

## Condiciones sinópticas asociadas con la génesis, evolución y transición tropical de la Tormenta Subtropical Alberto

### Synoptic conditions associated with genesis, evolution and tropical transition of Subtropical Storm Alberto

Osniel Armas-Forteza <sup>1</sup>\*



<http://opn.to/a/1MrRM>

<sup>1</sup>Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología, Cuba.

**RESUMEN:** Cuba a menudo es azotada por ciclones tropicales, pero la afectación directa de un ciclón 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. Este sistema contribuyó significativamente al acumulado nacional de mayo, calificado como el segundo mayor para cualquier mes del año desde 1961; consecuentemente, tuvo un importante impacto en los recursos hídricos y en la agricultura de Cuba. Es por ello que el presente artículo tiene como objetivo principal analizar la particular situación sinóptica que favoreció la génesis, evolución y transición tropical de Alberto. Para ello fueron utilizados los mapas sinópticos del campo de viento, así como de las variables: altura geopotencial, temperatura del aire y temperatura superficial del mar. La información disponible se complementó con las imágenes de satélite y los diagramas de fase. Como resultado, 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, generó el 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. Finalmente, el desplazamiento del sistema hacia una región de más débil cizalladura vertical del viento y la persistencia de la convección profunda, favorecieron la transición tropical de Alberto.

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

**ABSTRACT:** Cuba is often hit by tropical cyclones, but the direct impact of a subtropical cyclone had not been previously reported. However, in May 2018, the western and central regions of the Cuban archipelago experienced the influence of heavy rainfall, associated with the subtropical storm Alberto. This system contributed significantly to the national accumulated of May, qualified as the second largest for any month of the year since 1961; consequently, it had an important impact on water resources and agriculture in Cuba. Therefore, this article has as main objective to analyze the particular synoptic situation that favored Alberto's genesis, evolution, and its tropical transition. For this purpose, there were used the synoptic maps of wind field, as well as the variables: geopotential height, air temperature, and sea-surface temperature. The available information was complemented with satellite images and phase diagrams. As a result, it was evidenced that the intrusion of an upper trough in the westerlies and its permanence over the southeast of the Gulf of Mexico and the western Caribbean, generated the 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 condition of instability 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.

**Key words:** subtropical storm, upper trough, vertical wind shear.

\*Autor para correspondencia: Osniel Armas-Forteza. E-mail: [osniel.armas@insmet.cu](mailto:osniel.armas@insmet.cu)

Recibido: 06/12/2019

Aceptado: 05/01/2020

## 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](#)).

Un CS es definido como un sistema de bajas presiones no frontal que tiene características de ambos ciclones, tropical y extra-tropical. Como los CT, son sistemas de escala sinóptica no frontales, que se originan sobre aguas tropicales o subtropicales, y que poseen una circulación cerrada en superficie cerca de un centro bien definido. Adicionalmente, tienen organizada y de moderada a profunda convección, pero carecen de una cubierta densa central (CDO, por sus siglas en inglés). A diferencia de los CT, los CS obtienen una significativa porción de su energía de fuentes baroclínicas y son generalmente de núcleo frío en la tropósfera superior, estando a menudo asociado con una baja o vaguada de niveles altos. En comparación con los CT, estos sistemas generalmente tienen un radio de vientos máximos que se extiende relativamente más lejos del centro (usualmente mayor a 60 millas náuticas, equivalente a 111 km), además poseen una distribución menos simétrica del campo de vientos y de la convección. Mientras que, una TS es un CS en el cual la intensidad de los vientos máximos

sostenidos (media en 1 min) es de 34 nudos (63 km/h) o más ([OFCM, 2019](#)).

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores, es evidente que, 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). Otro aspecto que le atribuye mayor atención es el hecho del potencial que poseen estos organismos para convertirse en CT mediante el proceso de transición tropical ([Davis & Bosart, 2003](#); [González-Alemán, et al., 2016](#)), tal y como llegó a ocurrir con esta TS en el nordeste del golfo de México. 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 génesis y evolución 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. Esta situación se produce con la intrusión de una vaguada de los oestes de latitudes medias en la zona tropical; también con la permanencia de un viejo sistema frontal o una baja fría sobre aguas relativamente cálidas, como las que transporta la corriente del golfo, próxima a la costa oriental de los EE. UU (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 existencia de un núcleo cálido en la tropósfera inferior y un núcleo frío en la tropósfera superior, 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 los CS, 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.

Mientras que para determinar el origen distinguen tres patrones principales: banda frontal (típica estructura nubosa), al este de una vaguada superior (conglomerado convectivo nuboso amorfo) y baja fría (patrón nuboso circular con convección limitada cerca del centro).

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.

Las características antes expuestas demuestran la compleja estructura y dinámica de los CS. Además, aún en los más recientes estudios realizados sobre estos organismos, no se evidencia una bien elaborada relación de todos los factores y mecanismos que favorecen su formación, tan amplia y precisa como la que gira entorno a los CT. Sin embargo, ya se han reconocido varios elementos claves que están estrechamente vinculados con los procesos de formación y desarrollo de los mismos.

## 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, durante su desarrollo hasta alcanzar la categoría de TS y además su proceso de transición tropical. 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, con el criterio de  $-|V_T^L| > -10$  y  $-|V_T^U| < -10$ . Es

importante señalar que para  $B \gg 0$  el entorno es muy baroclínico y viceversa.

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).

Entre las principales ventajas de los diagramas de fase se encuentra la posibilidad de ser generados en tiempo real a partir de los sistemas o modelos numéricos de predicción operativos y de investigación, como los anteriormente enunciados. También es evidente su utilidad para anticipar cambios de fase, especialmente las transiciones extra-tropical y subtropical. Sin embargo, los mismos dependen de la calidad de los análisis y predicciones de los modelos utilizados, además, hay que tener en cuenta que no pueden explicar absolutamente todos los aspectos relativos al desarrollo ciclónico. De ahí que se hace necesario la utilización de otras herramientas que sirvan de complemento en la presente investigación.

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. Información complementaria fue aportada por los mapas sinópticos de superficie y de los niveles 850, 700, 500 y 200 hPa, elaborados en el Centro de

Pronósticos del Tiempo (CPT) del Instituto de Meteorología (INSMET).

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>. De esta forma se pudo comparar los valores medios de estas dos variables con respecto a los que se presentaron durante la génesis y desarrollo de la TS Alberto.

Productos de satélite como la vorticidad en los niveles 850, 700, 500 y 200 hPa, así como 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.

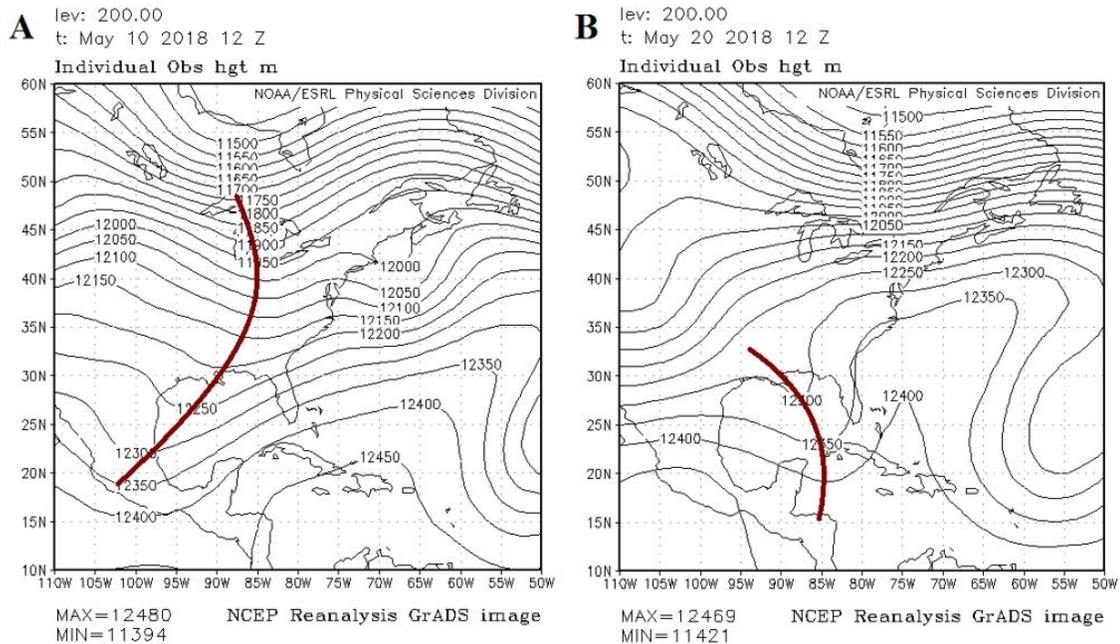
Para el día 22 se apreciaba circulación cerrada en niveles bajos en el área del golfo de Honduras y hasta los niveles medios a partir del 24. Sin embargo, el centro en los 500 hPa, se encontraba desplazado hacia el norte con respecto a la tropósfera baja ([figura 2](#)).

El día 25 se formó la DS Alberto al este de la península 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 con respecto al centro de circulación de la tropósfera baja y media ([figura 3](#)).

En su desplazamiento hacia el norte, Alberto se situó en la periferia de la circulación de la baja superior, específicamente en el sector superior derecho. Para entonces (28 de mayo), se produjo la tropicalización del sistema, convirtiéndose en TT Alberto a las 0000 UTC de ese día ([figura 4](#)).

### Vorticidad

Durante gran parte del estadio de CS, la vorticidad relativa se mantuvo con valores entre 50 y  $100 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  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 5A y B](#)). Mientras que llegó a ser superior a  $150 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  para cuando se produjo el proceso de transición tropical. En los 500 hPa la vorticidad relativa fue



**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.

ligeramente superior a  $50 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , dentro de una alargada área que se encontraba al este de la TS ([figura 5C](#)). 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. Horas previas y durante la formación de la TT Alberto, esta zona de altos valores de vorticidad se acopló con el sistema y llegó a ser superior a  $150 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ , similar a lo ocurrido en los niveles bajos. 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 5D](#)). La misma estuvo relacionada con el eje de la vaguada superior, mostrando valores superiores a  $50 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  y se extendió hacia las cercanías del sistema cuando este se convirtió en TT.

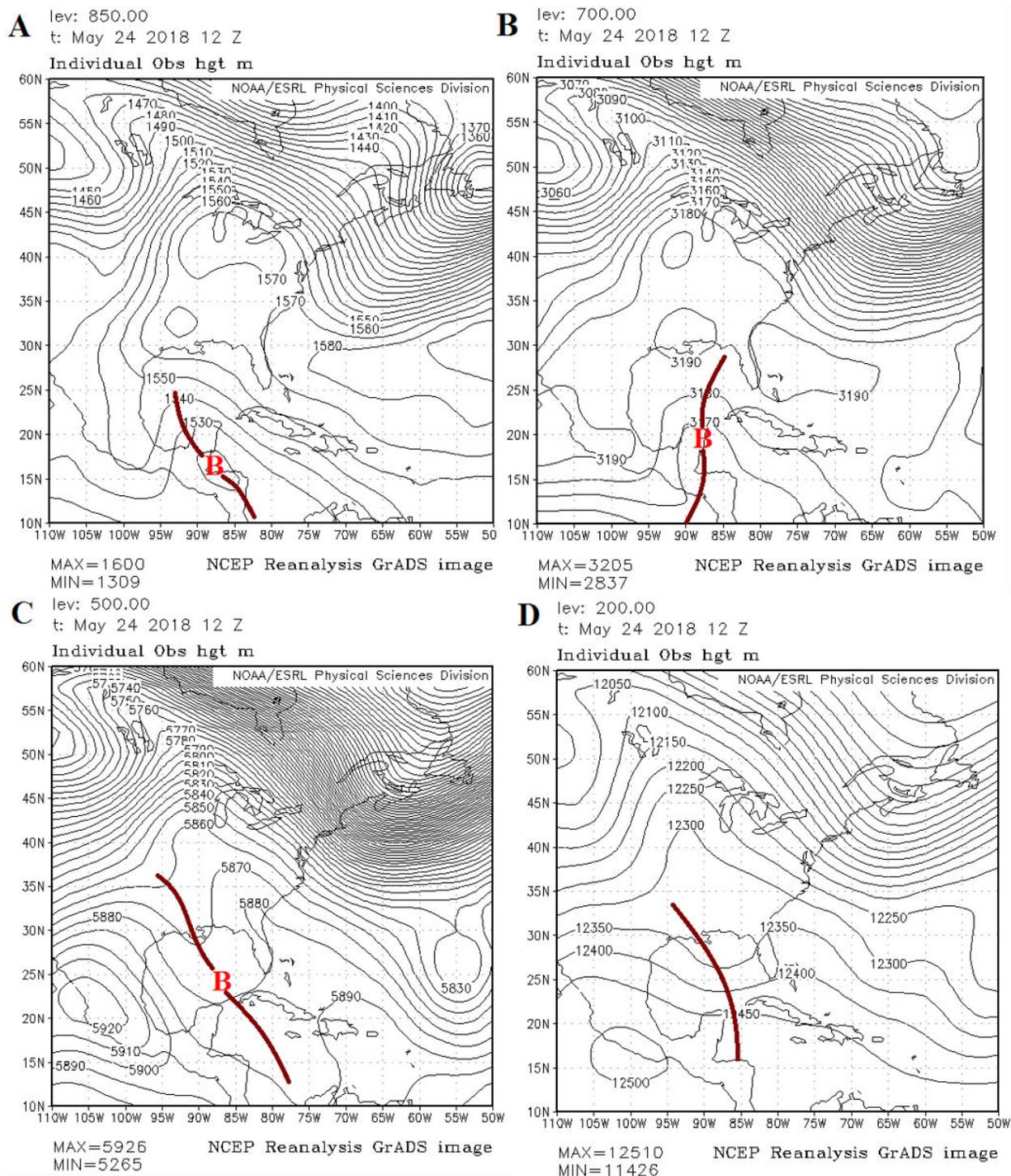
Entre los cambios más importantes en la vorticidad, asociados con la TS Alberto, está el incremento en su intensidad durante el proceso de transición tropical. Este comportamiento fue muy

evidente en los niveles bajos y medios de la tropósfera, como se ejemplifica en la [figura 6](#). Posteriormente, ya como CT, los valores de la vorticidad se mantuvieron elevados y su distribución fue significativamente mucho más simétrica.

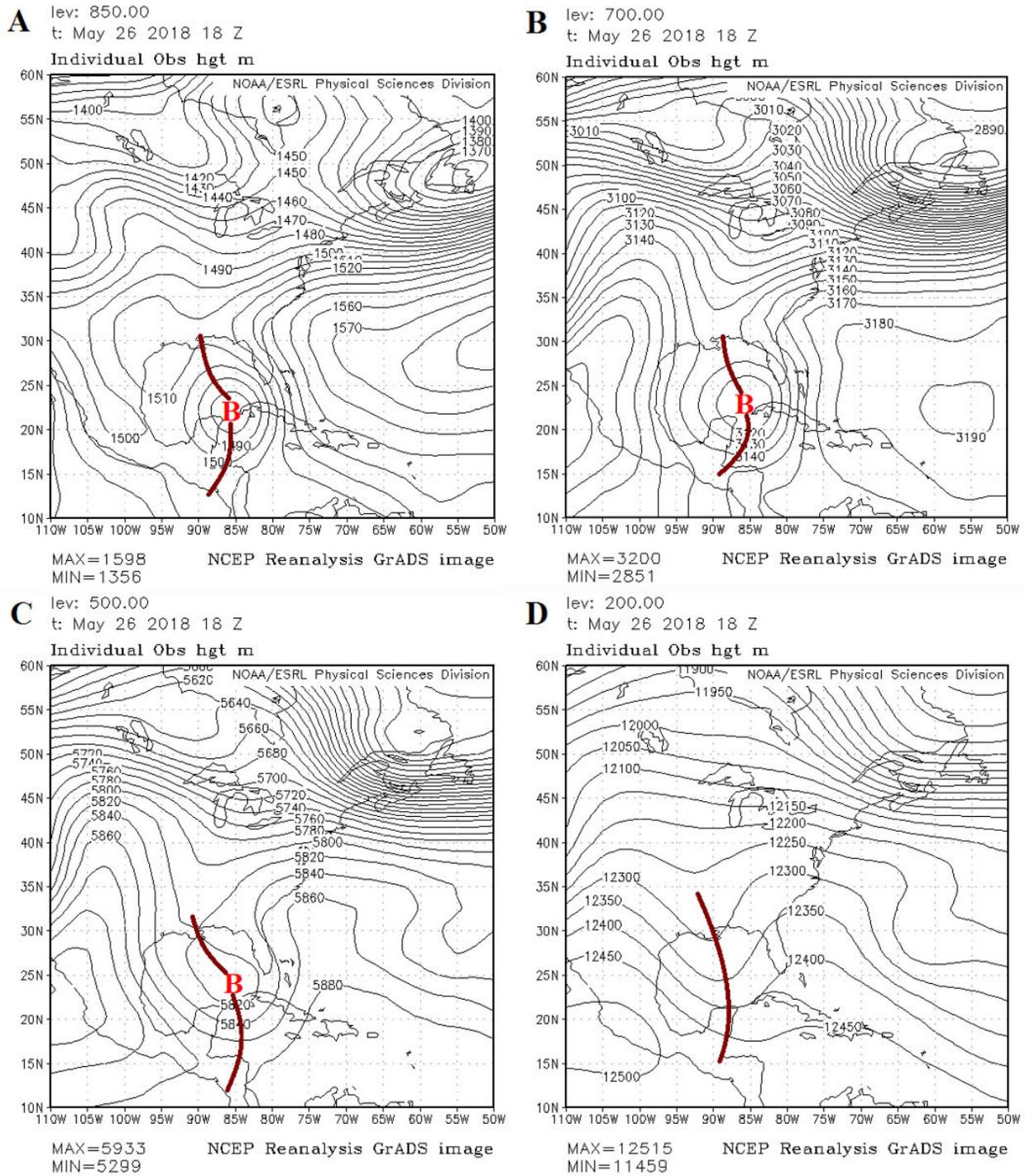
### Cizalladura vertical del viento

El comportamiento de la cizalladura vertical del viento es uno de los elementos fundamentales que interviene en la ciclogénesis, ya sea tropical, subtropical o extra-tropical. Tanto es así que, dependiendo de la intensidad de la misma, se favorece, principalmente, la formación y desarrollo de uno u otro de los ciclones mencionados anteriormente. Esto permite diferenciar que tipo de ciclogénesis sea más probable que se produzca, tan solo con conocer el ambiente de cizalladura vertical del viento bajo el que se encuentra el sistema.

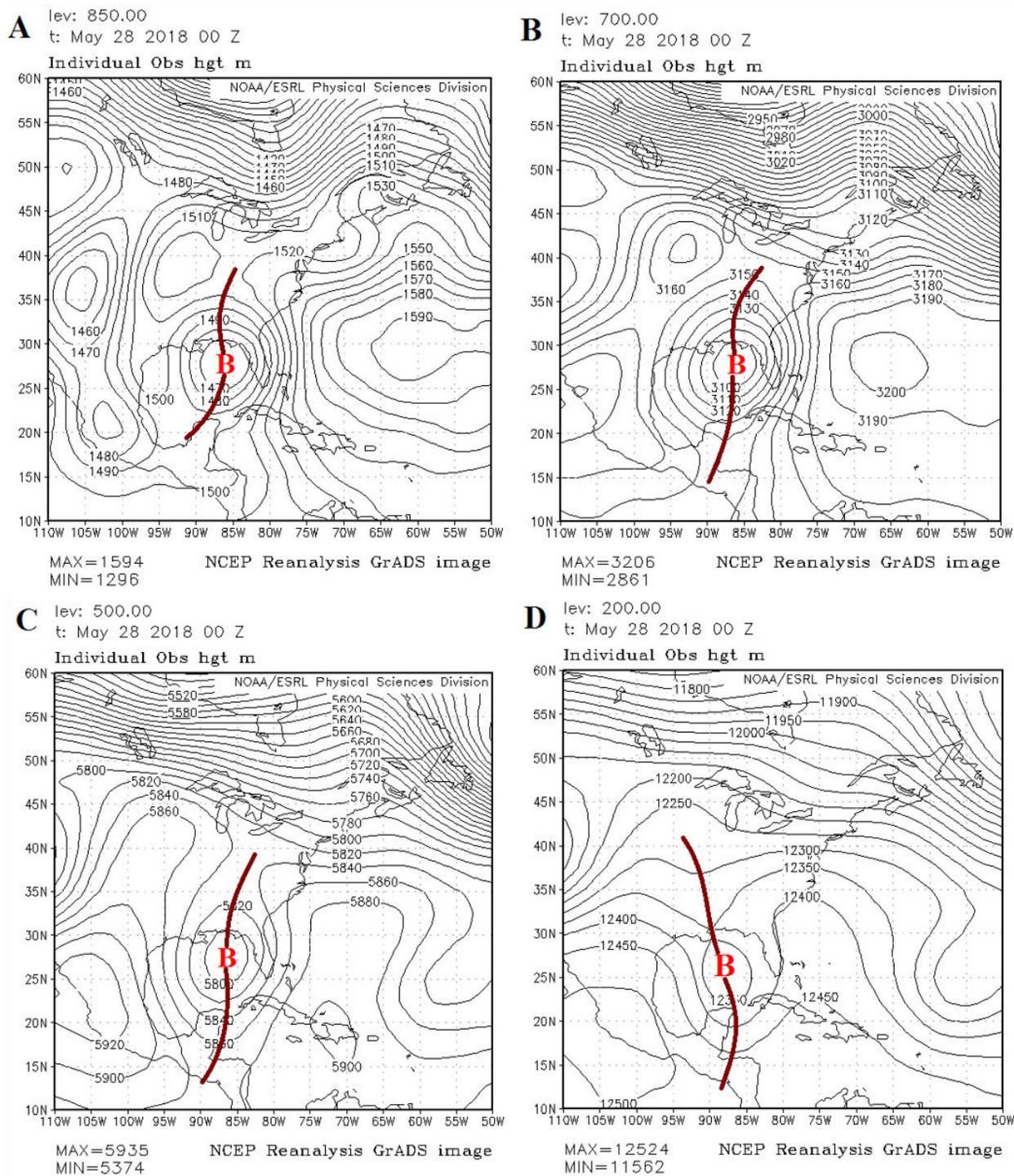
La presencia de la vaguada superior generó un ambiente de elevada cizalladura vertical del viento sobre el este del golfo de México y el Caribe occidental. El valor de la cizalladura fue superior a 15 m/s hasta el día 26 ([figura 7A](#)), y aunque



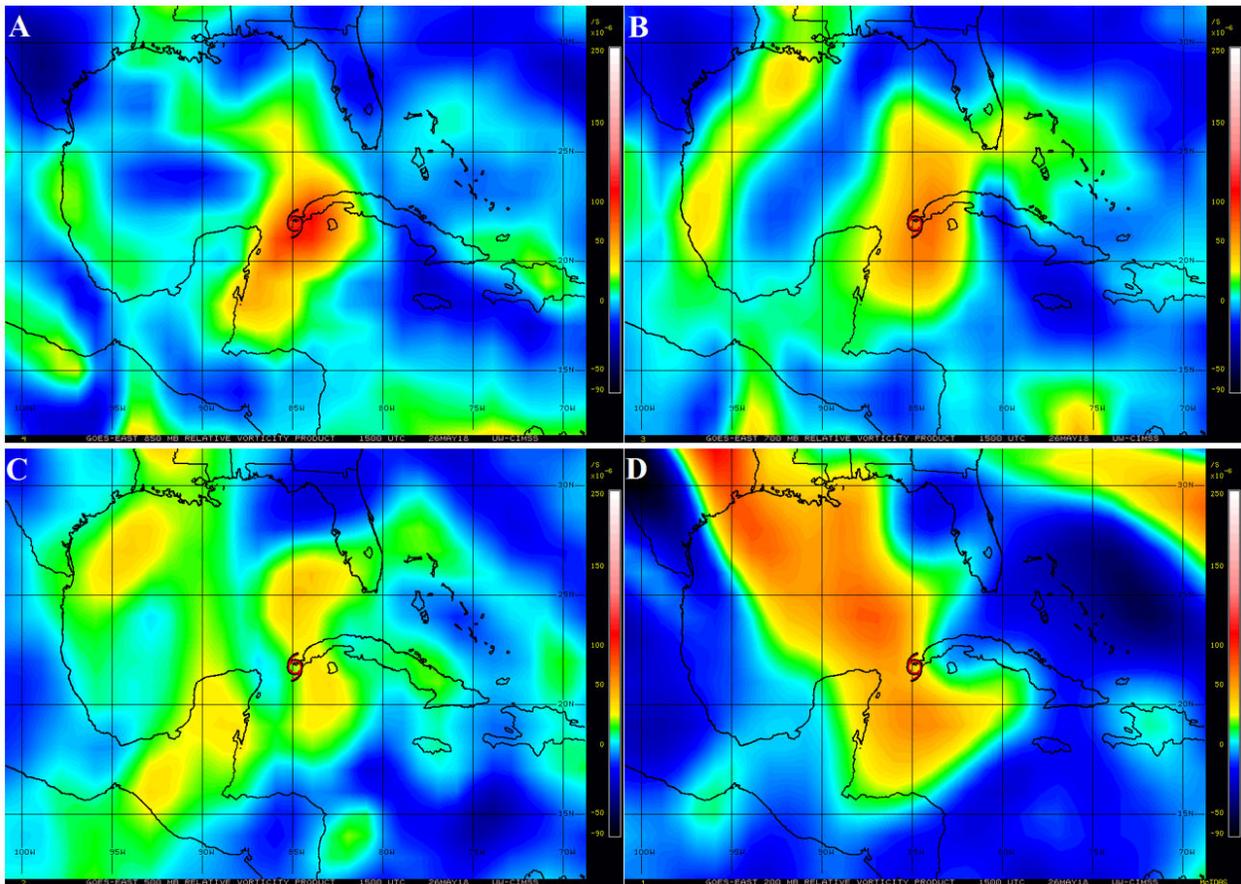
**Figura 2.** Mapas sinópticos de geopotencial del 24 de mayo de 2018 (1200 UTC) de los niveles: A) 850 hPa, B) 700 hPa, C) 500 hPa y D) 200 hPa



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



**Figura 4.** Mapas sinópticos de geopotencial del 28 de mayo de 2018 (0000 UTC) de los niveles: A) 850 hPa, B) 700 hPa, C) 500 hPa y D) 200 hPa

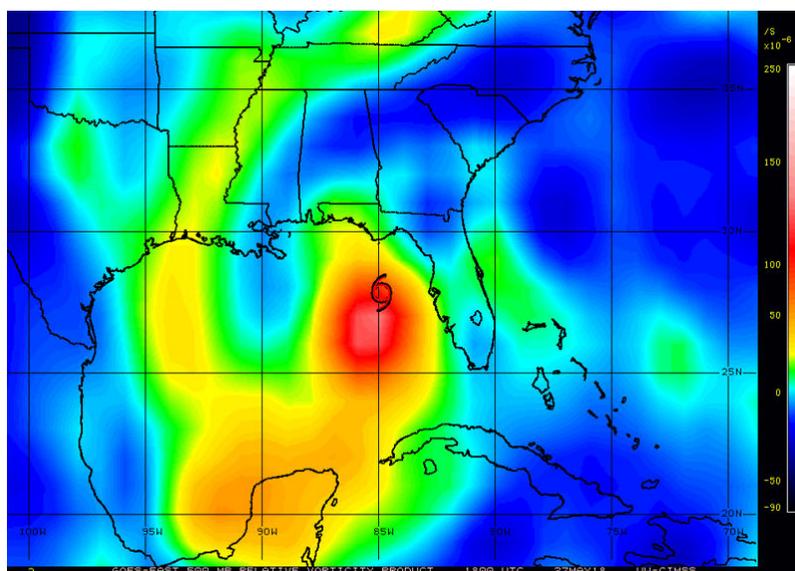


**Figura 5.** Vorticidad relativa generada para el 26 de mayo de 2018 (1500 UTC) en los niveles: A) 850 hPa, B) 700 hPa, C) 500 hPa y D) 200 hPa

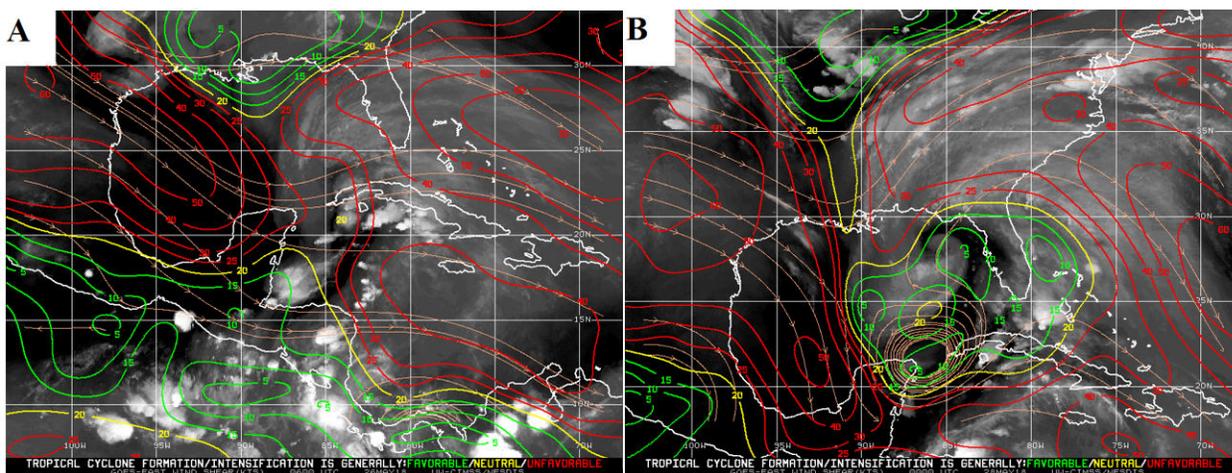
disminuyó posteriormente, se mantuvo muy próximo a los 10 m/s. Estos resultados concuerdan con los señalados por diversos autores en relación a la ciclogénesis subtropical (ej.: [Guishard, 2006](#); [Guishard, Evans & Hart, 2009](#); [González-Alemán et al., 2015](#)). Sin embargo, desde el 28 la cizalladura vertical del viento en una capa profunda disminuyó aún más, de manera que llegó a ser igual o inferior a 10 m/s entorno al sistema ([figura 7B](#)). Para ese entonces se consolida la tropicalización de Alberto, lo que se corresponde con lo planteado por [Evans & Guishard \(2009\)](#), en relación con la cizalladura vertical del viento asociada a la ciclogénesis tropical.

El análisis demuestra que el área de menor cizalladura vertical del viento se fue desplazando hacia el norte, a medida que lo hacía la TS Alberto. Esta área se situó muy próxima al eje de la vaguada

de niveles altos y del centro de bajo valor geopotencial en niveles bajos y medios; también al este de la zona donde la nubosidad poseía mayor desarrollo vertical. [Davis & Bosart \(2003\)](#) y [Guisard \(2006\)](#) sugieren que la persistencia de la convección profunda produce un debilitamiento de la cizalladura vertical del viento. Este proceso se produce porque el transporte vertical de masa que generan las fuertes corrientes ascendentes, asociadas con la convección profunda, influyen directamente en la intensidad y dirección del flujo horizontal en toda la columna troposférica, principalmente en la región hacia donde está dirigido el vector cizalladura. Es por ello que el valor de la cizalladura disminuyó entorno al sistema; primero, por el desplazamiento del mismo cerca de la circulación de la baja superior



**Figura 6.** Vorticidad relativa generada para el 27 de mayo de 2018 en el nivel de 500 hPa, durante la transición tropical de la TS Alberto



**Figura 7.** Cizalladura vertical del viento los días: A) 26 de mayo de 2018 (0600 UTC) y B) 28 de mayo de 2018 (0000 UTC)

anteriormente descrita; y segundo, por el desarrollo de convección profunda alrededor de su centro.

Finalmente, se puede afirmar que hubo un diferenciado comportamiento de esta variable durante el plazo analizado, el cuál favoreció la formación, evolución y transformación de Alberto. Sin lugar a dudas, jugó un papel fundamental en la génesis subtropical y transición tropical del sistema.

### 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 alrededor 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 8A](#)) y de la TSM ([figura 8B](#)) 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.

### 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 9](#) 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°, como se aprecia en la [figura 10A 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 11](#).

Posteriormente, la TS se desplazó hacia una región de más débil cizalladura vertical del viento y, adicionalmente, la persistencia de la convección organizada fue debilitando la intensidad de esta. Consecuentemente y, favoreciendo este mecanismo, se produjo el desarrollo de la nubosidad más cerca de su centro. El proceso anteriormente descrito estuvo estrechamente relacionado con la transición tropical de Alberto, siendo, junto con la presencia de elevados valores de TSM, cuestiones claves para la misma. Como

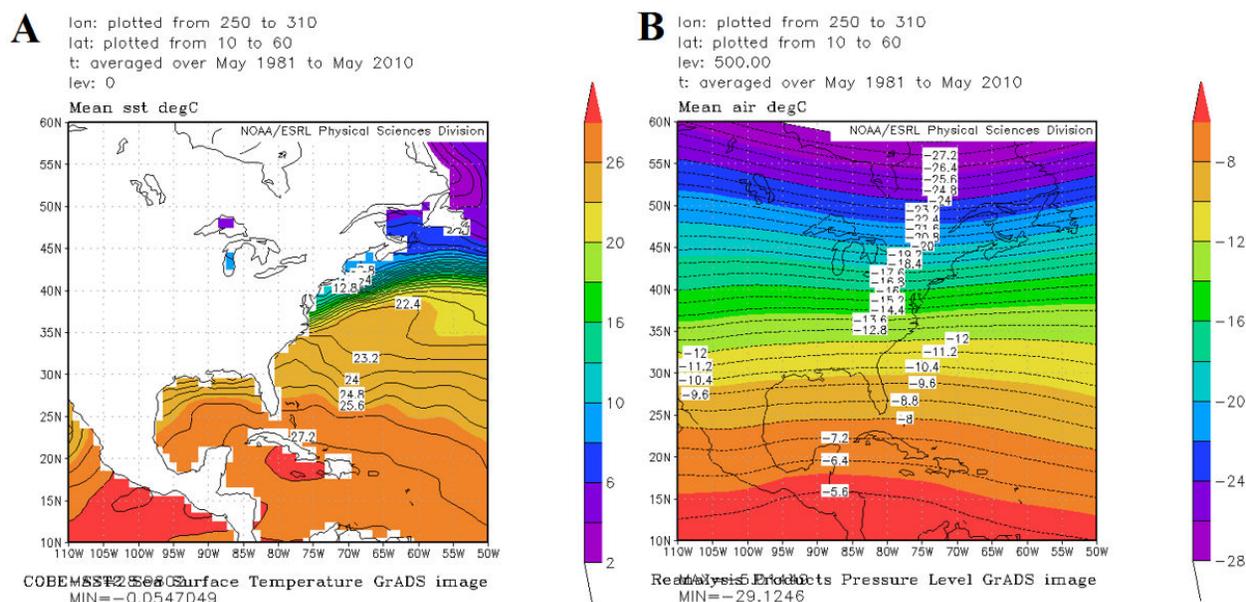


Figura 8. Valor medio para el mes de mayo de: A) Temperatura del aire en 500 hPa, B) TSM

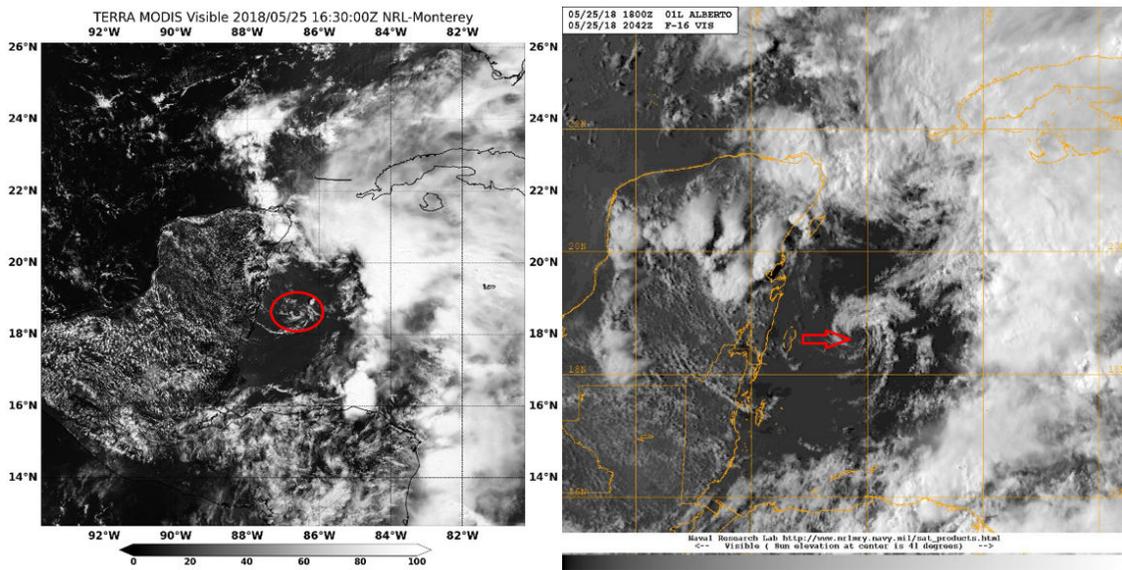


Figura 9. Imágenes de satélite visibles en la que se observa el centro expuesto de la DS Alberto

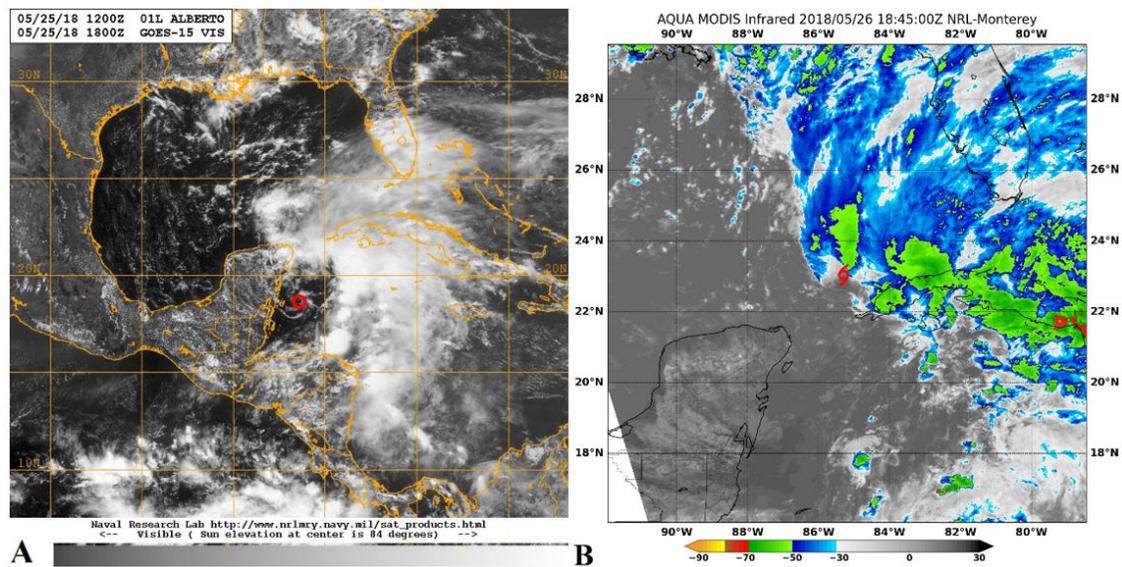


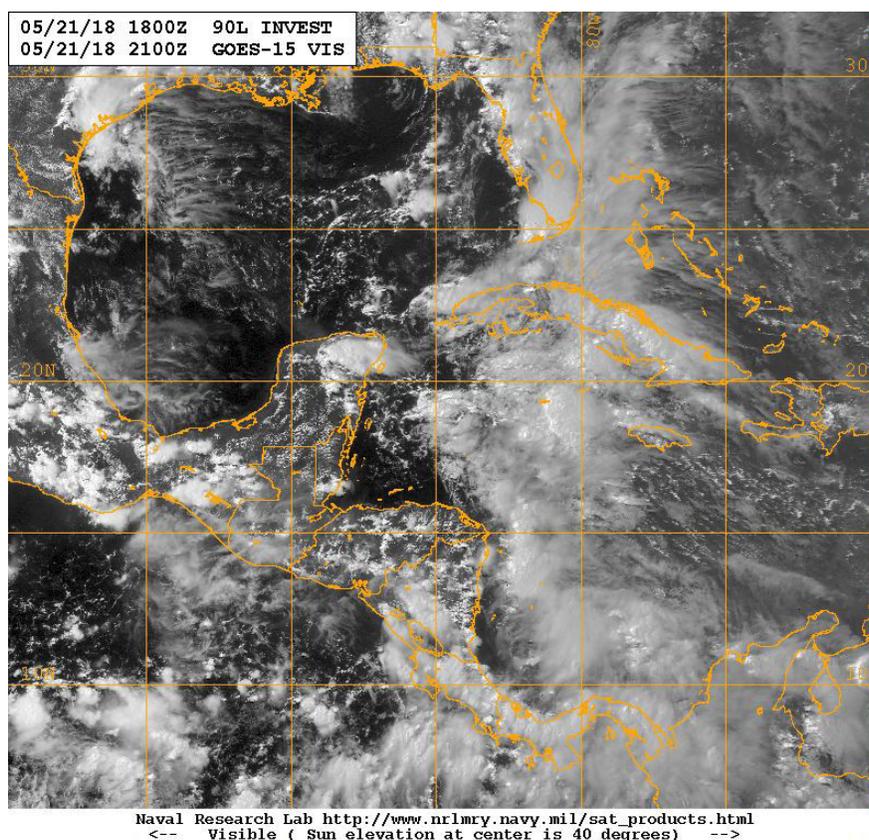
Figura 10. Imágenes de satélite: A) visible como DS y B) infrarroja como TS. En ambas se observa la nubosidad hacia el lado norte y este del centro del sistema

resultado, horas previas a su clasificación como TT, este organismo comenzaba a presentar convección organizada alrededor de su centro (figura 12A). Al punto de ser clasificado como tal, la convección prácticamente se encontraba rodeando al centro (figura 12B). Luego de esta transición, la nubosidad asociada con la TT Alberto se comenzó a separar de la banda de nublados en capas

incentivada por la vaguada superior, como muestra la figura 13A y B.

### Diagramas de fase

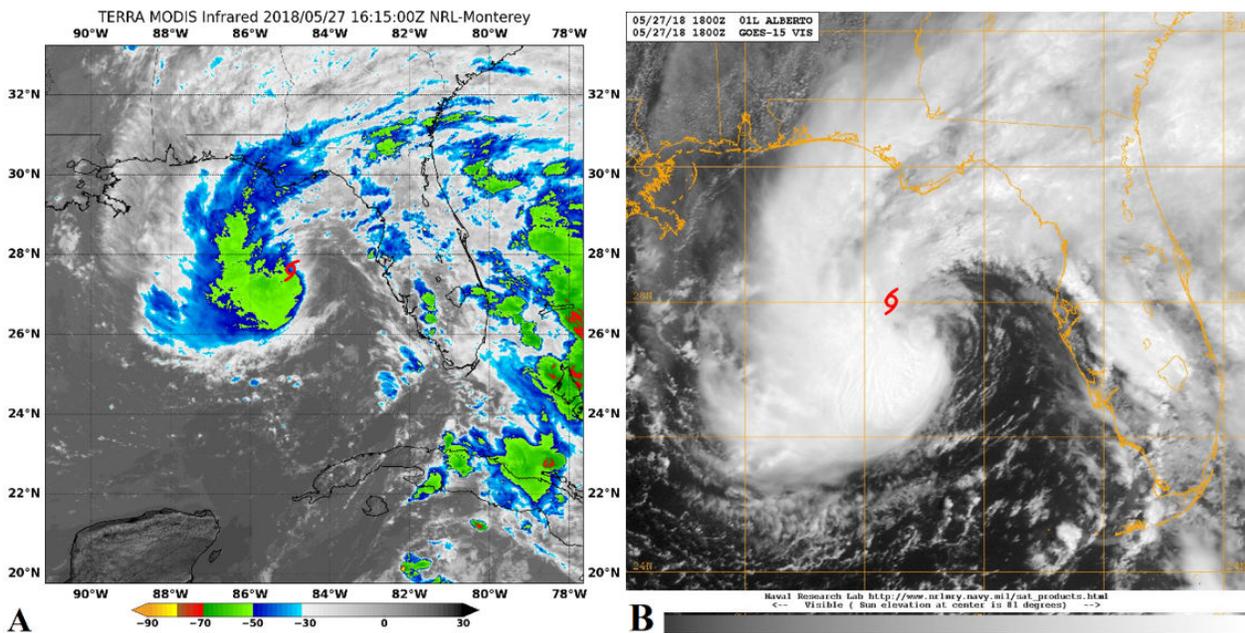
Tanto los diagramas de fase realizados a partir del re-análisis de los sistemas de asimilación utilizados, como los elaborados con el análisis del modelo GFS, muestran resultados similares en



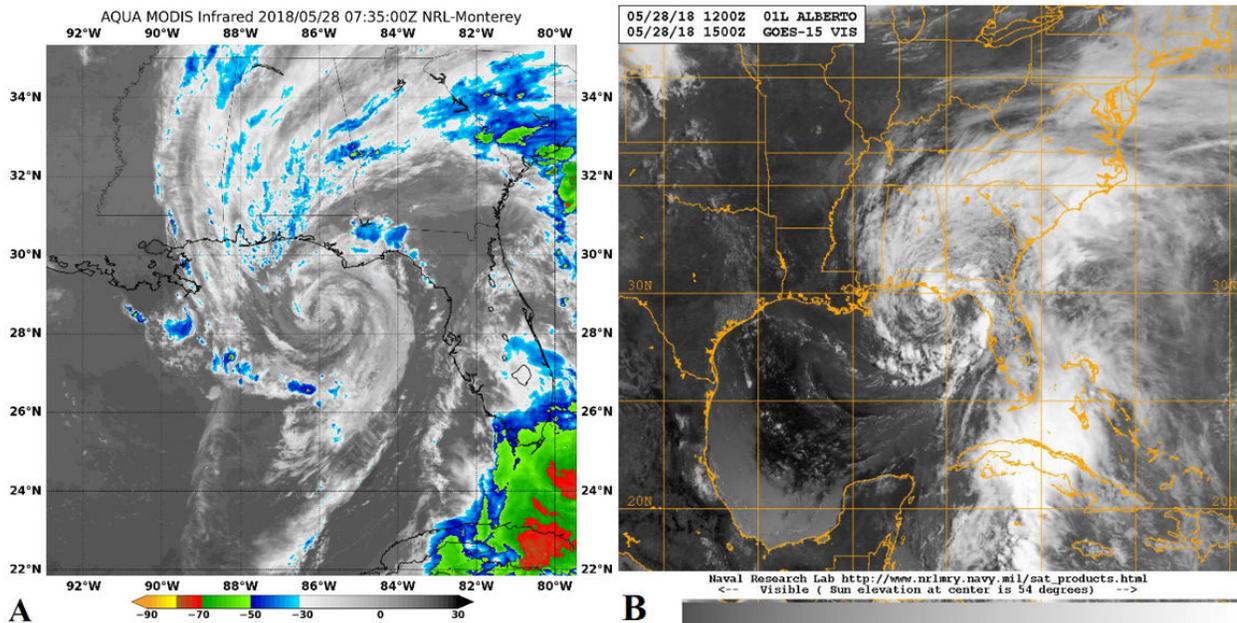
**Figura 11.** Imagen de satélite visible, 21 de mayo de 2018 2100 UTC. Una extensa banda de nublados en capas se extiende sobre el Caribe occidental y Cuba, incluso al norte de este archipiélago

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 14). 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 permitirían 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.

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 15). Teniendo entonces en cuenta el criterio de Hart (2003), los valores de  $-|V_T^L|$  y  $-|V_T^U|$  se corresponde a la de un CS desde el propio 25 de mayo, aun cuando no se cuente con el plazo establecido por el propio autor para clasificarlo como tal. A pesar de ello, se clasificó como DS desde las 1200 UTC del 25 de mayo, teniendo en cuenta las características del patrón nuboso, del campo de viento y de la situación sinóptica.



**Figura 12.** Imágenes de satélite en la que se aprecia moderada convección alrededor del centro del sistema. A) visible, 28 de mayo de 2018, 0000 UTC, Alberto alcanza la categoría de TT; B) infrarroja, 27 de mayo de 2018, 1615 UTC, durante el proceso de transición tropical



**Figura 13.** Imágenes de satélite: A) infrarroja, 28 de mayo de 2018, 0735 UTC; B) visible, 28 de mayo de 2018, 1500 UTC. En ambas se puede distinguir la circulación de la TT Alberto prácticamente independiente al sistema nuboso que se encontraba sobre Cuba

En la [figura 15](#) también se puede apreciar la posterior evolución del sistema. La estructura térmica de su núcleo fue cambiando de manera gradual, de tal forma que se asemejaba significativamente a la que presentan los CT. Es así que desde el 27 de mayo a las 1200 UTC Alberto había adquirido un núcleo cálido hasta los niveles medios; posteriormente este se profundizó en toda

la columna troposférica. La liberación de calor latente de condensación generada por la convección profunda alrededor de su centro, en combinación con el debilitamiento de la cizalladura vertical del viento, favorecieron este proceso. La [figura 16](#) muestra, a manera de ejemplo, la posición más representativa o única de cada tipo de ciclón para los dos diagramas utilizados.

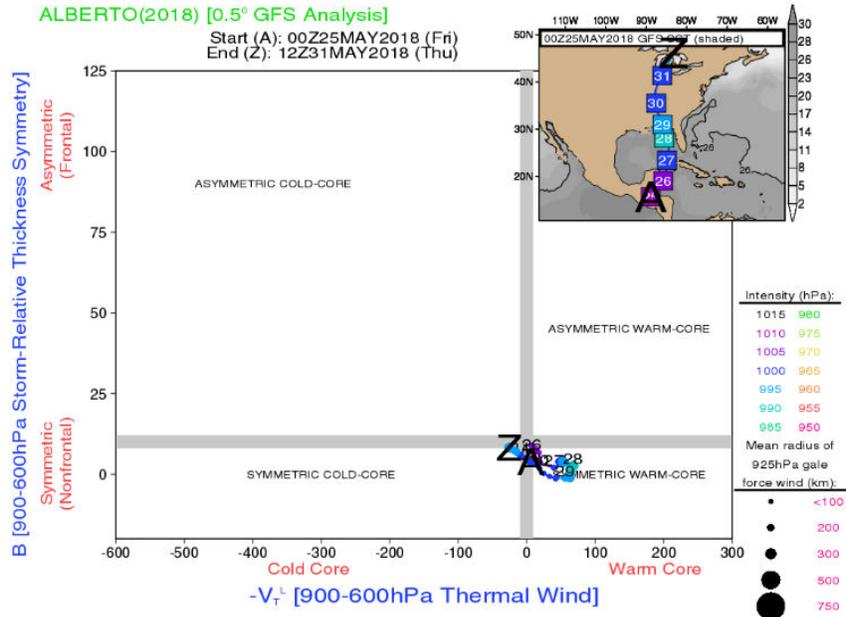


Figura 14. Diagrama de fase de ciclón, TS Alberto, modelo GFS. Asimetría térmica en la tropósfera inferior

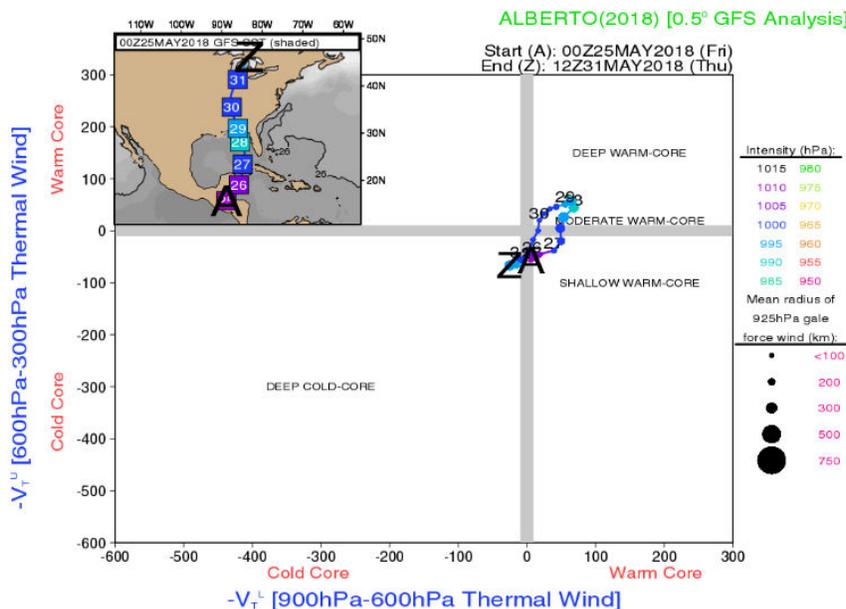


Figura 15. Diagrama de fase de ciclón, TS Alberto, modelo GFS. Estructura térmica de sistema

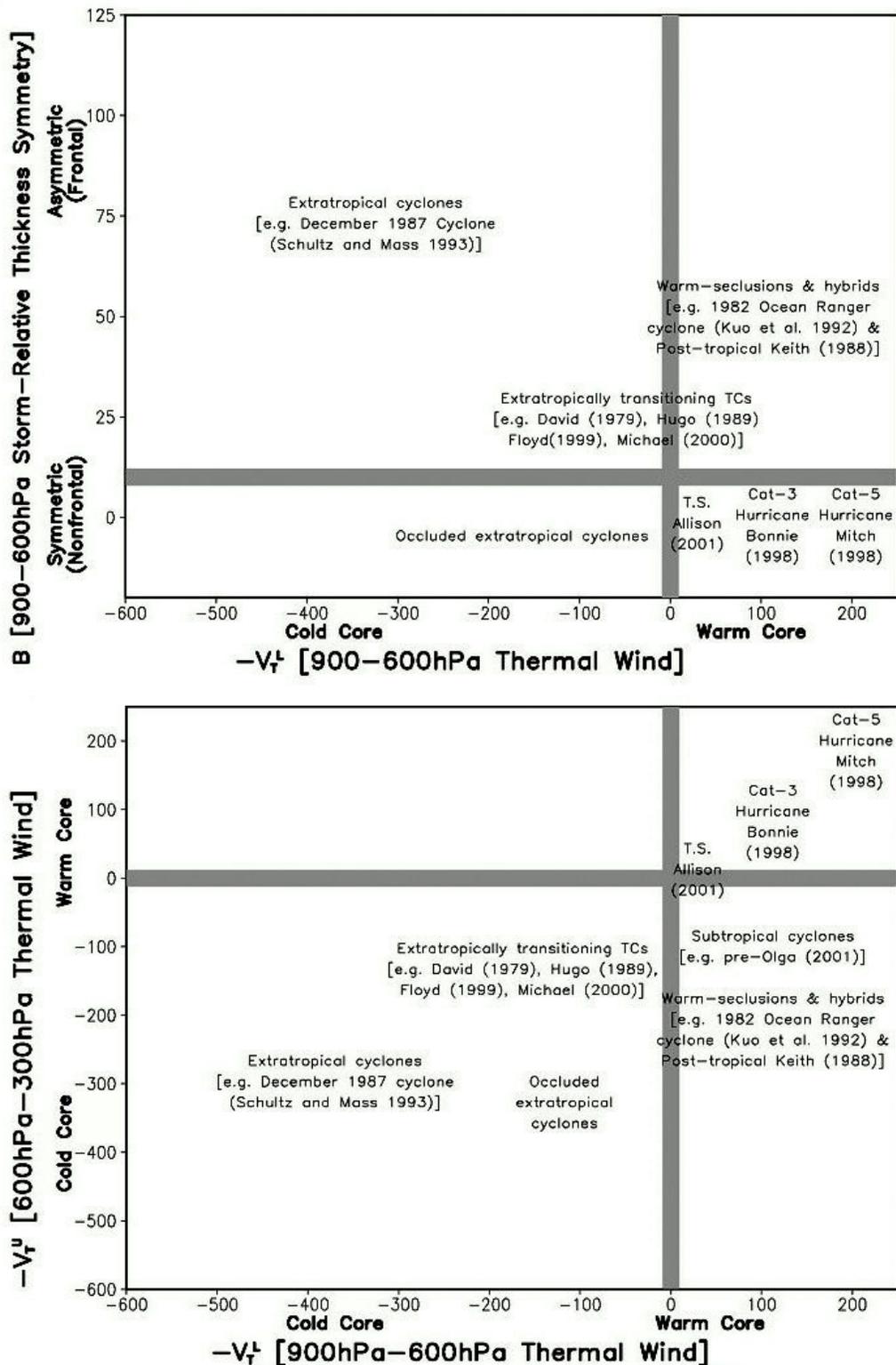


Figura 16. Esquema elaborado por [Hart \(2003\)](#) en donde señala la posición más representativa o única de cada tipo de ciclón

## CONCLUSIONES

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 la depresión subtropical Alberto. La formación de este sistema estuvo incentivada además por la presencia de un elevado gradiente de temperatura entre la superficie oceánica y el nivel de 500 hPa, el cual generalmente existe sobre el área analizada durante el mes de mayo. Este gradiente estableció la condición de inestabilidad que, en combinación con la difluencia superior generada por la vaguada, propiciaron tanto la génesis como el desarrollo del ciclón subtropical. A su vez, el ambiente de moderada a fuerte cizalladura vertical del viento limitó la organización de la convección profunda y, por tanto, la profundización del núcleo cálido, alargando su estadio como organismo subtropical. Sin embargo, el desplazamiento del sistema hacia una región de más débil cizalladura vertical del viento y la persistencia de la convección profunda, que favoreció a su vez el debilitamiento de la misma, incentivaron el desarrollo de la convección alrededor de su centro. Consecuentemente, y a partir de la liberación del calor latente de condensación en torno al mismo, se produjo la profundización del núcleo cálido hasta la alta tropósfera, y como resultado, la transición tropical de Alberto. Finalmente, se evidenció, entre ambas fases del ciclón, una clara diferenciación de la intensidad y simetría de la vorticidad, así como de la organización y simetría del campo de nubosidad, las cuales fueron siendo superiores a medida que se produjo el proceso de transición tropical del sistema.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Robert Hart de la Universidad Estatal de Florida por proporcionarme los diagramas de fase de ciclón. Al Mtr. Elier Pila del Centro de Pronósticos del Tiempo, INSMET, quien me facilitó la obtención de los mapas sinópticos y las imágenes de satélite. A la Mtr. Alis Varela del

Centro de Pronósticos del Tiempo, INSMET, por sus oportunas y válidas sugerencias.

## REFERENCIAS

- 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/>
- Davis, C. A. & Bosart, L. F., (2003) *Baroclinically Induced Tropical Cyclogenesis*. Monthly Weather Review, 131, 2730-2747, doi: 10.1175/1520-0493(2003)131<2730:BITC>2.0.CO;2
- 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
- González-Alemán, J. L., et al., (2016) *¿Cómo detectar un ciclón subtropical?* Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), 7 pp., disponible

- en: [http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5476/1/deteccion\\_cal2016.pdf](http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5476/1/deteccion_cal2016.pdf)
- 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
- OFCM, (2019) National Hurricane Operation Plan. Office of the Federal Coordinator for Meteorological Services and Supporting Research. Publication FCM-P12-2019, 176 pp., disponible en: <https://www.ofcm.gov/publications/nhop/fcm-p12-2019.pdf>
- 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/pdffpapers/37402.pdf>

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)