



Localización de la profundidad que alcanzó la isoterma de 26 °C entre el mar Caribe y Golfo de México mexicanos, durante la trayectoria del huracán “Grace” del 18 al 21 de agosto de 2021.

Dr. Mario Gómez Ramírez

Licenciatura de Geografía, Facultad de Economía de la Universidad Veracruzana.

E-mail: mariogomez@uv.mx

Resumen

En este trabajo se localizó la profundidad que alcanzó la isoterma de 26 °C en el Mar de Las Antillas y Golfo de México mexicanos tomando en consideración el límite de la zona económica exclusiva correspondiente, durante la trayectoria que desarrolló el huracán “Grace”, el cual impactó en el noreste del municipio costero de Papantla de Olarte perteneciente al litoral veracruzano, en el periodo del 18 al 21 de agosto de 2023.

Los fenómenos marinos como son los ciclones tropicales, requieren de energía para su desarrollo, que retoman del agua superficial del mar (TSM). En el trabajo de Erik Palmén que realizó en 1948, observó que los ciclones tropicales requerían temperaturas de por lo menos de 26.5 °C, para su formación y desarrollo. En investigaciones posteriores como la realizada por Gray, 1979, se menciona que la capa de agua cálida en la vertical debe profundizar en el entorno marino 50 m, para que el fenómeno ciclónico se desencadene. (<https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/>).

La isoterma de 26 °C en la vertical es sumamente importante, debido que en la medida que más profundice, favorece a que se concentre más energía térmica disponible para la formación de los ciclones tropicales.

El huracán “Grace” llegó con categoría 1 en la escala Saffir-Simpson al límite de la zona económica exclusiva en el mar caribe mexicano el día 18 de agosto y su trayectoria pasó por la isoterma de 26 °C que se localizó a una profundidad significativa de – 150 mbnm. El día 19 entró a tierra con la misma intensidad por el centro norte de Quintana Roo y salió al Golfo de México por el noroeste del litoral campechano como tormenta tropical. El día 20 la trayectoria de “Grace”, se desplazó ligeramente al sur de los 21° de latitud norte e incrementó en tres ocasiones su intensidad; en la categoría de huracán 1 se tuvo la isoterma 26 °C a una profundidad entre – 35 a – 45 mbnm por la tarde al continuar su trayectoria al oeste alcanzó la categoría 2, al localizarse la isoterma de 26 °C a una profundidad de – 50 mbnm y en escasas horas ascendió como huracán 3 al encontrarse la isoterma de 26 °C a la profundidad de – 40 mbnm. De esta forma se perfiló sobre el litoral veracruzano y en las primeras horas del día 21 con la misma intensidad, impacto en la costa del municipio totonaco de Papantla de Olearte, Ver. Más tarde en la parte central del país, la depresión tropical comenzó a diluirse en remanentes que lograron llegar al Pacífico Nororiental y formaron otro ciclón tropical “Marty” en dicha cuenca.

Abstract

In this work, the depth that reached the 26 °C isotherm in the Antilles Sea and Gulf of Mexico, was located taking into consideration the limit of the corresponding exclusive economic zone, during the trajectory developed by hurricane “Grace”, which impacted the northeast of the coastal municipality of Papantla of Olarte belonging to the coast of Veracruz, in the period from August 18 to 21, 2023.

Marine phenomena such as tropical cyclones require energy for their development, which they take from the sea surface water (SST). In the work of Erik Palmén in 1948, he observed that tropical cyclones required temperatures of at least 26.5 °C for their formation and development. In later research, such as that carried out by Gray, 1979, it is mentioned that the layer of warm water in the vertical must deepen in the marine environment by 50 m for the cyclonic phenomenon to be triggered. (<https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/>).



The 26 °C isotherm in the vertical is extremely important, because as it deepens, it favors the concentration of more thermal energy available for the formation of tropical cyclones.

Hurricane “Grace” arrived with category 1 on the Saffir-Simpson scale at the limit of the exclusive economic zone in the Mexican Caribbean Sea on August 18 and its trajectory passed through the 26 °C isotherm, which was located at a significant depth of – 150 mbnm. On the 19th it entered land with the same intensity through the northern center of Quintana Roo and exited to the Gulf of Mexico through the northwest of the coast of Campeche as a tropical storm. On the 20th the trajectory of “Grace” moved slightly south of 21° north latitude and increased its intensity on three occasions; in the category of hurricane 1 it had the 26 °C isotherm at a depth between – 35 to - 45 mbnm in the afternoon when continuing its trajectory to the west it reached category 2, when the 26 °C isotherm was located at a depth of – 50 mbnm and in a few hours it ascended as hurricane 3 when the 26 °C isotherm was located at a depth of – 40 mbnm. In this way it was outlined on the coast of the municipality totonaco of Papantla of Olarte, Veracruz. Later in the central part of the country, the tropical depression began to distribute the remnants that managed to reach the northeastern Pacific and formed another tropical cyclone “Marty” in the basin.

Introducción

El océano constituye un gran receptáculo de energía que proviene de la estrella solar, debido a esta capacidad de retención que tiene, es la razón por la que se le considera como el regulador térmico del clima. El calor que retiene el agua marina, es transportado y distribuido a latitudes diversas del espacio marino, a través de las corrientes marinas.

En la parte oriental de la República Mexicana, se localiza el Golfo de México que constituye una cuenca semicerrada de agua cálida; asimismo, bordea el litoral de las entidades de Tamaulipas, Veracruz, Tabasco, Campeche, Yucatán y la parte septentrional de Quintana Roo; asimismo, a partir del estrecho de Yucatán hacia el sur, tiene conexión con las aguas del Mar Caribe, las cuales arriban a la costa quintanarroense y ambos espacios marinos, forman su límite hasta la zona económica exclusiva que les corresponde. Además, el Golfo de México por el este tiene interacción con el océano Atlántico Norte.

En la dinámica del Golfo de México existe la conexión con el Mar Caribe por el cual ingresa agua cálida, que asciende en latitud mediante la circulación de la corriente de Lazo. El agua caldeada viaja a través del canal de Yucatán, entre la parte oriental de la península de Yucatán y el poniente de la isla de Cuba. Esta corriente giratoria anticiclónica con flujos máximos de 1 a 2 ms⁻¹ llega a incursionar 500 km hacia la parte septentrional en el Golfo de México (Shay et al, 2000). En su recorrido se desprenden remolinos de núcleo cálido y de núcleo frío (Shay et al, 2000); finalmente sale por el levante, al atravesar el estrecho de la Florida (Le Hénaff et al., 2023) nombrada como corriente cálida del Golfo o *Gulf Stream*. Así continúa su recorrido paralelo a la costa de los E.U.A a latitudes mayores por el Atlántico Norte.

La circulación de agua cálida, a través del Mar de Las Antillas hacia el Golfo de México, sumado al caldeoamiento que adquiere durante el verano y parte del otoño, favorece la formación o intensificación de los ciclones tropicales, sin dejar de considerar la interacción con las condiciones prevalecientes en la atmósfera.

Los ciclones tropicales se generan con una temperatura superficial del mar (TSM) que alcance por lo menos 26 °C. Con valores inferiores, no son favorables las condiciones para su formación (Byers, 1959). Asimismo, el contenido de calor de la capa superior del océano (UOHC) resulta importante en dicha dinámica oceánica, como ocurre en la zona ciclogénica de la Sonda de Campeche.

También es relevante considerar en la dinámica de estos fenómenos marinos, la profundidad que puede alcanzar la isoterma de 26 °C. Esta variable de temperatura consiste en el contenido de calor integrado verticalmente que se localiza hasta la profundidad de la isoterma de 26 °C (Whitaker, 1967, Leipper, 1972). Este límite en la profundidad del agua marina, corresponde a lo que se conoce como contenido del “potencial de calor de ciclones tropicales (TCHP)”.

En la cuenca del Golfo de México la profundidad de la isoterma de 26 °C, puede ser > a 100 m. (Prasad, and Hogan, 2007).



Las condiciones favorables de temperatura del agua marina, tanto superficial como en profundidad, se han estudiado en algunos ciclones tropicales, debido a que durante el desarrollo de su trayectoria influyeron en su intensificación. Algunos casos por mencionar, destacan los que ocurrieron con el huracán Opal en el Golfo de México durante octubre de 1995 (Shay et al., 2000) y el huracán Michael en octubre de 2018 (Le Hénaff et al., 2021), entre otros.

En este caso, el huracán “Grace” tuvo condiciones favorables que pudieron influir en cuanto a su intensidad, tanto de TSM elevadas y de la energía concentrada a diferente profundidad, motivo por el cual el interés de realizar el presente trabajo.

Metodología

La investigación se basó en la interpretación de mapas diarios del mar de Las Antillas y Golfo de México con relación a la localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C, obtenidos en línea de la Universidad de Miami. Además, se obtuvieron datos e imágenes de satélite del Centro Nacional de Huracanes de la NOAA, así como, los boletines meteorológicos emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA y fuentes bibliográficas. También se trabajó la cartografía con el programa Surfer.

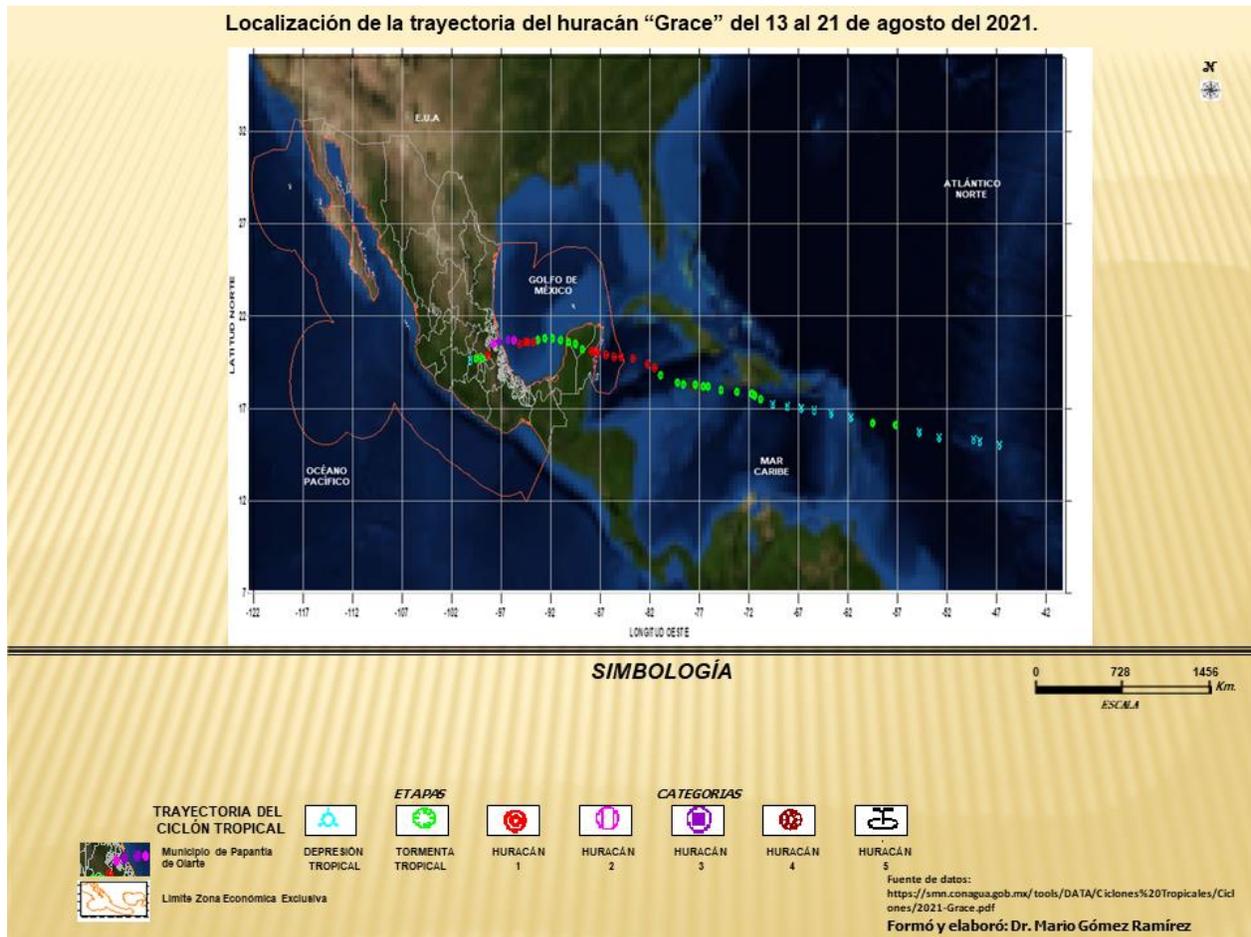
Trayectoria que desarrolló el huracán “Grace”.

a) Situación previa a la formación.

El día 9 de agosto de 2021 un disturbio tropical viajó por el espacio desértico africano del Sahara e incursionó por la parte occidental a las aguas del Océano Atlántico Norte y se desplazó al poniente como una onda del este.

El día 10 de agosto se detectó una zona de baja presión, la cual se localizó en la coordenada de 10.5° latitud norte y 26.4° longitud oeste, con vientos máximos de 20 km/h (Comisión Nacional del Agua, 2021).

Los dos siguientes días el sistema continuó su avance al occidente, con una convección profunda el día 12, que incrementó la intensidad de los vientos con condiciones de una perturbación, sin alcanzar aún una circulación cerrada y definida.



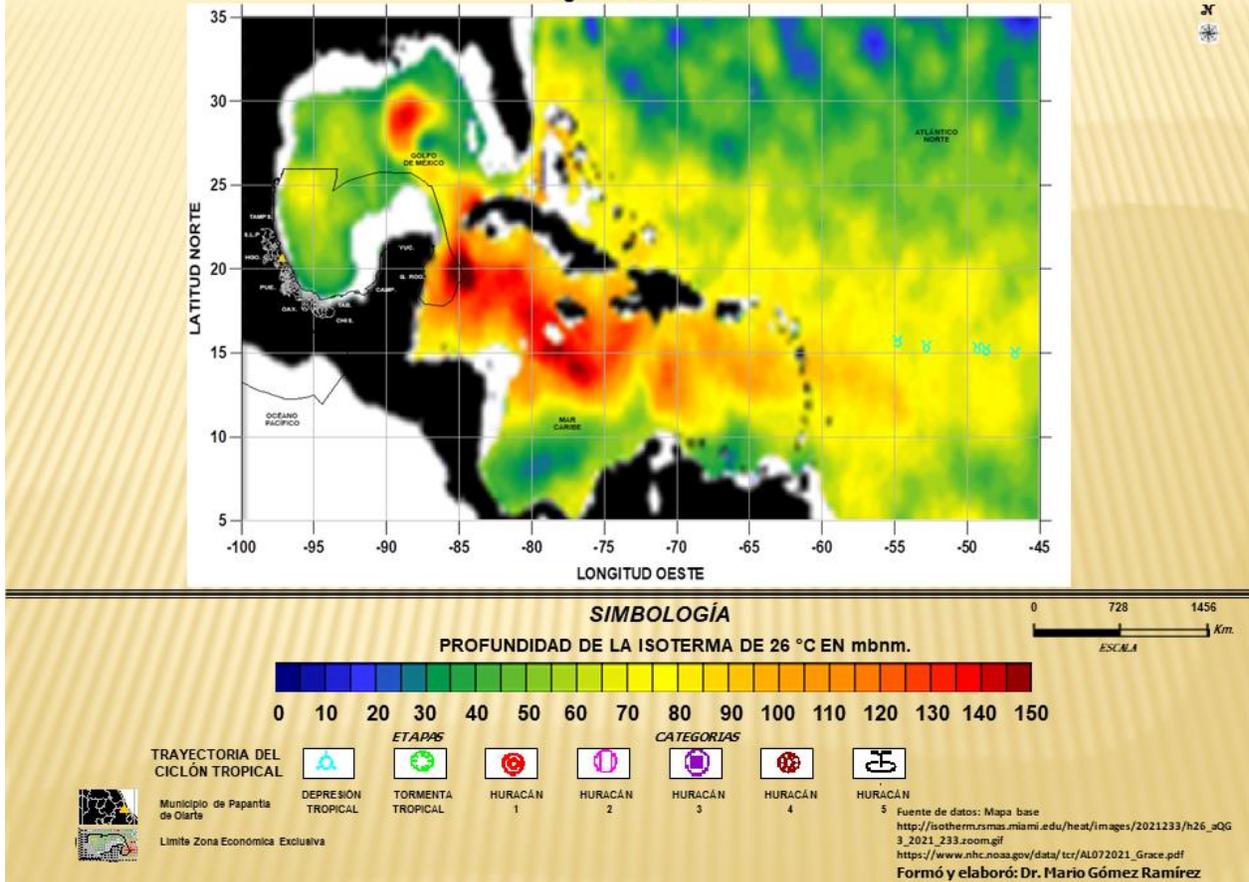
Mapa 1.

b) Formación y desarrollo.

Al iniciar el día 13 el sistema alcanzó una organización convectiva considerable, para formarse un ciclón tropical, en la etapa de una depresión tropical correspondiente a la séptima de la temporada en la cuenca del Océano Atlántico Norte; la cual se localizó en la coordenada de 15.0° latitud norte y 46.7° longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y una presión atmosférica mínima de 1010 milibares. (Reinhart, et al, 2022). (Ver mapas 1 y 2).

La trayectoria de la depresión prosiguió al poniente sobre aguas cálidas, lo cual contribuyó a fortalecerse cada vez más. (Ver mapas 1 y 2).

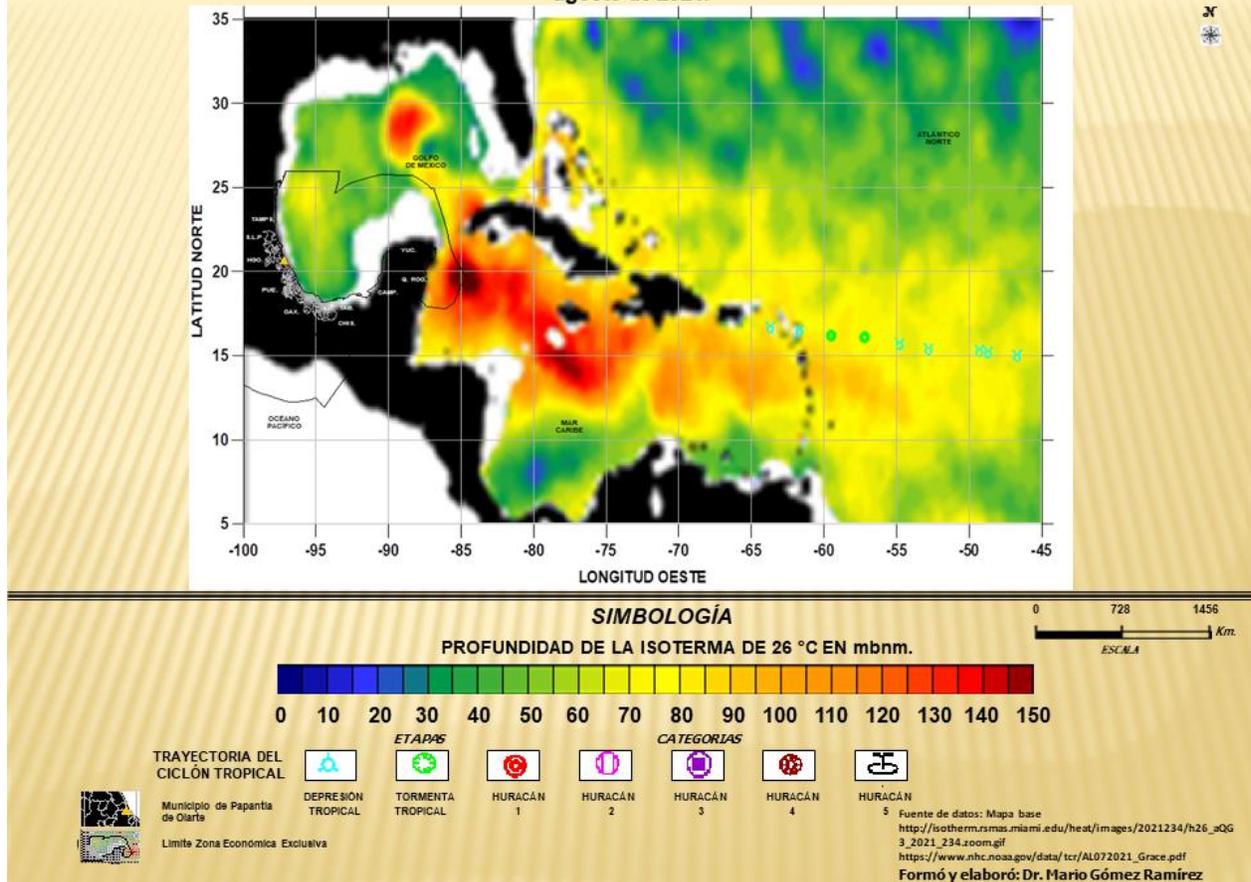
Localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C en el mar Caribe, durante la trayectoria del huracán “Grace” el 13 de agosto de 2021.



Mapa 2.

El día 14 en la madrugada alcanzó la etapa de tormenta tropical “Grace” al localizarse en la coordenada de 16.1° latitud norte y 57.2° longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y una presión atmosférica mínima de 1009 milibares. El fenómeno marino avanzó al occidente hasta el mediodía con la misma intensidad de los vientos; por la tarde comenzó a mermar la fuerza y al pasar por el norte de isla Guadalupe en las Antillas Menores, descendió a depresión tropical en la coordenada de 16.5° latitud norte y 61.7° longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 55 km/h y una presión atmosférica mínima de 1010 milibares. (Ver mapas 1 al 3).

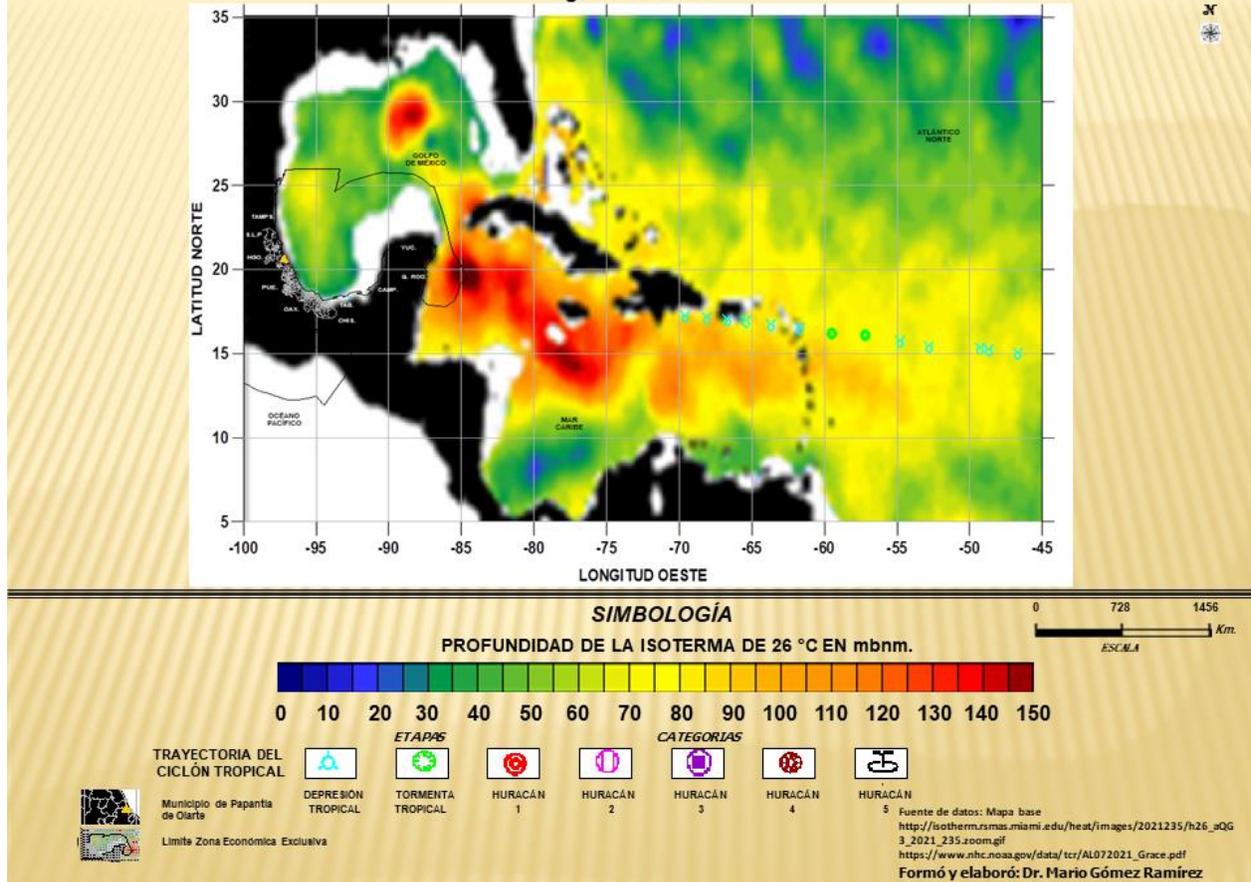
Localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C en el mar Caribe, durante la trayectoria del huracán “Grace” el 14 de agosto de 2021.



Mapa 3.

El día 15 la depresión tropical “Grace” mantuvo durante todo el día, el desplazamiento al oeste por el Mar Caribe y pasó por la parte sur de la isla de Puerto Rico, sin registrar cambios significativos en la intensidad de vientos. (Ver mapas 1 al 4).

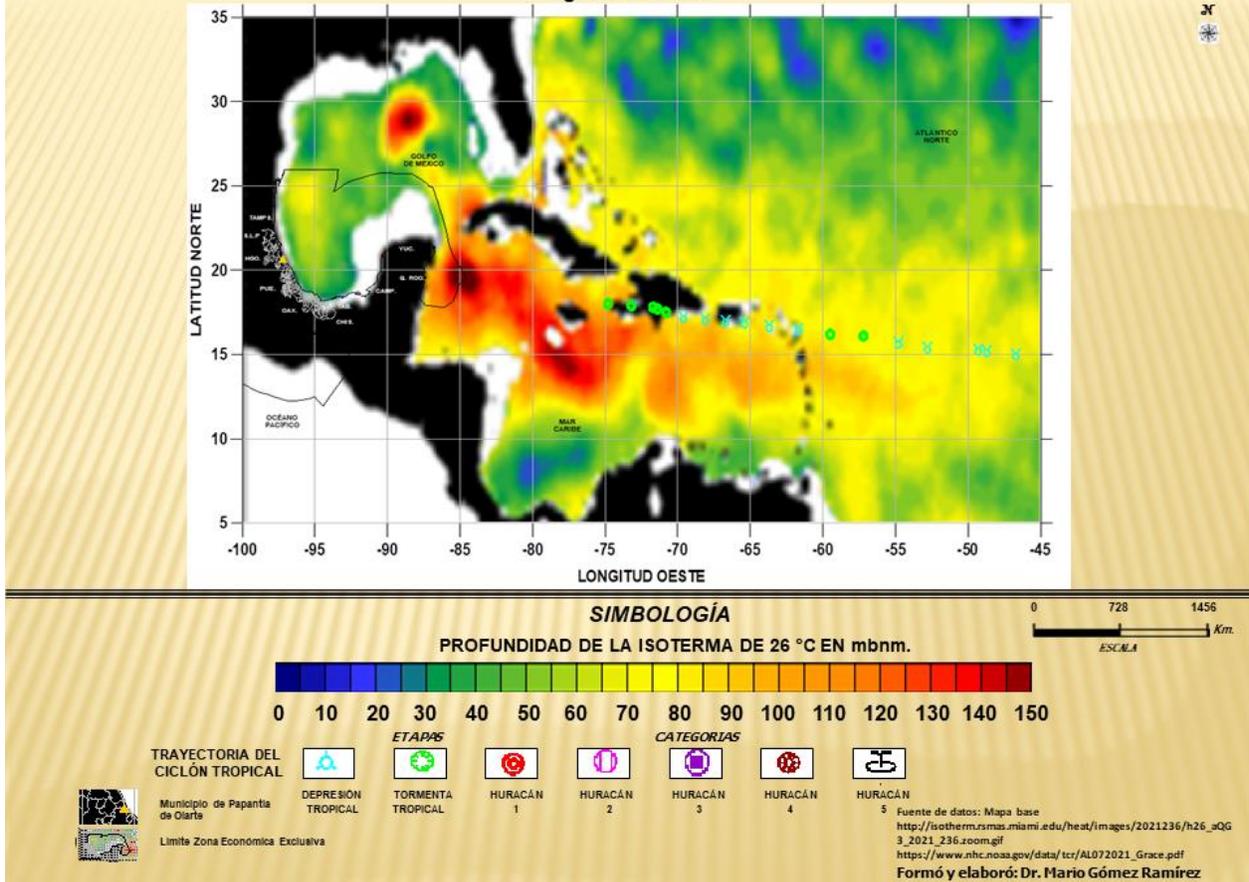
Localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C en el mar Caribe, durante la trayectoria del huracán “Grace” el 15 de agosto de 2021.



Mapa 4.

El día 16 a las 6:00 de la mañana, el sistema se intensificó nuevamente a tormenta tropical; la trayectoria de “Grace” pasó por la coordenada de 17.5° latitud norte y 70.8° de longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 65 km/h y una presión atmosférica mínima de 1007 milibares. Al mediodía atravesó por el extremo sursuroeste de la isla caribeña de Dominicana. (Ver mapas 1 al 5).

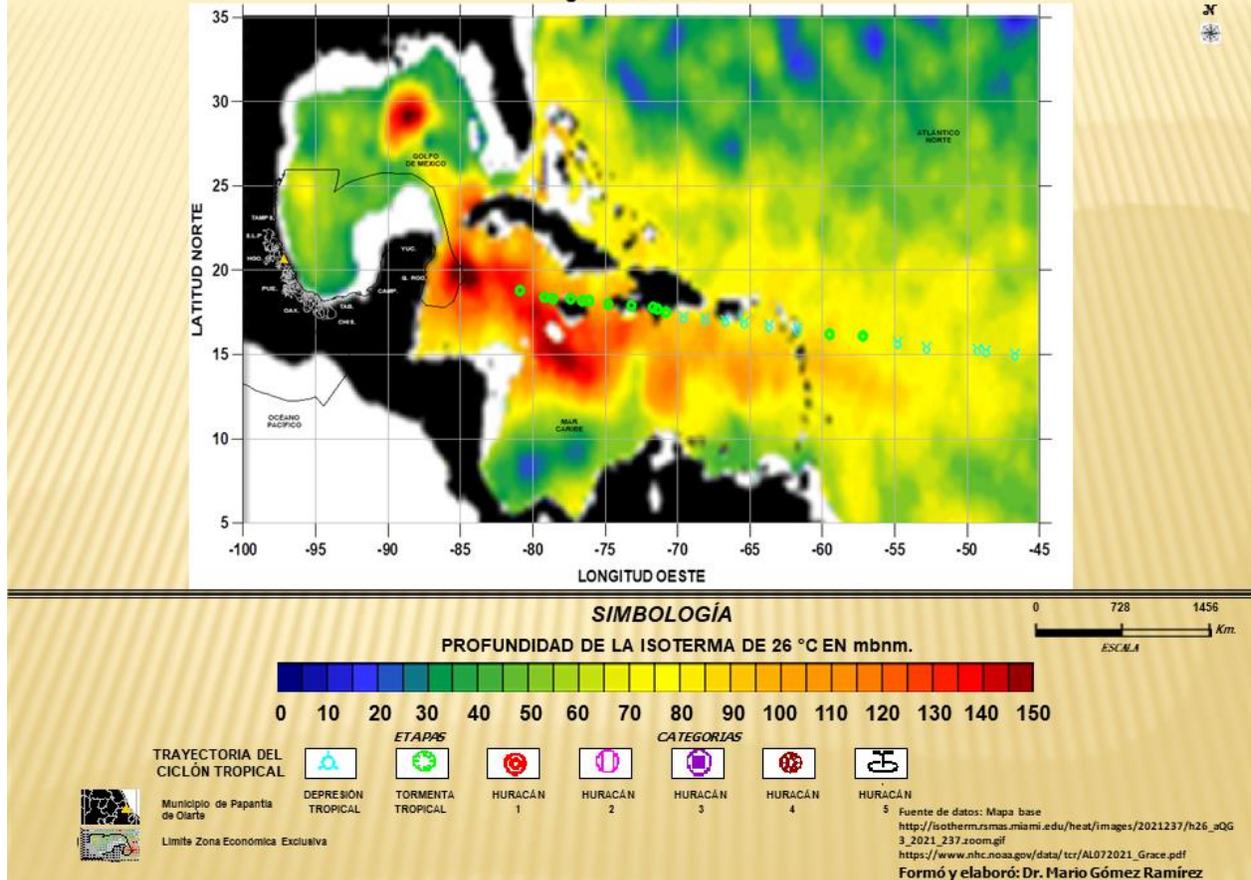
Localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C en el mar Caribe, durante la trayectoria del huracán “Grace” el 16 de agosto de 2021.



Mapa 5.

El día 17 la tormenta tropical “Grace” se perfiló al litoral oriental de la isla de Jamaica y a las 12:00 h., la trayectoria pasó por el centro norte de dicha isla al localizarse en la coordenada de 18.3° de latitud norte y 77.4° de longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 93 km/h y una presión atmosférica mínima de 1003 milibares. Por la tarde salió nuevamente al Mar Caribe por donde continuó el desplazamiento al oeste en aguas cálidas con una TSM mayor a 29 °C, al mismo tiempo incrementó cada vez más la intensidad de los vientos, asimismo, la presión atmosférica paulatinamente decreció. (Ver mapas 1 al 6).

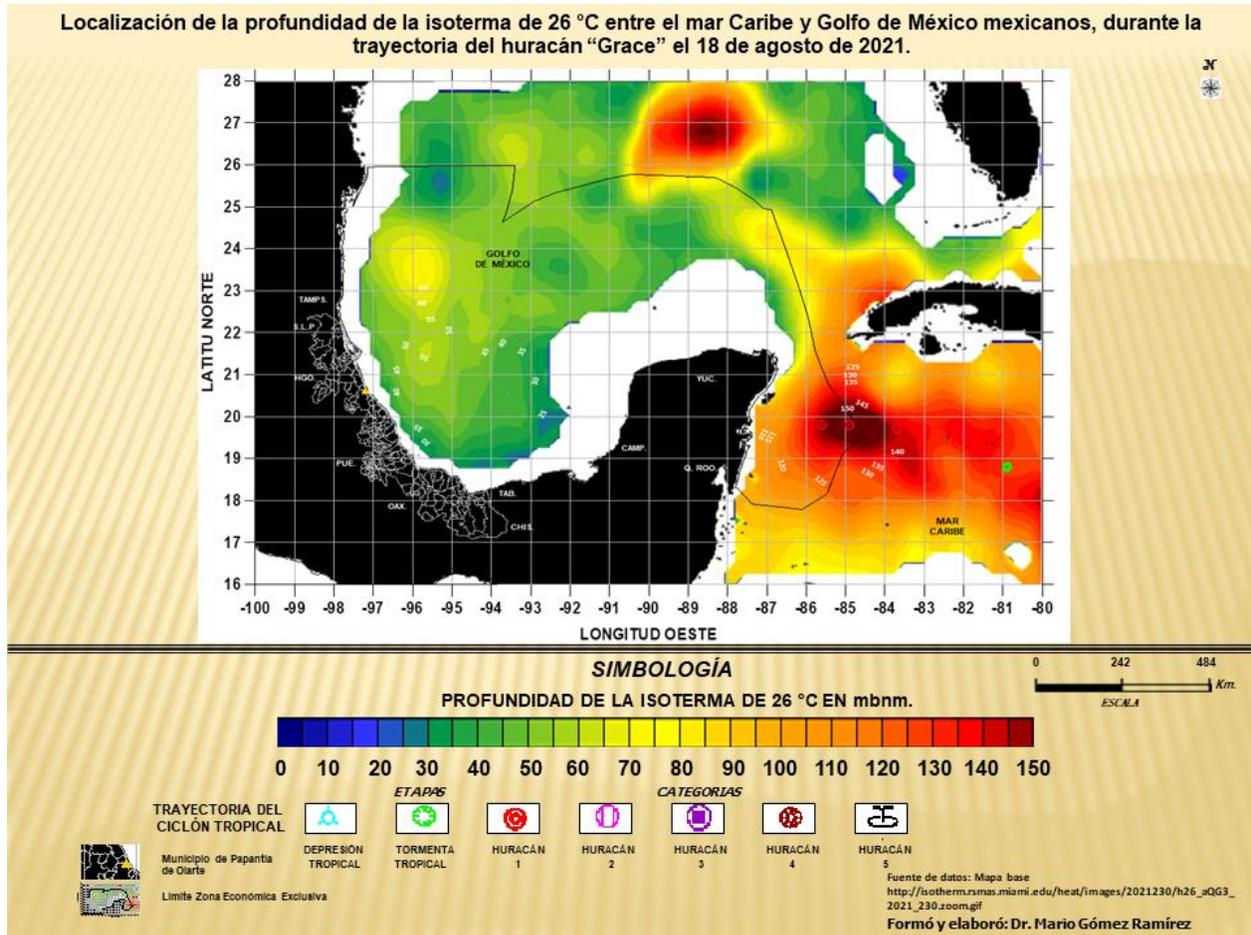
Localización de la profundidad de la isoterma de 26 °C en el mar Caribe, durante la trayectoria del huracán “Grace” el 17 de agosto de 2021.



Mapa 6.

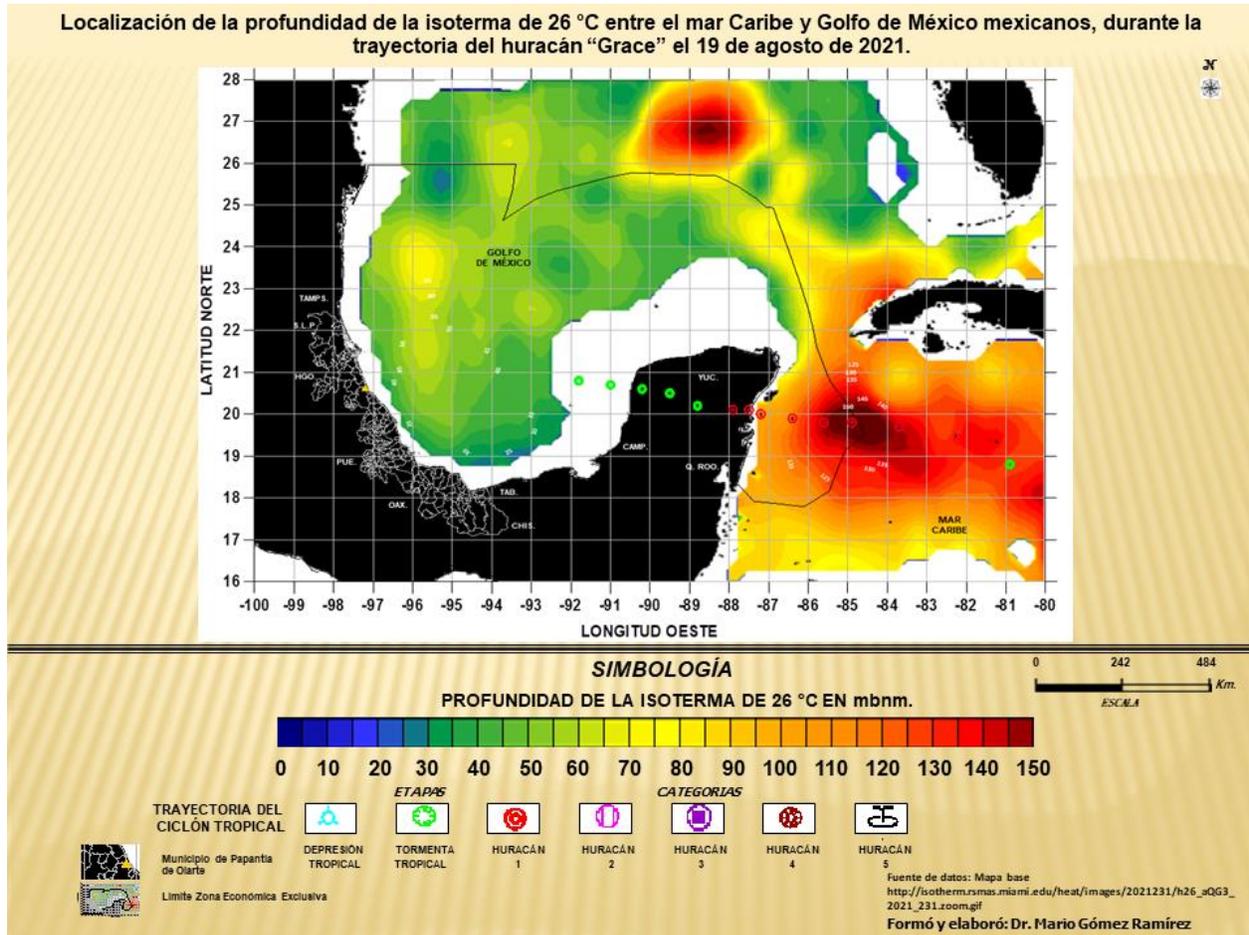
c) El huracán “Grace” entre el Mar Caribe y Golfo de México mexicanos.

El día 18 la tormenta tropical “Grace” se localizó en la coordenada 18.8° de latitud norte y 80.9° de longitud oeste y la profundidad de la isoterma de 26 °C se detectó a – 135 mbnm; al continuar su avance al occidente y al llegar a la coordenada 19.4° de latitud norte y 82.2° de longitud oeste, evolucionó a huracán 1 en la escala Saffir-Simpson manteniéndose la misma profundidad de la isoterma de 26 °C. Más tarde, la trayectoria mantuvo la misma dirección y al situarse en la coordenada 19.7° de latitud norte y 83.7° de longitud oeste, nuevamente se profundizó la isoterma hasta – 145 mbnm. Al iniciar la noche en el límite de la ZEE del Mar Caribe mexicano, el huracán “Grace” se ubicó en la coordenada 19.8° de latitud norte y 84.9° de longitud oeste y pasó por un núcleo de calentamiento donde la isoterma de 26 °C se internó a – 150 mbnm; asimismo, se tuvo una TSM elevada. A las 22:00 h local, alcanzó la coordenada 19.8° de latitud norte y 85.6° de longitud oeste acercándose cada vez más al litoral de Quintana Roo y la profundidad de la isoterma de 26 °C decreció a – 145 mbnm. (Ver mapas 1 al 7).



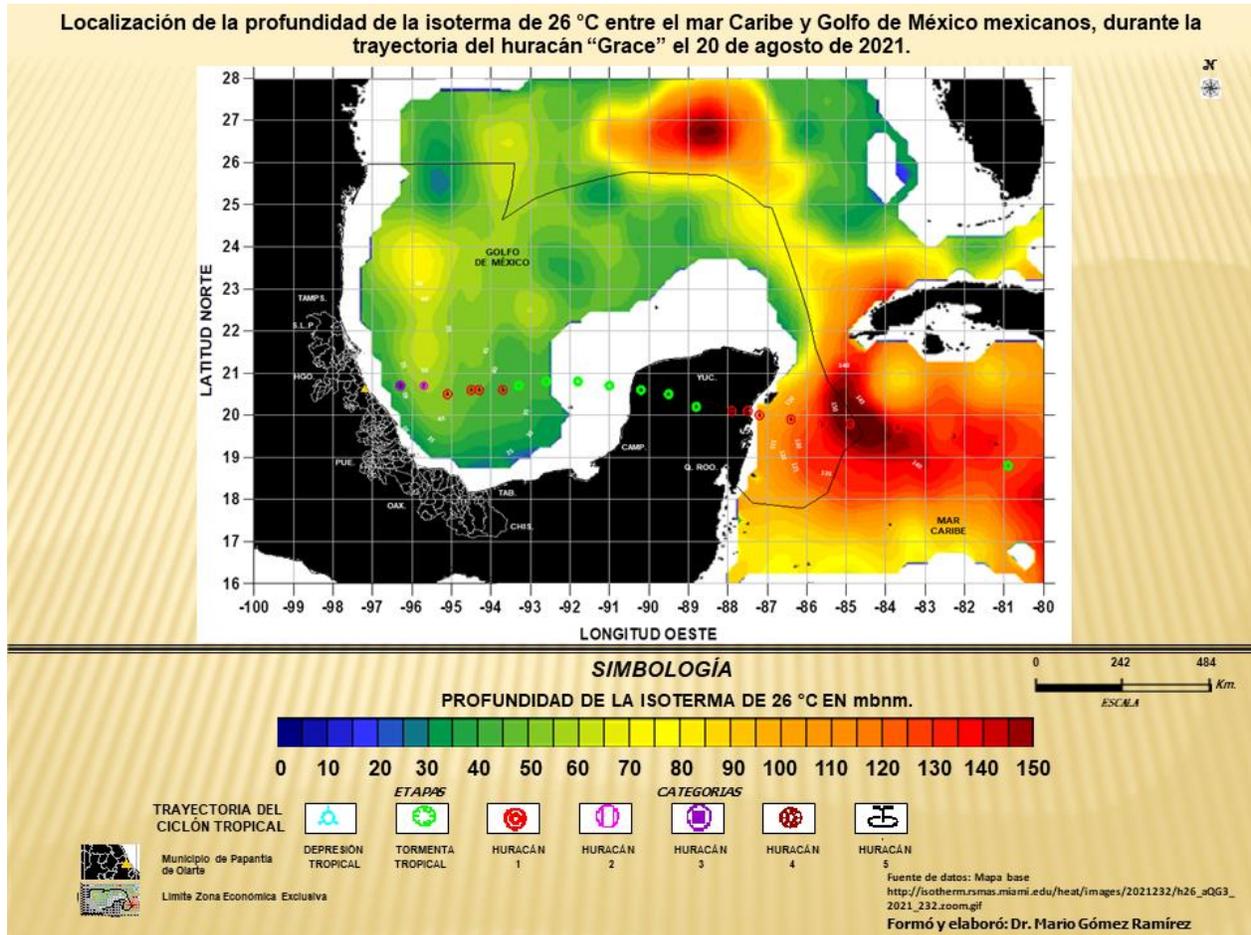
Mapa 7.

El día 19 en las primeras horas el huracán “Grace” se localizó en la coordenada 19.9° de latitud norte y 86.4° de longitud oeste como categoría 1 y registró una disminución en la profundidad de la isoterma de 26 °C, la cual fue de – 120 mbnm. Previamente a la llegada al litoral quintanarroense, al ubicarse en la coordenada de 20.0° de latitud norte y 87.2° de longitud oeste, la profundidad del calentamiento tuvo una merma hasta alcanzar los – 100 mbnm. Todavía de madrugada a las 4:45 h local “Grace” impactó en la línea de costa del estado de Quintana Roo a 10 km al sur de Tulum, en la coordenada 20.1° de latitud norte y 87.5° de longitud oeste, con vientos máximos sostenidos de 130 km/h. Durante buena parte del día avanzó por tierra como tormenta tropical y a las 19:00 h local salió al Golfo de México por la parte noroeste del litoral de Campeche al localizarse en la coordenada 20.7° de latitud norte y 91.0° y la profundidad de la isoterma de 26 °C fue de – 25 mbnm y unas horas más tarde en la coordenada 20.8° de latitud norte y 91.8° con desplazamiento de la trayectoria al poniente y mantuvo la misma profundidad de dicha isoterma. (Ver mapas 1 al 8).



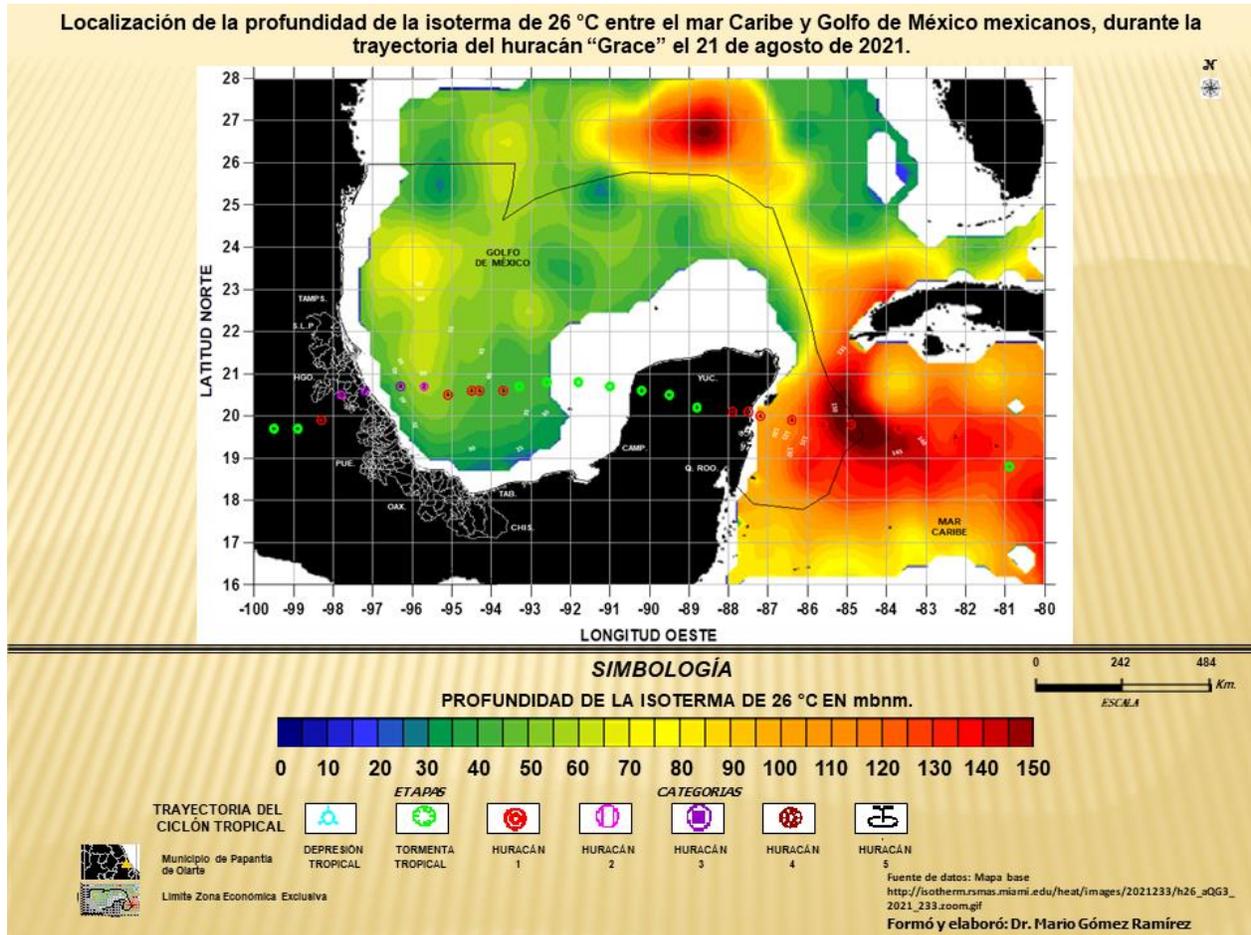
Mapa 8.

Durante las primeras horas del día 20, la tormenta “Grace” avanzó al occidente y al pasar la trayectoria por las coordenadas de 20.8° de latitud norte y 92.6° de longitud oeste, así como en 20.7° de latitud norte y 93.3° de longitud oeste, el calentamiento en la vertical se localizó a una profundidad de – 35 mbnm. A las siete de la mañana, el fenómeno marino evolucionó a huracán categoría 1 en la escala Saffir-Simpson en la coordenada 20.6° de latitud norte y 93.7° de longitud oeste, manteniéndose el calentamiento a la misma profundidad. En las siguientes seis horas, el huracán “Grace” prosiguió moviéndose al poniente por el Golfo de México entre las coordenadas de 20.6° de latitud norte y 94.3° de longitud oeste y 20.6° de latitud norte y 94.5° de longitud oeste, asimismo, en este punto la isoterma de 26 °C se detectó a – 40 mbnm. A las 16:00 h local al mantenerse “Grace” con la misma intensidad de vientos sostenidos, arribó a la coordenada de 20.5° de latitud norte y 95.1° de longitud oeste y el caldeamiento se profundizó a – 45 mbnm. En las siguientes tres horas, el sistema ciclónico nuevamente se intensificó a huracán categoría 2 en la escala Saffir-Simpson; además, ascendió ligeramente en latitud hacia una cuña más profunda de temperatura, la cual alcanzó los – 50 mbnm. El fenómeno marino en la medida que transcurría la noche en aguas con TSM elevada, continuó acercándose a la parte septentrional del litoral veracruzano y al encontrarse a una distancia de 140 km, una vez más incrementó su intensidad. El huracán “Grace” a las 22:00 h local, en la coordenada de 20.7° de latitud norte y 96.3° de longitud oeste llegó a la categoría 3 en la escala de Saffir-Simpson, con vientos máximos sostenidos de 195 km/h y la profundidad energética, se localizó hasta los – 40 mbnm. “Grace” continuó perfilándose hacia la costa de Veracruz e incrementó la intensidad de sus vientos hasta alcanzar 205 km/h; en cambio, disminuyó la batimetría a medida que avanzaba y de igual forma el calor de 26 °C en la vertical. (Ver mapas 1 al 9).



Mapa 9.

El día 21 a la 01:00 h a. m. local, el huracán "Grace" categoría 3 en la escala Saffir-Simpson impactó con la misma intensidad, en la coordenada de 20.61° de latitud norte y 97.12° de longitud oeste en el noreste de la línea costanera del municipio totonaco de Papantla de Olarte, Estado de Veracruz y finalmente internarse al centro del territorio nacional. Sus remanentes se desplazaron al occidente del país hasta alcanzar el Pacífico Nororiental y formaron una nueva tormenta tropical que se nombró como "Marty", por la tarde del día 22 de agosto en dicha cuenca marina. (Ver mapas 1 al 10).



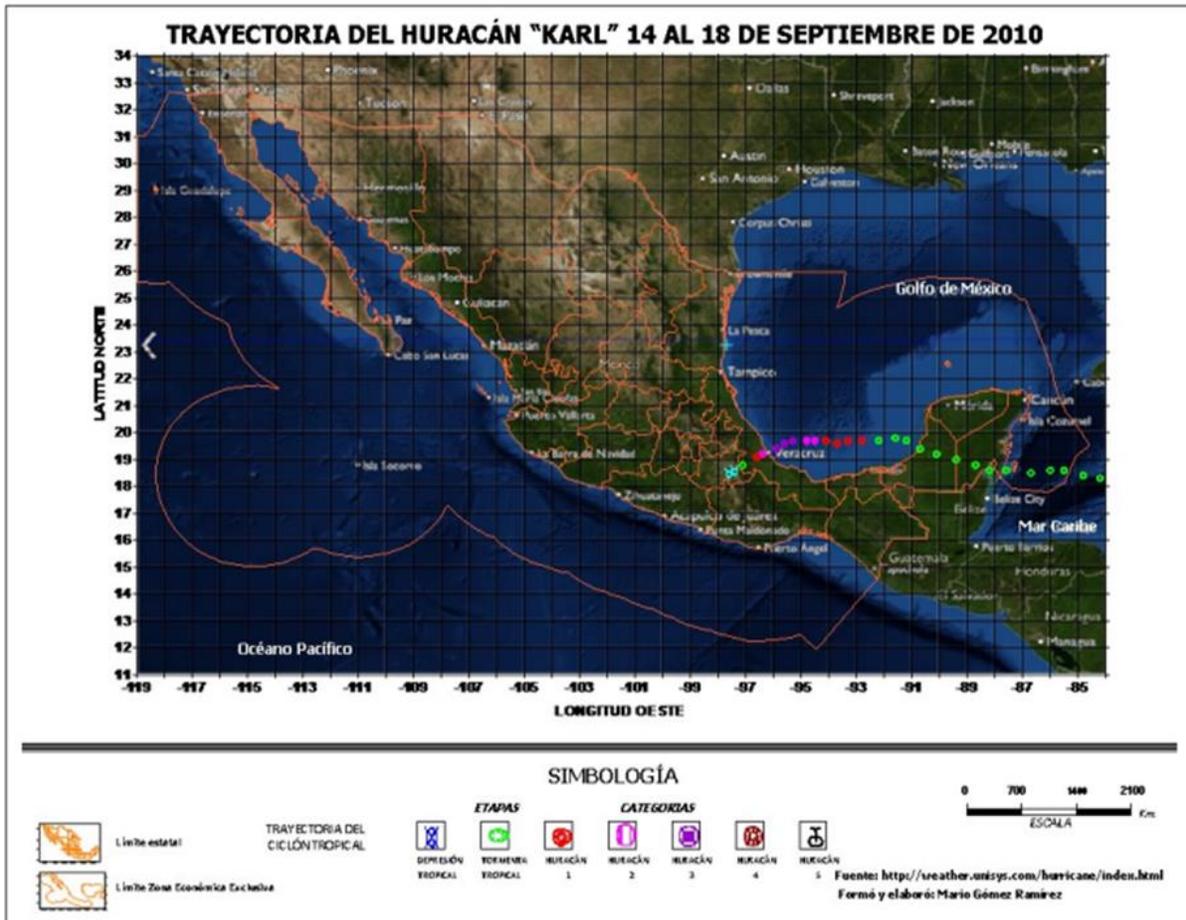
Mapa 10.

En otras ocasiones, han ocurrido ciclones tropicales que se intensificaron en las cercanías al litoral, como ejemplo se tiene al huracán "Karl" el 17 de septiembre de 2010, que impactó en el Estado de Veracruz.

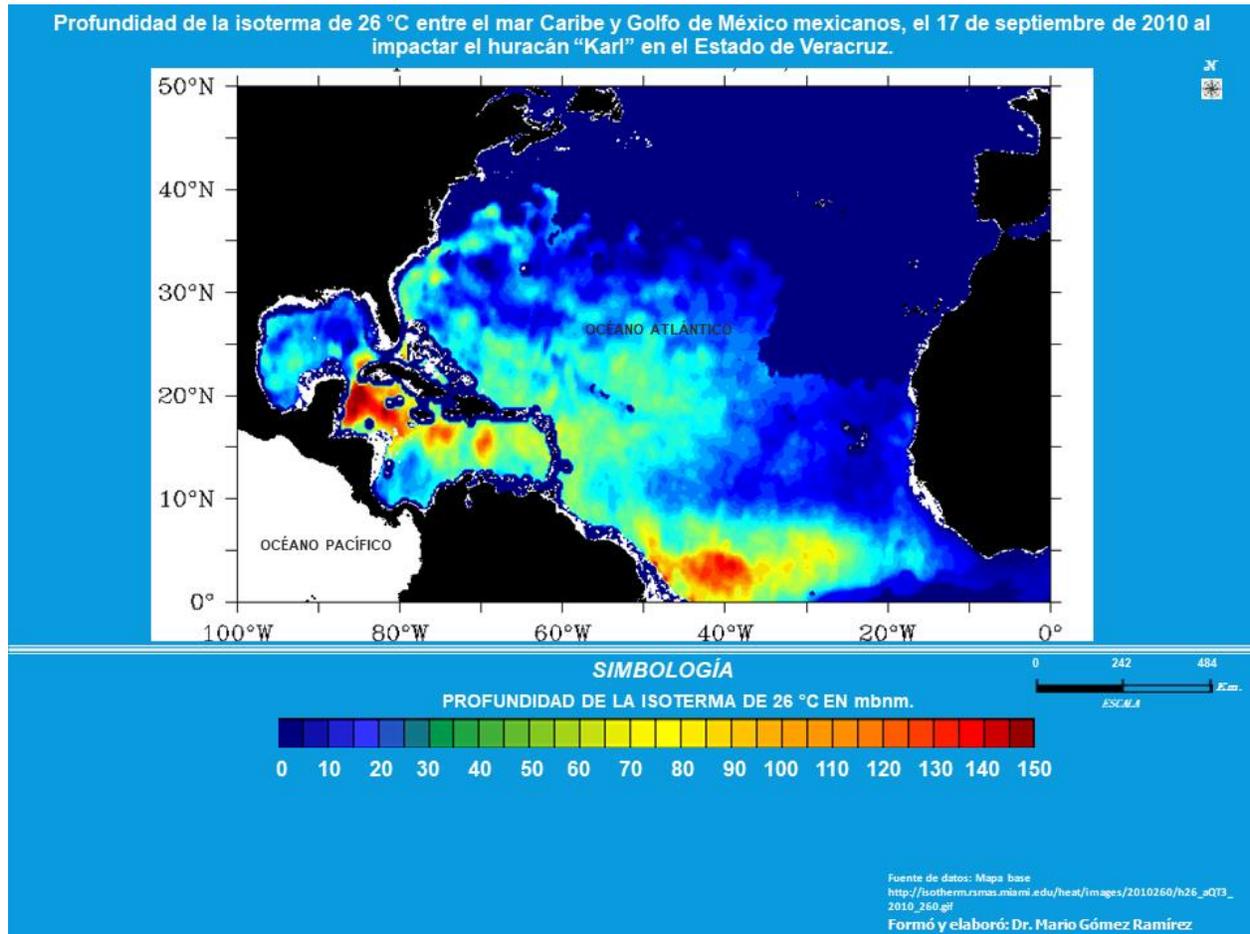
La trayectoria pasó por la Sonda de Campeche y se intensificó en tres ocasiones hasta alcanzar las categorías de huracán (1, 2 y 3) con base a la escala Saffir-Simpson; asimismo, tuvo la característica de que dicha situación, ocurrió al localizarse muy cercano a la costa. (Ver mapas 11 y 12).

Al analizar la trayectoria que siguió el huracán "Karl" en cuanto a la localización que prevaleció con relación a la profundidad de la isoterma de 26 °C; se identificó en su momento, la evidencia de una concentración del calentamiento del agua marina, la cual pudo influir en la intensidad que alcanzó dicho ciclón tropical. (Ver mapas 11 y 12).

En este caso debe aclararse, que no fueron similares las condiciones que ocurrieron en cada uno de los huracanes "Grace" y "Karl"; sin embargo, solamente se ejemplifica la importancia que tiene la localización de la temperatura en la medida de la profundidad que llega alcanzar. (Ver mapas 1 al 12).



Mapa 11.



Mapa 12.

Conclusiones

El huracán "Grace" al entrar al Mar Caribe encontró una profundización cada vez mayor de la isoterma de 26 °C.

A partir del día 25 julio comenzó a formarse el núcleo profundo en el límite de la ZEE del Mar Caribe Mexicano.

El núcleo con mayor profundidad de la isoterma de 26 °C, fue de – 150 mbnm y se localizó en límite de la ZEE del Mar Caribe, sobre el cual pasó la trayectoria del huracán "Grace" el día 18 de agosto de 2021.

El día 20 la trayectoria de "Grace" tuvo tres intensificaciones como huracán al alcanzar la (categoría 1, 2 y 3) muy cercana al litoral veracruzano; al incrementarse a categoría 2 recorrió por una cuña que profundizó la isoterma de 26 °C a – 50 mbnm y más tarde ascendió a la categoría 3 en la escala Saffir-Simpson a menor profundidad.

El caso del huracán "Grace", tuvo condiciones favorables que pudieron influir en cuanto a su intensidad, tanto de TSM elevadas y de la energía concentrada a diferente profundidad, así como las atmosféricas, para incrementar su intensificación.

En el presente siglo XXI, se puede ejemplificar con los huracanes "Karl" en 2010 y "Grace" en 2021, impactaron el litoral veracruzano con una intensidad de vientos de la categoría 3 en la escala Saffir-Simpson y que tuvieron ambos, la característica de intensificarse muy próximos a la línea costanera.



Los remanentes desorganizados del huracán “Grace” siguieron una ruta al occidente del territorio nacional, que lograron atravesar los relieves a su paso e incursionaron en las aguas del Pacífico Nororiental y formaron una nueva tormenta tropical que se nombró como “Marty”, por la tarde del día 22 de agosto en dicha cuenca marina.

Referencias

Androulidakis, Y, Kourafalou, V., Le Hénaff, M., Kang, H. -S., & Ntaganou, N. (2021). The role of mesoscale dynamics over northwestern Cuba in the loop current evolution in 2010, during the deepwater horizon incident. *Journal Marine Science. Engineering.* (2), 188. <https://doi.org/10.3390/jmse9020188>

Byers, H. R. (1959). *General Meteorology*, (p. 540). New York: McGraw-Hill.

Comisión Nacional del Agua. (2021). Huracán “Grace” del Océano Atlántico del 13 al 21 de agosto de 2021. Ciclonés tropicales 2021. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Pronóstico Meteorológico: Centro Nacional de Previsión del Tiempo. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Ciclonés%20Tropicales/Ciclonés/2021-Grace.pdf>

Comisión Nacional del Agua. (Agosto, 2021). Reporte del clima en México. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional. Gerencia de Meteorología y Climatología. Subgerencia de Climatología y Servicios Climáticos. Año 11, núm. 8. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Diagn%C3%B3stico%20Atmosf%C3%A9rico/Reporte%20del%20Clima%20en%20M%C3%A9xico/RC-Agosto21.pdf>

Le Hénaff, M., Domingues, R., Halliwell, G., Zhang, JA, Kim, H.-S., Aristizábal, M., et al. (2021). The role of the Gulf of Mexico ocean conditions in the intensification of Hurricane Michael (2018). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016969. <https://doi.org/10.1029/2020JC016969>

Becker, R. (2017). How did Hurricane Harvey get so strong? Retrieved November 6, 2018, from The Verge: <https://www.theverge.com/2017/8/25/16207190/hurricane-harvey-category-four-intensity-warm-water-gulf>

Bender, L. C. III, Guinasso, N. L. Jr., Walpert, J. N., Lee, L. L. III, Martin, R. D., Hetland, R. D., et al. (2007). Development, operation, and results from the Texas automated buoy system. *Gulf of Mexico Science*, 25(1), 4. <https://aquila.usm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1469&context=goms>

DeMaria, M., & Kaplan, J. (1994). Sea surface temperature and the maximum intensity of Atlantic tropical cyclones. *Journal of Climate*, 7(9), 1324–1334. https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/7/9/1520-0442_1994_007_1324_sstatm_2_0_co_2.xml

DiMarco, S. F., Walpert, J., Knap, A. H., Whilden, K., Lee, L. L., & Buschang, S. (2018). Coastal ocean observations during Hurricane Harvey (2017) from the Texas Automated Buoy System (TABS). [IS12A-08]. *2018 Ocean Sciences Meeting*, Portland, OR, 12–16 Feb. <https://agu.confex.com/agu/os18/meetingapp.cgi/Paper/319840>

Gierach, M. M., & Subrahmanyam, B. (2008). Biophysical responses of the upper ocean to major Gulf of Mexico hurricanes in 2005, *J. Geophys. Res.*, 113, C04029, <https://doi.org/10.1029/2007JC004419>

Gómez, M. (2021). Variación del potencial de calor que propició el recorrido del huracán “Hanna” por la parte boreal del Golfo de México del 22 al 30 de julio de 2020. *Geos*, Vol. 40, No. 1.

Gómez, M. (2018). Distribución del potencial de calor marino frente a la costa norte veracruzana, en la zona de influencia que tuvo la trayectoria del huracán “Katia” entre el 5 al 15 de septiembre de 2017. 8° Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. PINCC, UNAM. <https://docplayer.es/123048764-Dr-mario-gomez-ramirez-licenciatura-de-geografia-universidad-veracruzana-grupo-de-geografia-global.html>



MEMORIAS DEL XXXI CONGRESO MEXICANO DE
METEOROLOGÍA Y XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE METEOROLOGÍA,
Año 2023, No. 22. ISSN: 2594-1836 (Resumen)

- Gómez, M., Álvarez, K. E. y Enríquez, E. G. (2011). Seguimiento de la trayectoria del huracán “Karl” hasta impactar la costa de Veracruz, mediante imágenes de satélite en septiembre del 2010. <https://www.uv.mx/economia/files/2013/02/Seguimiento-de-la-trayectoria-del-huracan-Karl.pdf>
- Gómez, M. y Gómez, Y. Y. (2018). Distribución de la temperatura superficial del agua marina en la costa veracruzana, por influencia del huracán “Katia” entre el 4 al 17 de septiembre de 2017. *Academia Journals*. Tomo 5. <https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/6009ebd4f9123a0c8748250a/1611262947957/Memorias+Academia+Journals+CICS+Tuxpan+2018+-+Tomo+05.pdf>
- Goni, G., & Trinanes, J. (2003). Near-real time estimates of upper ocean heat content (UOHC) and tropical cyclone heat potential (TCHP) from altimetry. <https://www.aoml.noaa.gov/phod/trinanes/HHP/>
- Goni, G. J., & Trinanes, J. A. (2003). Ocean thermal structure monitoring could aid in the intensity forecast of tropical cyclones, *Eos Trans. AGU*, 84(51), 573–578. <https://doi.org/10.1029/2003EO510001>
- Huang, P., Sanford, T. B., & Imberger, J. (2009). Heat and turbulent kinetic energy budgets for surface layer cooling induced by the passage of Hurricane Frances (2004). *Journal of Geophysical Research*, 114, C12023. <https://doi.org/10.1029/2009JC005603>
- Le Hénaff, M., Domingues, R., Halliwell, G., Zhang, J. A., Kim, H.-S., Aristizabal, M., et al. (2021). The role of the Gulf of Mexico ocean conditions in the intensification of Hurricane Michael (2018). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126, e2020JC016969. <https://doi.org/10.1029/2020JC016969>
- Le Hénaff, M., Kourafalou, V. H., Androulidakis, Y., Ntaganou, N. & Kang, H. S. (2023). Influence of the Caribbean Sea eddy field on Loop Current predictions. *Frontiers in Marine Science*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1129402>
- Leipper, D. F., & Volgenau, D. (1972). Hurricane heat potential of the Gulf of Mexico. *Journal of Physical Oceanography*, 2(3), 218–224. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1972\)002<0218:HPOTG>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1972)002<0218:HPOTG>2.0.CO;2)
- National Oceanic and Atmospheric Administration. Atlantic Oceanography and Meteorological Laboratory. Physical Oceanography Division. (n.d.). Gulf of Mexico. <https://www.aoml.noaa.gov/phod/gom/>
- National Oceanic and Atmospheric Administration. Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory. Physical Oceanography Division. (2016). Tropical cyclone heat potential. Methodology. <https://www.aoml.noaa.gov/phod/cyclone/method.php#:~:text=The%20tropical%20cyclone%20heat%20potential,et%20al.%2C%202000>
- Potter, H., DiMarco, S. F., & Knap, A. H. (2019). Tropical cyclone heat potential and the rapid intensification of hurricane Harvey in the Texas Bight. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 124, 2440–2451. <https://doi.org/10.1029/2018JC014776>
- Prasad, T. G., & Hogan, P. J. (2007). Upper-ocean response to Hurricane Ivan in a 1/25° nested Gulf of Mexico HYCOM, *Journal Geophysical Research*, 112, C04013. <https://doi.org/10.1029/2006JC003695>
- Price, J. F. (2009). Metrics of hurricane-ocean interaction: Vertically-integrated or vertically-averaged ocean temperature? *Ocean Science*, 5(3), 351–368. <https://os.copernicus.org/articles/5/351/2009/os-5-351-2009.pdf>
- Reinhart, B. J., Reinhart, A., & Berg, R. (2022, 18 february). National Hurricane Center Tropical Cyclone Report Hurricane Grace (AL072021) 13-21 August 2021. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL072021_Grace.pdf
- Senado de la República de los Estados Unidos Mexicanos, LXIII Legislatura. (2017). Delimitación de las fronteras marítimas en el Golfo de México. https://centrogilbertobosques.senado.gob.mx/docs/NI_Fronteras_Golfo_151217.pdf



MEMORIAS DEL XXXI CONGRESO MEXICANO DE
METEOROLOGIA Y XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE METEOROLOGÍA,
Año 2023, No. 22. ISSN: 2594-1836 (Resumen)

Shay, L. K., Goni, G. J., & Black, P. G. (2000). Effects of a warm oceanic feature on Hurricane Opal. *Monthly Weather Review*, 128(5), 1366–1383. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2000\)128<1366:EOAWOF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2000)128<1366:EOAWOF>2.0.CO;2)

Todd, R. E., Asher, T. G., Heiderich, J., Bane, J. M., & Luetlich, R. A. (2018). Transient Response of the Gulf Stream to Multiple Hurricanes in 2017. *Geophysical Research Letters*, 45, 10, 509-10,519. <https://doi.org/10.1029/2018GL079180>

Trenberth, K. E., Cheng, L., Jacobs, P., Zhang, Y., & Fasullo, J. (2018). Hurricane Harvey links to ocean heat content and climate change adaptation. *Earth's Future*, 6(5), 730–744. <https://doi.org/10.1029/2018EF000825>

University of Miami. Rosenstiel School Upper Ocean Dynamics Laboratory. (2023). Ocean Heat Content North Atlantic. <http://isotherm.rsmas.miami.edu/heat/web/atlantic.php>

Whitaker, W. D. (1967). Quantitative determination of heat transfer from sea to air during passage of Hurricane Betsy, M. S. thesis, Texas A&M Univ., College Station. <https://archive.org/details/quantitivedete00whit/page/n33/mode/2up?ref=ol&view=theater>

The Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory, NOAA. (June 1, 2023). Hurricanes frequently Asked Questions. <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/>