranjo, L. R. (1996). The 13 March 1993 severe squall line over western Cuba. *Weather and forecasting*, 11(1), 89-102.
- Borrego, J. A. (2020, 26 de mayo). *El infierno que sacudió la madrugada en El Entronque de Guasimal Cubadebate*. <http://www.cubadebate.cu>
- Borrego, J.A., Cabrera Pérez, F. (2020, 26 de mayo). *Vientos granizados, truenos y fuertes lluvias en el centro de Cuba*. *Granma*. <http://www.granma.cu>
- Carretero, O., & Alonso, R. R. (1998). Sistemas convectivos de mesoescala: climatología mediante imágenes de satélite. *Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje*, (1), 113-136.
- Ceperuelo, M., & Llasat, M. d. (s.f.). Predicción de los parámetros radar de las células convectivas.
- Circe, M. y F. Martin, 2003: *Identificación y seguimiento automático de estructuras convectivas a partir de datos de radares meteorológicos*, Nota técnica. 246 p
- Díaz, L. N. (2004). Superstorm 93: A Case Scenario. *MeteoGalicia*.

- Duvel, J. P. (1989). Convection over tropical Africa and the Atlantic Ocean during northern summer. Part I: Interannual and diurnal variations. *Monthly weather review*, 117(12), 2782-2799.
- Gamache, J. F., & Houze Jr, R. A. (1983). Water budget of a mesoscale convective system in the tropics. *Journal of Atmospheric Sciences*, 40(7), 1835-1850.
- González, D. E. (2018, 6 de marzo). La verdadera historia de la Tormenta del Siglo. Cubadebate. <http://www.cubadebate.cu>
- Instituto de Meteorología de la República de Cuba (2020, 24 y 25 de mayo). Estado General del Tiempo. <http://www.insmet.cu/>
- Jiang, D. R. (1990). A Theory for Long-Lived Meso-scale Convective Systems.
- Jirak, I. L., Cotton, W. R., & McAnelly, R. L. (2003). Satellite and radar survey of mesoscale convective system development. *Monthly weather review*, 131(10), 2428-2449.
- Lafore, J. P., & Moncrieff, M. W. (1989). A numerical investigation of the organization and interaction of the convective and stratiform regions of tropical squall lines. *Journal of the atmospheric sciences*, 46(4), 521-544.
- Laing, A. G., Fritsch, J. M., & Negri, A. J. (1999). Contribution of mesoscale convective complexes to rainfall in Sahelian Africa: Estimates from geostationary infrared and passive microwave data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38(7), 957-964.
- León, F. M., Mendaza, M. C., & de Esteban Jódal, L. (1994). Estudio de dos sistemas convectivos de mesoescala en el área mediterránea española. *Papeles de Geografía*, (20), 81-104.
- Maddox, R. A., Rodgers, D. M., & Howard, K. W. (1982). Mesoscale convective complexes over the United States during 1981-Annual summary. *Monthly Weather Review*, 110(10), 1501-1514.
- Marshall, T. C., & Rust, W. D. (1993). Two types of vertical electrical structures in stratiform precipitation regions of mesoscale convective systems. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(11), 2159-2170.
- National Weather Service, NOAA. (1993, 12 de marzo). La vaguada en su esplendor en la noche del 12 de marzo de 1993, a punto de arribar a Cuba. <https://weather.us>
- National Weather Service, NOAA. (2020, 24 de mayo). Imagen IR, donde se observa la influencia sobre Cuba de las altas presiones y la posterior formación del sistema convectivo de mesoescala sobre la región central de Cuba en la noche del 24 de mayo del 2020. <https://weather.us>
- National Weather Service, NOAA. (2020, 25 de mayo). Imagen IR del sistema convectivo de mesoescala, región Central de Cuba en la madrugada del día 25 de mayo del 2020 <https://weather.us>
- Ortiz, A. C. (2014, 19 de abril). Tan peligrosas, como difíciles de predecir. Granma. <http://www.granma.cu>
- Rey, L. (2020, 25 de mayo). Lluvias intensas y tormentas eléctricas en el centro y occidente de Cuba Trabajadores. <https://www.trabajadores.cu/>
- Riosalido, R., & Carretero, O. (1998). Sistemas convectivos de mesoescala: climatología mediante imágenes de satélite.
- Senra, Á. P. (2022, 13 de septiembre). Qué son los Sistemas Convectivos de Mesoescala. Cubadebate. <http://www.cubadebate.cu>
- Stolzenburg, M., Marshall, T. C., Rust, W. D., & Smull, B. F. (1994). Horizontal distribution of electrical and meteorological conditions across the stratiform region of a mesoscale convective system. *Monthly Weather Review*, 122(8), 1777-1797.
- Zipser, E. (1992). Utilización de un modelo teórico de ciclo de vida de los Sistemas Convectivos de Mesoescala para mejorar las predicciones a muy corto plazo. *Predicción Inmediata. INM* (10), pp.23-27.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflicto de intereses.

Contribución de autoría: Concepción de la idea: Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Manejo de los datos:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Análisis de los datos:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Investigación:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Metodología:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Redacción-primera redacción:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Supervisión:** Carlos Manuel González Ramírez. **Validación de los resultados:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo. **Redacción- revisión y edición:** Kamila Hierrezuelo Lozada, Christian Muñiz Carrillo.