

# FACTORES METEOROLÓGICOS QUE CONTRIBUYERON A LA FORMACIÓN DE LA TORMENTA SUBTROPICAL ALBERTO

*Osniel Armas Forteza*

INSMET, Carretera del Asilo, Loma de Casablanca s/n, Regla, La Habana, Cuba.

[osniel.armas@insmet.cu](mailto:osniel.armas@insmet.cu)

## **Resumen:**

Cuba a menudo es azotada por ciclones tropicales, pero la afectación directa de una tormenta subtropical no había sido reportada con anterioridad. Sin embargo, en mayo de 2018, las regiones occidental y central del archipiélago cubano experimentaron la influencia de las fuertes precipitaciones asociadas con la tormenta subtropical Alberto. Según Berg (2018), los acumulados de precipitación alcanzaron hasta 366 mm, valor reportado en el pluviómetro Heriberto Duquezne de la provincia de Villa Clara. Además se produjo el deceso de 10 personas por ahogamiento. Lo anteriormente expresado incrementa el interés en conocer las particulares condiciones que favorecieron la génesis de este organismo sobre el Caribe occidental. De ahí que el objetivo principal sea analizar la situación sinóptica que favoreció la formación y evolución de la tormenta subtropical Alberto. Para ello, se utilizaron los mapas sinópticos del campo de viento, geopotencial, temperatura del aire y temperatura superficial del mar. Además, la información disponible fue complementada con las imágenes de satélite y los diagramas de fase. A partir de los mapas sinópticos se evidenció que la irrupción de una vaguada de los oestes de la tropósfera superior y su permanencia sobre el sudeste del golfo de México y el Caribe occidental, generaron un ambiente sinóptico favorable para la génesis de este sistema. Además se comprobó que el elevado gradiente de temperatura entre la superficie oceánica y el nivel de 500 hPa estableció la condición de inestabilidad que, en combinación con la difluencia superior y la cizalladura vertical del viento generada por la vaguada, propiciaron la formación del ciclón subtropical y el desarrollo del mismo.

**Palabras claves:** tormenta subtropical, vaguada superior, cizalladura vertical del viento.

## **Abstract:**

Cuba is often affected by tropical cyclones, but the direct influence of a subtropical storm had not been previously reported. However, the western and central regions of the Cuban archipelago experienced the influence of heavy rainfall associated with the subtropical storm Alberto in May 2018. According to Berg (2018), the accumulated rainfall reached up to 366 mm, a value reported in the Heriberto Duquezne pluviometer of Villa Clara province. In addition there, was the death of 10

people by drowning. The aforementioned increases the interest in knowing the particular conditions that favored the genesis of this organism over the western Caribbean. Hence the main objective is to analyze the synoptic situation that favored the formation and evolution of the subtropical storm Alberto. Synoptic maps of the wind field, geopotential, air temperature and sea surface temperature were used. In addition, the available information was complemented with satellite images and phase diagrams. From the synoptic maps it was shown that encroachment of upper trough and its permanence on the southeast of the Gulf of Mexico and the western Caribbean, generated a favorable synoptic environment for the genesis of this system. In addition, it was found that the high temperature gradient between the ocean surface and the 500 hPa level, established the instability condition that, in combination with the upper diffluence and vertical wind shear generated by the trough, led to the formation of the subtropical cyclone and the development of it.

**Keywords:** subtropical storm, upper trough, vertical wind shear.

### **Introducción:**

Cuba a menudo es azotada por ciclones tropicales (CT), pero la afectación de una baja extra-tropical (BE) o ciclón subtropical (CS) es muy poco frecuente. Sin embargo, en mayo de 2018 las regiones occidental y central del archipiélago cubano experimentaron la influencia de las fuertes precipitaciones asociadas con la tormenta subtropical (TS) Alberto. Durante este evento se produjeron acumulados que según Berg (2018), alcanzaron los 366 mm, valor reportado en el pluviómetro del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) Heriberto Duquezne de la provincia de Villa Clara. Este autor también señala que se produjo el deceso de 10 personas por ahogamiento en Cuba, cifra bastante elevada si se compara con las producidas por CT en las últimas décadas. Además, el acumulado nacional de este mes, califica como el segundo mayor para cualquier mes del año desde 1961, solo superado por los 490 mm en octubre de 1963, cuando el ciclón Flora azotó la mitad oriental de Cuba (Bustamante, 2018).

Las TS son sistemas meteorológicos que pueden ocasionar importantes pérdidas económicas e incluso de vidas humanas en los territorios que reciben su influencia. Dado fundamentalmente, por los efectos combinados de los fuertes vientos y las intensas precipitaciones a lo largo de un área que generalmente supera a la de las tormentas tropicales (TT). Todo lo anteriormente expuesto incrementa el interés en conocer las características generales y condiciones que favorecen su génesis y desarrollo, con el fin de realizar mejores pronósticos acerca de su evolución, trayectoria e impactos.

Los CS generalmente se forman entre los 20 y 40 °N, (Evans & Guishard, 2009; Bentley et al., 2016), bajo un ambiente ligeramente baroclínico, en donde las condiciones meteorológicas difieren

en buena medida con las que predominan en la zona tropical. Es por ello que se puede considerar un hecho aislado la génesis de la TS Alberto sobre aguas del Caribe occidental. Sin embargo, también lleva a pensar en la posibilidad de que se origine nuevamente un sistema con similares características sobre esta u otra parte del Caribe. De ahí que el presente artículo tenga como objetivo principal analizar la particular situación sinóptica que favoreció la formación, evolución y transición tropical de la TS Alberto; siendo este tema relevante en relación a las variaciones del clima actual y además de gran novedad en la esfera del pronóstico de estos sistemas en Cuba.

### **Características generales de los ciclones subtropicales**

Varias son las investigaciones que se han realizado sobre los CS en las últimas décadas, evidenciando el interés internacional sobre el tema y aportando a su vez valiosos conocimientos sobre las características generales que poseen estos sistemas. En este sentido, es reconocido el papel de un ambiente con relativamente elevada cizalladura vertical del viento, sobre aguas con temperatura superficial superior a 25 °C, para la génesis subtropical (Roth, 2002; Guishard, 2006; Evans & Guishard, 2009; Guishard, Evans & Hart, 2009).

Otra particularidad que señalan algunos autores es el significativo gradiente térmico entre la superficie oceánica y el nivel de 500 hPa. Según Roth (2002), se han encontrado diferencias de temperatura que, como promedio, oscilan entre los 38-40 °C; sin embargo, según Guishard, et al. (2007), la diferencia de temperatura relacionada con la ciclogénesis subtropical de aquellos sistemas que han afectado a Las Bermudas es alrededor de 34 °C.

Por otro lado, un rasgo fundamental para clasificar a un CS como tal, es la presencia, dentro de su circulación, de anomalías positivas de la temperatura en los niveles bajos y anomalías negativas en los niveles altos de la tropósfera. La presencia de un núcleo cálido debajo y un núcleo frío encima, evidencia una estructura híbrida, entre la que presenta un CT (núcleo cálido) y un ciclón extra-tropical (núcleo frío) (Roth, 2002; Evans & Guishard, 2004; Evans & Guishard, 2009; González-Alemán et al., 2015).

En cuanto a las características nubosas de los CS, Herbert & Poteat (1975), describen una técnica que se diferencia a la del Dvorak para la clasificación por satélite de estos sistemas, afirmando que la convección principal se localiza hacia el polo y al este del centro de circulación. Estos autores también señalan que el tamaño del sistema nuboso es de 15° de latitud o más y, comúnmente, permanece conectado a otros sistemas sinópticos.

En el detallado estudio realizado por Roth (2002), donde analiza 218 CS que se formaron sobre la cuenca del Atlántico durante 51 años (1951-2001), afirma que estos sistemas se pueden originar en cualquier mes del año. Sin embargo, su génesis es más frecuente al final de la temporada ciclónica,

durante el trimestre septiembre-noviembre. Esta investigación arrojó que un 20.2% de todos los casos se formaron en octubre, un 16.5% en septiembre y un 13.8% en noviembre. Mientras que los meses de menor actividad son de diciembre a abril, cuando las diferencias entre la temperatura superficial del océano Atlántico y el nivel de 500 hPa alcanza su punto más bajo.

Más recientemente, Bentley et al. (2016) elaboraron una técnica de identificación objetiva de CS, con una perspectiva enfocada en la vorticidad potencial. La misma se basa en las contribuciones relativas de los procesos baroclínicos de la tropósfera inferior, la liberación de calor latente en la tropósfera media y los procesos dinámicos de la tropósfera superior, así como el signo de la vorticidad térmica en la tropósfera superior. Esta técnica les permitió identificar a 62 sistemas como CS, dentro de una climatología de 640 ciclones que se formaron bajo un ambiente baroclínico en el Atlántico Norte (AN) entre 1979-2010, elaborada por McTaggart-Cowan, et al. (2013). La investigación señala que los CS se forman típicamente sobre el sur del golfo de México y el oeste del AN entre abril-junio; en el norte del golfo de México y el oeste del AN entre julio-septiembre; y en el oeste, centro y este de la cuenca Atlántica entre octubre-diciembre. Los autores también refieren que estos sistemas se originan más frecuentemente en el mes de septiembre, debido a que se superponen los forzamientos impulsados baroclínicamente y convectivamente sobre diferentes porciones del AN.

### **Materiales y métodos**

La investigación se centra en el análisis y evaluación de determinados campos y variables atmosféricas en un plazo previo y posterior a la génesis de la depresión subtropical (DS) Alberto y durante su desarrollo hasta alcanzar la categoría de TS. Para ello se utilizaron varias herramientas, como son: diagramas de fase de ciclón, mapas sinópticos, imágenes de satélite y algunos productos elaborados a partir de la información brindada por satélites meteorológicos.

Los diagramas de fase son actualmente una de las herramientas más utilizadas para diferenciar al sistema ciclónico en tropical, subtropical o extra-tropical, a partir de las características térmicas del mismo y de la baroclinicidad del medio en que se desarrolla. Para construir estos diagramas se utilizan tres parámetros fundamentales: la asimetría térmica en la tropósfera inferior (900-600 hPa),  $B$ ; el viento térmico en la tropósfera inferior,  $V_T^L$ ; y el viento térmico en la tropósfera superior (600-300 hPa),  $V_T^U$ . Uno de los diagramas relaciona los parámetros  $B$  y  $V_T^L$ , mientras que el otro relaciona  $V_T^U$  y  $V_T^L$ ; permitiendo determinar la estructura general de los ciclones a partir de sus características frontales y del perfil térmico vertical de su núcleo (Hart, 2003; González-Alemán et al., 2015). Según el criterio elaborado por Hart (2003), el CS debe tener una estructura híbrida por al menos 36 horas, determinado a partir del diagrama de fase del ciclón.

Los diagramas de fase fueron generados por el Dr. Robert Hart de la Universidad Estatal de Florida, a partir del re-análisis de los sistemas de asimilación ERA5 (R-0.28°x0.28°), ERAI (R-0.7°x0.7°) y MERRA2 (R-0.5°x0.66°), así como el análisis del modelo GFS (R-0.5°). Los mismos se realizaron para el período comprendido entre el 25 de mayo de 2018 (0000 UTC) y el 31 de mayo de 2018 (1200 UTC).

Para el análisis del ambiente sinóptico que favoreció la génesis y posterior desarrollo de la TS Alberto se utilizaron los mapas sinópticos de presión en superficie, geopotencial, temperatura del aire y el viento en los niveles de 1000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa y 200 hPa, así como cizalladura vertical del viento en la capa 850-200 hPa y temperatura superficial del mar (TSM), para los horarios 0000Z, 0600Z, 1200Z y 1800Z. Estos mapas fueron extraídos del sitio web <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/> del National Center for Atmospheric Research (NCAR por sus siglas en inglés). Parámetros como el paso entre isobaras e isohipsas y el espacio sinóptico fueron establecidos con anterioridad a través de un código programado en Grads.

Se extrajeron además, los mapas medios de la TSM y de la temperatura del aire en los 500 hPa para el mes de mayo, del período comprendido entre 1981 a 2010, en sitio web <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>.

Productos de satélite como la vorticidad en los niveles 850, 700, 500 y 200 hPa y la cizalladura en una capa profunda se obtuvieron del sitio web <http://tropic.ssec.wisc.edu/archive/> del Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison.

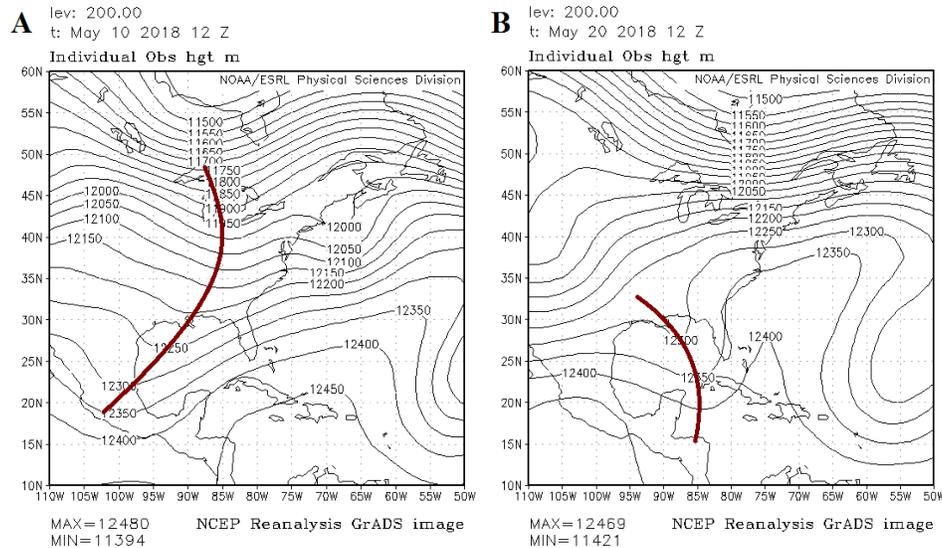
También fueron analizadas las imágenes de satélite, del sitio web <https://www.bou.class.noaa.gov>. En el mismo se obtuvieron imágenes del GOES 15 de los canales visible para 1 y 2 km de resolución espacial, e infrarrojo y vapor de agua para 1 km de resolución; las que fueron complementadas con otras captadas por los sensores del MODIS abordo del TERRA y el AQUA, en los canales visible, infrarrojo y vapor de agua, para 1 km de resolución.

## **Análisis y discusión de los resultados**

### ***Mapas de presión y geopotencial***

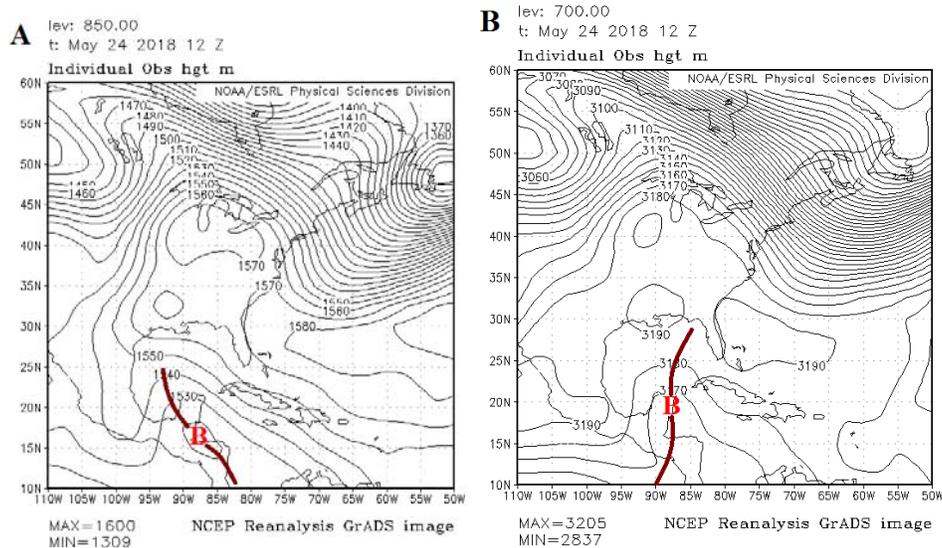
A partir del análisis de los mapas sinópticos de geopotencial se pudo comprobar la existencia de una vaguada superior desde el día 10 de mayo sobre el noroeste del golfo de México. Este sistema se encontraba extendido desde los Grandes Lagos (EE. UU) hasta la región central de México (**figura 1A**). La onda larga asociada a la misma se volvió más inestable a medida que se desplazó hacia el este, de tal forma que se fracturó la vaguada y posteriormente se originó una baja superior sobre el sur de Alabama. A partir del día 13, tanto la baja como la vaguada superior experimentaron continuos procesos que produjeron importantes cambios en su estructura, representación e

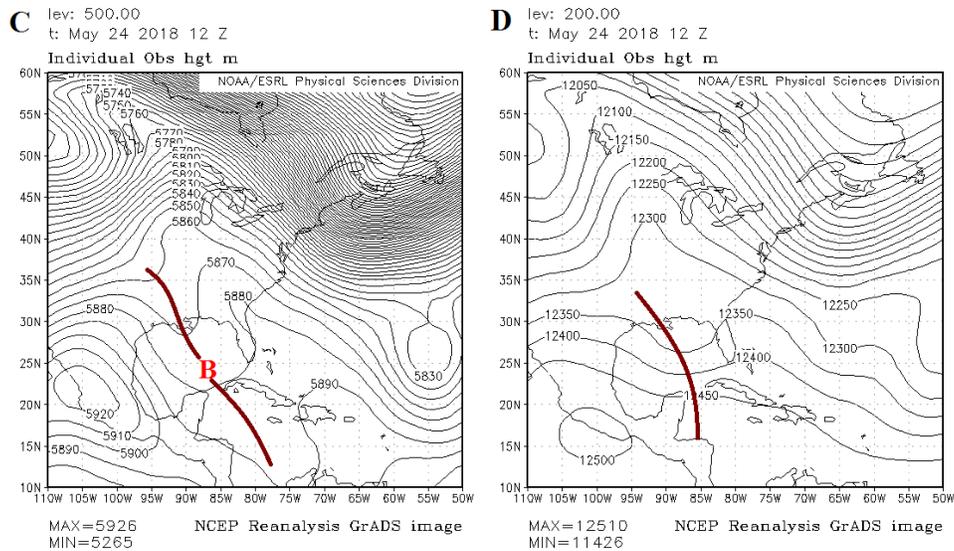
intensidad, sin embargo, su posición no varió significativamente. La vaguada superior se mantuvo oscilando entre el este del golfo de México y la península de Yucatán hasta el oeste de Cuba y el Caribe occidental, con eje orientado fundamentalmente de noroeste a sudeste como muestra la **figura 1B**. La difluencia superior generada por este sistema favoreció los movimientos verticales ascendentes en la tropósfera baja, incentivando el desarrollo de la convección. Estas condiciones propiciaron la formación sobre el golfo de Honduras de una vaguada en superficie desde el día 18 y de un amplio centro de bajas presiones a partir del 20.



**Figura 1:** Mapa sinóptico de geopotencial del nivel de 200 hPa A LAS 1200 UTC del: A) 10 de mayo de 2018, B) 20 de mayo de 2018.

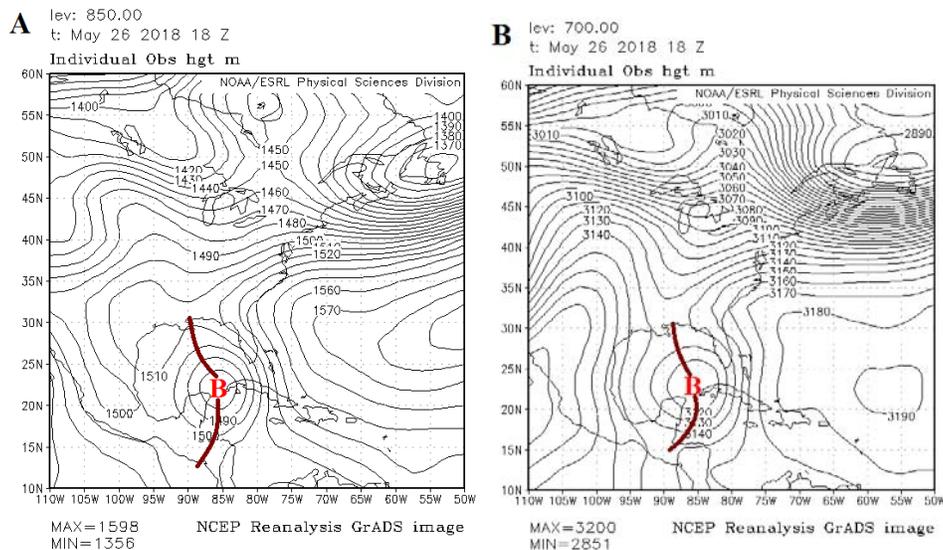
Para el día 22 se apreciaba circulación cerrada en niveles bajos en el área del golfo de Honduras y hasta los niveles medios a partir del 24. Sin embargo, el centro en los 500 hPa, se encontraba desplazado hacia el norte con respecto a la tropósfera baja (**figura 2**).

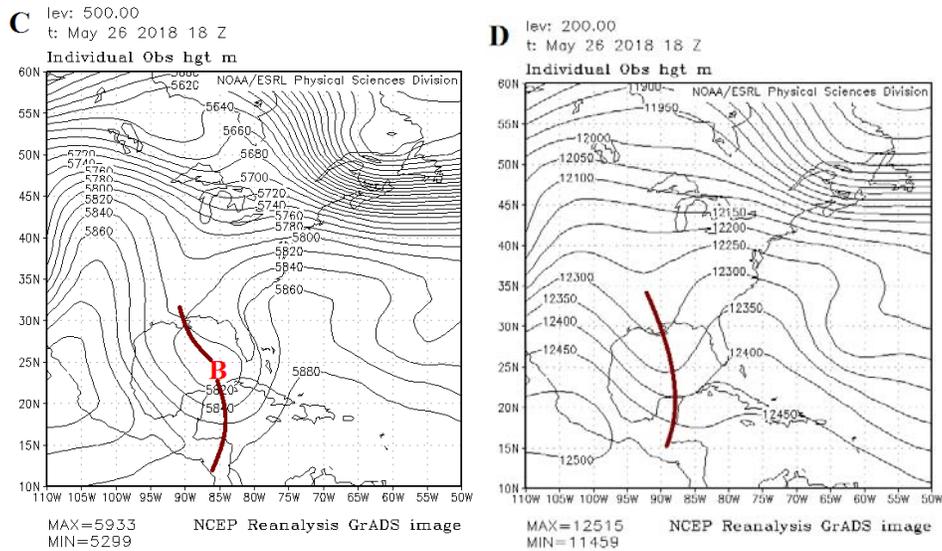




**Figura 2: Mapas sinópticos de geopotencial del 24 de mayo de 2018 (1200 UTC) de los niveles: A)850, B)700, C)500 y D)200 hPa**

El día 25 se formó la DS Alberto al este de Yucatán, mostrando un centro de bajo valor geopotencial como representación hasta los 500 hPa, mientras que en la tropósfera alta la vaguada se encontraba extendida sobre el este del golfo de México. Al día siguiente la depresión se convierte en TS, ubicada al este de la vaguada superior y mostrando similar posición del centro de circulación en la tropósfera baja y media (**figura 3**).

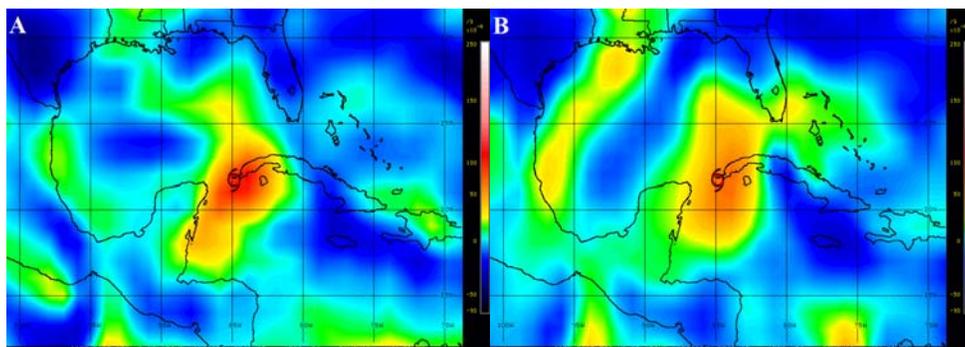


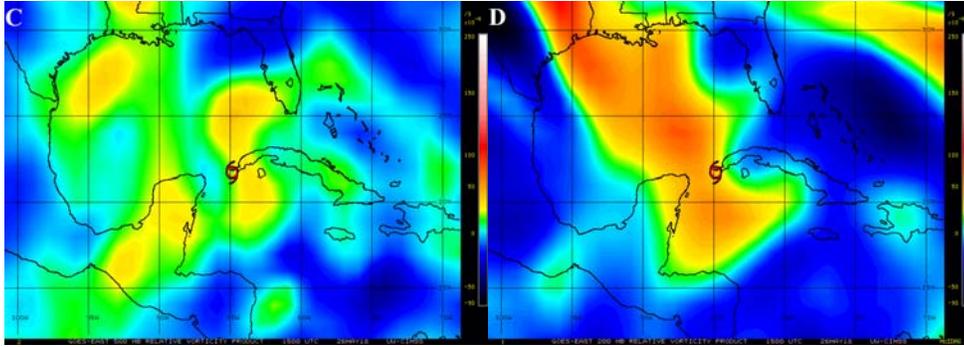


**Figura 3: Mapas sinópticos de geopotencial del 26 de mayo de 2018 (1800 UTC) de los niveles: A)850, B)700, C)500 y D)200 hPa**

**Vorticidad**

Durante gran parte del estadio de CS, la vorticidad relativa se mantuvo con valores entre 50 y 100 x 10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup> en niveles bajos, mostrando un patrón más o menos simétrico alrededor de la posición del sistema, asociado con la presencia del centro de bajo geopotencial (**figura 4 A y B**). En los 500 hPa la vorticidad relativa fue ligeramente superior a 50 x 10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>, dentro de una elongada área que se encontraba al este de la TS (**figura 4 C**). El área de mayor vorticidad estaba ligeramente al este de la localización del centro de bajo geopotencial de este nivel, coincidiendo significativamente con el área donde se encontraba la convección profunda. En los 200 hPa la vorticidad ciclónica se localizaba al oeste o muy próxima al sistema, a lo largo de una estrecha pero extensa zona extendida desde el sur de los EE. UU hasta la península de Yucatán y el Caribe occidental (**figura 4 D**). La misma estuvo relacionada con el eje de la vaguada superior, mostrando valores superiores a 50 x 10<sup>-6</sup> s<sup>-1</sup>.

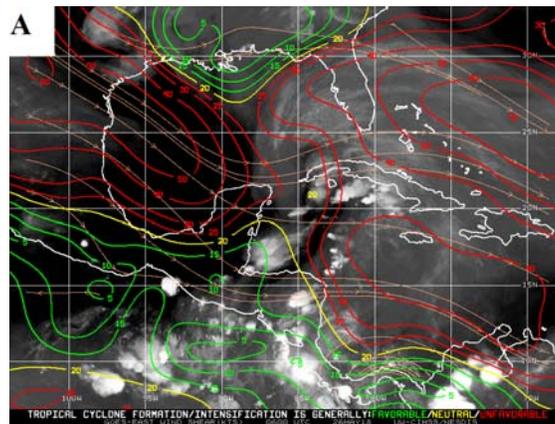




**Figura 4: Vorticidad relativa generada para el 26 de mayo de 2018 (1500 UTC) en los niveles: A) 850 hPa, B) 700 hPa, C) 500 hPa y D) 200 hPa**

#### *Cizalladura vertical del viento*

La presencia de la vaguada superior generó un ambiente de elevada cizalladura vertical del viento sobre el este del golfo de México y el Caribe occidental. El valor de la cizalladura fue superior a 15 m/s hasta el día 26 (**figura 5**), y aunque disminuyó posteriormente, se mantuvo muy próximo a los 10 m/s. Estos resultados concuerdan con los señalados por diversos autores en relación a la ciclogénesis subtropical (ej.: Guishard, 2006; Guishard, Evans & Hart, 2009; González-Alemán et al., 2015).

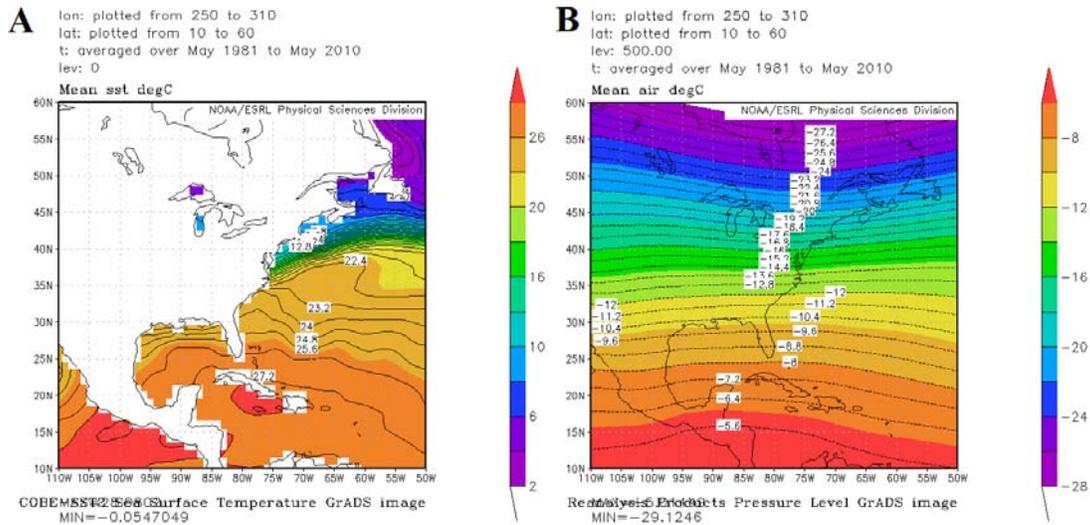


**Figura 5: Cizalladura vertical del viento, 26 de mayo de 2018 (0600 UTC).**

#### *Temperatura superficial del mar y temperatura del aire en los 500 hPa*

La TSM alrededor del golfo de Honduras y el noroeste del Caribe se mantuvo entre 28 y 29 °C desde el día 20 hasta el 25, mientras que la temperatura del aire en los 500 hPa osciló entre -5 °C y -6 °C en ese mismo período, experimentando un descenso de un grado en ambas temperaturas a partir del día 26. Este comportamiento propició que la diferencia de temperatura entre estos niveles persistiera entre los 33 y 35 °C durante el período analizado, para un promedio de 34 °C. El resultado obtenido se corresponde con el encontrado por Guishard et al. (2007) en relación al ambiente en que se origina los CS que afectan a Las Bermudas. A pesar de ello, si se consideran los

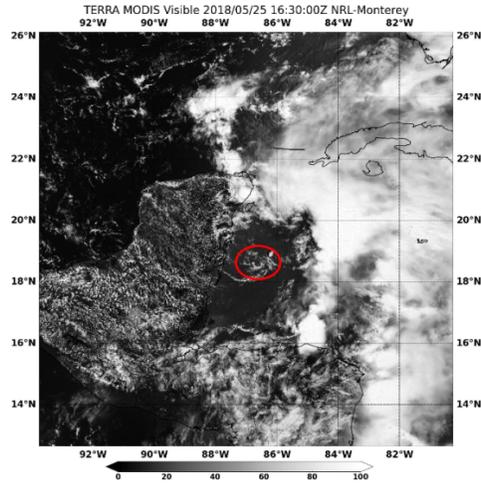
valores medios de la temperatura del aire en los 500 hPa (**figura 6 A**) y de la TSM (**figura 6 B**) para un mes de mayo, estos varían alrededor de  $\pm 1$  °C con respecto a los encontrados y, por tanto, se mantiene la diferencia de alrededor de 34 °C. Esto sugiere que, a priori, existen las condiciones de inestabilidad, dadas por el significativo gradiente de temperatura entre ambas superficies, para incentivar el desarrollo de la convección profunda sobre el Caribe occidental y el este del golfo de México. Solo falta la presencia de un mecanismo o sistema sinóptico capaz de producir el ascenso de las masas de aire necesario para la formación de la nubosidad convectiva.



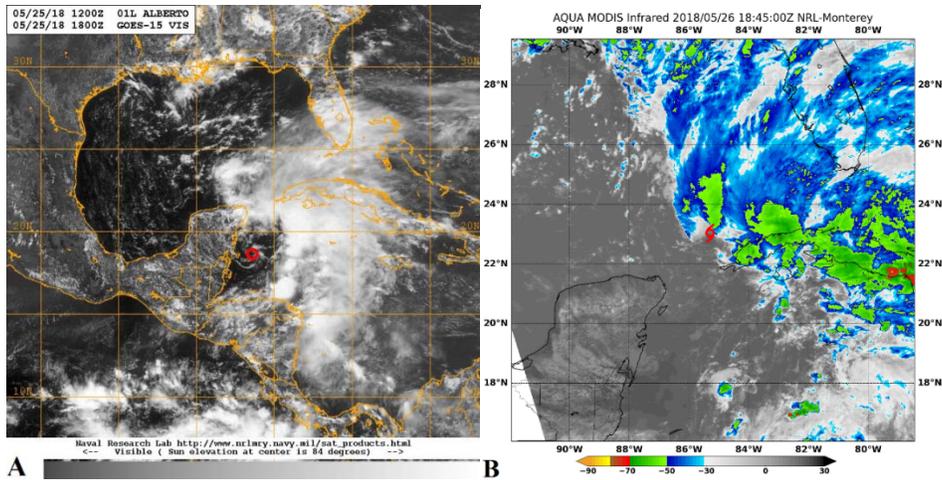
**Figura 6: Valor medio para el mes de mayo de: A) Temperatura del aire en 500 hPa, B) TSM**

### *Imágenes de satélite*

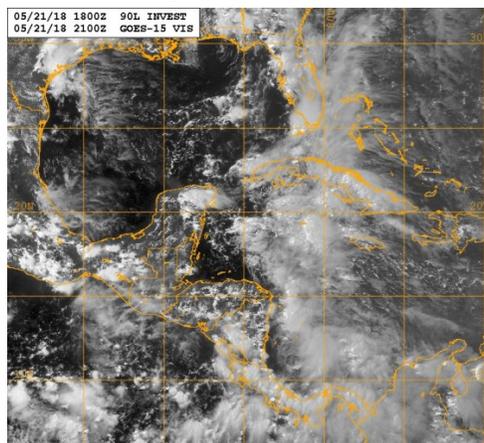
En las imágenes de satélite del día 25 se pueden distinguir fácilmente las características y patrones asociados con los CS, según Herbert & Potat (1975). En la **figura 7** se observa el centro de circulación del sistema expuesto, definido por un vórtice de nublados bajos de poco a moderado desarrollo vertical. Estas particularidades son comunes para organismos ciclónicos que se encuentran bajo un ambiente de moderada a fuerte cizalladura vertical del viento. Los nublados en capas y convectivos se sitúan hacia el norte y al este del centro, además tiene una extensión de alrededor de  $15^\circ$ , como se aprecia en la **figura 8 A y B**. Estos autores también argumentan que es común que los CS permanezcan conectados a otros sistemas, en este caso, Alberto se encontraba conectado a una banda de nublados en capas y convectivos que previamente existía sobre Cuba y el Caribe occidental, como muestra la **figura 9**.



**Figura 7: Imagen de satélite visible en la que se observa el centro expuesto de la DS Alberto**



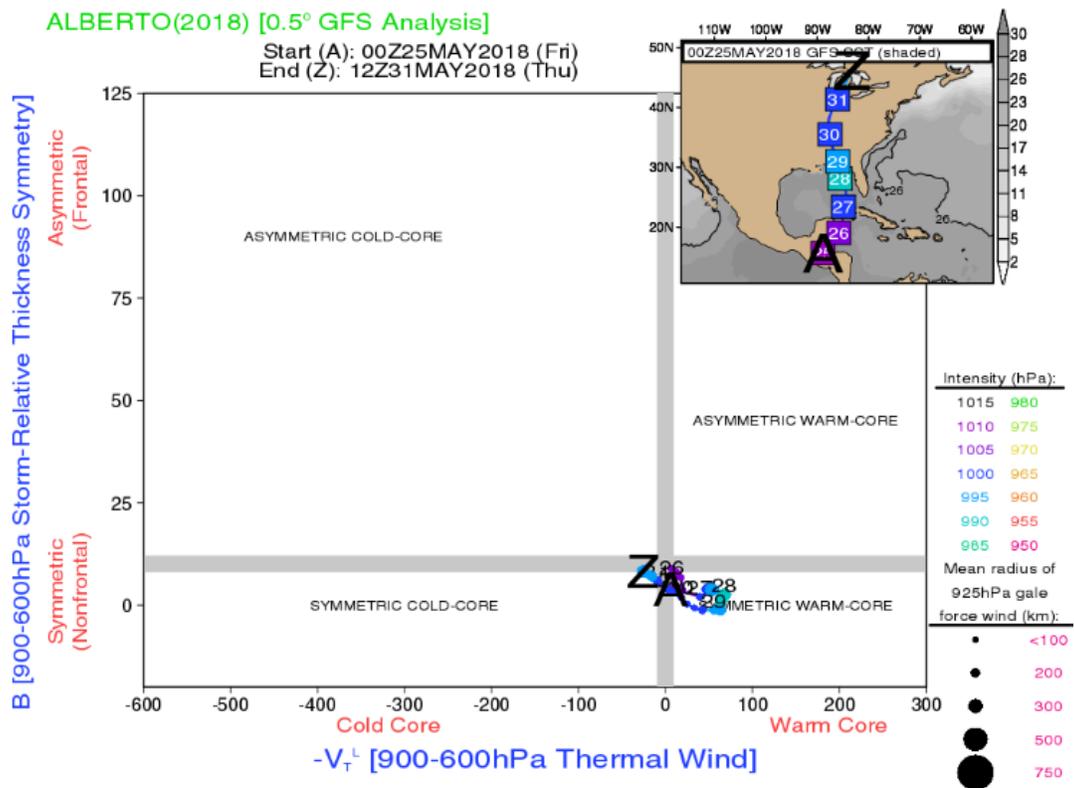
**Figura 8: Imágenes de satélite: A) visible como DS y B) infrarroja como TS. En ambas se observa la nubosidad hacia el lado norte y este del centro del sistema**



**Figura 9: Imagen de satélite visible, 21 de mayo de 2018 2100 UTC. Una extensa banda de nublados en capas se extiende sobre el Caribe occidental y Cuba, incluso al norte de este archipiélago**

### Diagramas de fase

Tanto los diagramas de fase realizados a partir del re-análisis de los sistemas de asimilación utilizados, como los elaborados con el análisis del modelo GFS, muestran resultados similares en cuanto a la baroclinicidad del entorno. En los mismos se evidencian valores relativamente bajos de la asimetría térmica en la tropósfera inferior durante todo el período analizado, lo que sugiere una estructura simétrica o no frontal del sistema en cuestión (**figura 10**). Adicionalmente, solo el día 31 de mayo, los diagramas correspondientes a ERA5, ERAI y GFS, se sitúan en el límite de ambas categorías (no frontal/frontal). Otra propiedad que se manifiesta es la presencia de un núcleo cálido en la baja tropósfera y, teniendo en cuenta la simetría del sistema, las características que posee permiten clasificarlo tanto como un CT como CS. Sin embargo, a través del segundo diagrama de fase, que considera la estructura térmica del núcleo en toda la columna troposférica, es posible llegar a diferenciar el tipo de ciclón que se analiza.



**Figura 10: Diagrama de fase de ciclón, TS Alberto, modelo GFS. Asimetría térmica en la tropósfera inferior**

Para el punto inicial de estos diagramas (25/05\_0000 UTC), el este sistema presentó características intermedias entre un núcleo frío profundo y uno cálido superficial, para ERA5, GFS y MERRA2. Posteriormente, adquirió una estructura híbrida, con un núcleo cálido en la baja tropósfera y uno frío en la tropósfera superior (**figura 11**). Teniendo entonces en cuenta el criterio de Hart (2003), las



## Agradecimientos

Al Dr. Robert Hart de la Universidad Estatal de Florida por facilitarme los diagramas de fase de ciclón. A la Mtr. Alis Varela del Centro de Pronósticos del Tiempo, INSMET, por sus oportunas y válidas sugerencias.

## Bibliografía

**Bentley, A. M., et al., (2016)** *A dynamically based Climatology of Subtropical Cyclones that undergo tropical transition in the North Atlantic basin*. Monthly Weather Review, **144**, 2049-2068, doi:10.1175/MWR-D-15-0251.1

**Berg, R., (2018)** *Tropical Storm Alberto (AL012018)*. National Hurricane Center Tropical Cyclone Report, NHC, 44 pp., disponible en: [https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL012018\\_Alberto.pdf](https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL012018_Alberto.pdf)

**Bustamante, V., (2018)** *Alberto quiso superar a Flora*. Artículo publicado en la edición digital del periódico *Trabajadores*, el 3 de junio de 2018, disponible en: <http://www.rabajadores.cu/20180603/alberto-quiso-superar-a-flora/>

**Evans, J. L. & Guishard, M. P., (2004)** *A proposed potential vorticity mechanism for subtropical cyclogenesis and tropical transition*. 26th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorological Society, P1.90, disponible en: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/75133.pdf>

**Evans, J. L. & Guishard, M. P., (2009)** *Atlantic Subtropical Storms. Part I: Diagnostic criteria and composite analysis*. Monthly Weather Review, **137**, 2065-2080, doi: 10.1175/2009MWR2468.1

**González-Alemán, J. L., et al., (2015)** *Classification and Synoptic Analysis of Subtropical Cyclones within the Northeastern Atlantic Ocean*. Journal of Climate, **28**, 3331-3352, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00276.1

**Guishard, M. P., (2006)** *Atlantic Subtropical Storms: Climatology and Characteristics*. Doctoral thesis, Department of Meteorology, The Pennsylvania State University, 177 pp.

**Guishard, M. P., et al., (2007)** *Bermuda subtropical storms*. Meteorology and Atmospheric Physics, **97**, 239-253, doi: 10.1007/s00703-006-0255-y

**Guishard, M. P., Evans, J. L. & Hart, R. E., (2009)** *Atlantic Subtropical Storms. Part II: Climatology*. Journal of Climate, **22**, 3574-3594, doi: 10.1175/2008JCLI2346.1

**Hart, R. E., (2003)** *A cyclone phase space derived from thermal wind and thermal asymmetry*. Monthly Weather Review, **131**, 585-616, doi: 10.1175/1520-0493(2003)131<0585:ACPSDF>2.0.CO;2

**Herbert, P. H. & Poteat, K. O., (1975)** *A satellite classification technique for subtropical cyclones*. NOAA Technical Memorandum NWS SR-83, 27 pp.

**McTaggart-Cowan, R., et al., (2013)** *A global climatology of baroclinically influenced tropical cyclogenesis*. Monthly Weather Review, 141, 1963-1989, doi: 10.1175/MWR-D-12-00186.1

**Roth, D. M., (2002)** *A fifty year history of subtropical cyclones*. 25th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, American Meteorological Society, P1.43, disponible en: <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/37402.pdf>