

Los ciclones tropicales del Golfo de México y su relación con la corriente de lazo

Gulf of Mexico's tropical cyclones and their relationship with the loop current



<https://cu-id.com/2377/v30n1e05>

✉Nathalí Valderá Figueredo^{1*}, ✉Gleidys Marcelo García², ✉Alfredo Victorero Hernández³

¹Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología de Cuba, La Habana, Cuba.

²Centro Meteorológico Territorial La Habana-Artemisa-Mayabeque. Instituto de Meteorología de Cuba, La Habana, Cuba.

³Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río, Instituto de Meteorología de Cuba, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Se presenta un análisis de la climatología de las tormentas tropicales y huracanes sobre el golfo de México durante el periodo 2000-2022, en particular con la formación, intensificación y las trayectorias que siguen los organismos ciclónicos tropicales en esta cuenca. Particular atención se prestó a la porción sudeste del golfo de México, zona donde suele localizarse con una mayor frecuencia la Corriente de Lazo. La temporada de ciclones tropicales en el golfo de México ocurre mayormente entre los meses de junio y octubre con una alta variabilidad de un año a otro. Entre el 2000 y 2022 se originaron 63 organismos sobre el golfo de México. La formación de ciclones tropicales tuvo lugar sobre todo el golfo mientras que la intensificación ocurrió sobre la mitad occidental, principalmente sobre la bahía de Campeche. Por otra parte, los procesos de formación e intensificación sobre el sudeste del golfo de México son muy pocos como para establecer relaciones concluyentes entre la ciclogénesis tropical y la Corriente de Lazo. No obstante, la intensificación ocurrió en ciclones tropicales de origen atlántico y en las inmediaciones de los 24 °N, coincidiendo con la posición de la Corriente de Lazo en su fase retraída.

Palabras clave: Ciclones Tropicales, Golfo de México, Corriente de Lazo.

ABSTRACT: An analysis of the climatology of tropical storms and hurricanes over the Gulf of Mexico during the period 2000-2022 is presented, particularly with the formation, intensification and trajectories followed by tropical cyclonic organisms in this basin. Particular attention was paid to the southeastern portion of the Gulf of Mexico, an area where the Loop Current is usually located with greater frequency. The tropical cyclone season in the Gulf of Mexico occurs mostly between the months of June and October with high variability from year to year. Between 2000 and 2022, 63 organisms were originated in the Gulf of Mexico. The formation of tropical cyclones took place over the entire Gulf while intensification occurred over the western half, mainly over the Bay of Campeche. On the other hand, the formation and intensification processes over the southeastern Gulf of Mexico are too few to establish conclusive relationships between tropical cyclogenesis and the Loop Current. However, the intensification occurred in tropical cyclones of Atlantic origin and near of 24°N, coinciding with the position of the Loop Current in its retracted phase.

Key words: Tropical Cyclones, Gulf of Mexico, Loop Current.

*Autor para correspondencia: Nathalí Valderá Figueredo. E-mail: nathali.valdera@gmail.com

Recibido: 03/10/2023

Aceptado: 14/01/2024

Nathalí Valderá Figueredo. Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología de Cuba.

Gleidys Marcelo García. Centro Meteorológico Territorial La Habana-Artemisa-Mayabeque. Instituto de Meteorología de Cuba, Instituto de Meteorología de Cuba. E-mail: gleidys.marcelo@insmet.cu

Alfredo Victorero Hernández. Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río, Instituto de Meteorología de Cuba. E-mail: alfredo@pri.insmet.cu

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses con respecto al contenido de este artículo.

Contribución de los autores: **Concepción de la idea:** Nathalí Valderá-Figueredo, Gleidys Marcelo-García y Alfredo Victorero-Hernández. **Manejo de los datos:** Nathalí Valderá-Figueredo, Gleidys Marcelo-García y Alfredo Victorero-Hernández. **Análisis de los datos:** Nathalí Valderá-Figueredo, Gleidys Marcelo-García y Alfredo Victorero-Hernández. **Investigación:** Nathalí Valderá-Figueredo, Gleidys Marcelo-García y Alfredo Victorero-Hernández. **Metodología:** Nathalí Valderá-Figueredo y Gleidys Marcelo-García. **Supervisión:** Nathalí Valderá-Figueredo. **Validación de los resultados:** Nathalí Valderá-Figueredo, Gleidys Marcelo-García y Alfredo Victorero-Hernández.

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/)

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha producido un incremento en la frecuencia y la intensidad de los huracanes en la cuenca del Atlántico Norte, incluyendo el mar Caribe y el golfo de México, así como un aumento en los eventos de intensificación rápida asociados a estos fenómenos hidrometeorológicos. Lo anterior puede estar asociado a la insuficiente información en la era pre-satelital (Landsea, 2007) y a los mecanismos de tele conexión como el Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO por sus siglas en inglés) (Goldenberg *et. al.*, 2001). Sin embargo, también se ha demostrado que el cambio climático está contribuyendo en gran medida a las variaciones y tendencias observadas recientemente (Emanuel, 2020).

Diferentes estudios nacionales y foráneos han abordado el comportamiento de la variabilidad de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte y en particular aquellos que han transitado por el golfo de México. (Valderá *et. al.*, 2021) realizaron una actualización del comportamiento de la actividad ciclónica tropical en la cuenca del Atlántico Norte durante el período 1851-2020 teniendo en cuenta la zona de origen. En ese trabajo se determinó para el área del Golfo de México una frecuencia media de formación de 1.72 organismos con nombre y una desviación típica de ± 1.32 , así como el máximo de formación en el mes de septiembre con una media de 0.57. El estudio también arrojó una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de la actividad ciclónica en el propio golfo de México.

Un aspecto importante de la variabilidad de los ciclones tropicales en el golfo de México es el impacto que tienen las corrientes oceánicas y la estructura termohalina, teniendo en cuenta que constituyen una fuente importante de calor y humedad para el desarrollo e intensificación de estos organismos ciclónicos.

Las predicciones basadas en los estudios de modelos oceánicos y climáticos de alta resolución indican que para el 2100 habrá una disminución entre un 20-25% de la intensidad del sistema de corrientes oceánicas que impulsa la corriente de Lazo, conocida como la corriente oceánica meridional del Atlántico (AMOC por sus siglas en inglés). Se predice que el resultado será una mayor frecuencia en el desprendimiento de los remolinos cálidos con un menor contenido calórico en el futuro que estará disponible para la intensificación rápida de los huracanes sobre el Golfo de México. Sin embargo, esto será compensado con un incremento de la temperatura superficial del mar (SSTs) en más de 1,5 grados Celsius en la mayor parte del Golfo de México, en comparación con la década de 1990 (Liu *et. al.*, 2015).

Una de las corrientes oceánicas que más se ha estudiado por los científicos en el área geográfica del Atlántico Norte es la Corriente de Lazo (Hofmann &

Worley, 1986). Se localiza entre las costas occidentales de Cuba y la zona centro-oriental del Golfo de México, al este del estrecho de Yucatán y al oeste del estrecho de la Florida, de manera que extrae sus aguas de la Corriente de Yucatán, que es alimentada por la Corriente del Caribe y proporciona un vínculo vital en el transporte de las aguas oceánicas de los trópicos hacia latitudes más altas (Pérez & Schneider, 2011). Generalmente se mueve hacia el norte, ingresando en el Golfo de México para luego girar en sentido de las agujas del reloj y unirse a la Corriente de la Florida. La velocidad de la corriente, como promedio es de 1-4 nudos (0.5-2 m/s), mientras que la estructura de lazo se puede conservar hasta 1 km de profundidad.

En el entorno de la Corriente de Lazo (LC), el contenido de calor latente y sensible, la densidad del mar y la evaporación presentan parámetros altos, los cuales, estimulan la intensificación de los ciclones tropicales (TC). Por otra parte, la LC es un torbellino anticiclónico, que se comporta como un sumidero de aguas cálidas que favorecen a la intensificación de los TC (Mitrani & Cabrales, 2020). En este sentido (Rudzin *et. al.*, 2019) advierte que si bien los torbellinos pueden ser sumideros de aguas cálidas o afloramientos de aguas relativamente frescas, los primeros en general favorecen la intensificación de los ciclones tropicales mientras que los segundos no necesariamente tienen que ocasionar el debilitamiento de los TC, puesto que estas aguas, pueden conservar temperaturas cercanas e incluso superiores a los 26.5°C.

La zona más propicia para la génesis e intensificación de los TC en las inmediaciones de Cuba, se localiza al sur de la Isla de la Juventud, donde todos los parámetros de la estructura termohalina alcanzan sus valores máximos, en coincidencia con la circulación atmosférica conducente a la formación de disturbios iniciales en la zona y al tránsito de los TC hacia ella. Al sur de las provincias occidentales esporádicamente puede observarse afloramiento de agua fresca en torbellinos ciclónicos; rara vez esto se observa en la costa norte (Mitrani & Cabrales, 2020).

A partir de este criterio es que se realiza la presente investigación, la cual tiene como objetivo analizar la formación, intensificación y trayectorias de los TC sobre el golfo de México, en particular sobre el sudeste del golfo y el norte de la región occidental de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención de datos y selección de la muestra

En el análisis del comportamiento de la actividad ciclónica tropical en el golfo de México se consideró el periodo 2000-2022, el cual comprendió 23 temporadas ciclónicas. Para ello se utilizó el reanálisis de Huracanes del Atlántico Norte HURDAT2 (Landsea *et. al.*, 2015). Una vez extraídos los ciclones tropicales dentro del periodo de interés, se desestimaron aquellos

casos que se quedaron como depresiones tropicales además de aquellos organismos subtropicales. Los organismos restantes se estratificaron según la zona de formación e intensificación, haciendo énfasis en aquellos que lo hicieron en la zona en la que suele localizarse con una mayor frecuencia la Corriente de Lazo.

Dominio geográfico utilizado

El área de estudio, comprende el sudeste del golfo de México y limita al norte con los cayos de la Florida, al sur con el canal de Yucatán, al este con la península de Hicacos y al oeste con la península de Yucatán. En la [figura 1](#) se presenta el dominio geográfico utilizado en la investigación.

Análisis de la formación e intensificación de los ciclones tropicales

A efectos de la presente investigación se considera la formación de un ciclón tropical a partir del momento que alcanza por primera vez la fase de tormenta tropical. La intensificación fue analizada en aquellas tormentas tropicales cuyos vientos máximos sostenidos alcanzaron la fuerza de huracán. Asimismo, fueron examinados los cambios de categoría de los huracanes según la escala Saffir-Simpson.

La construcción de los mapas se realizó mediante el Sistema de Información Geográfica Quantum Gis Lima (QGIS v.3.32). Adicionalmente se utilizaron métodos de la estadística descriptiva para caracterizar la frecuencia, el comportamiento inter e intra anual, la formación, la intensificación, la procedencia y el destino entre otras características de interés.

Análisis de la trayectoria de los ciclones tropicales

Resulta necesario aclarar que no se analizó la trayectoria completa del ciclón tropical, sino que se examinó la procedencia del ciclón tropical justo antes de llegar al área de estudio y hacia dónde se dirige. De este modo, las zonas de procedencia circundantes al área de estudio son las siguientes: mar Caribe, México, Estados Unidos, el estrecho de La Florida y el propio golfo de México. Aclarar que en el caso del mar Caribe están contemplados los disturbios originados

en el Atlántico que siguieron rumbo al Caribe, además de aquellos formados en el mismo Caribe. También se tomó en cuenta el sudeste del golfo de México, pues existen ciclones tropicales que inician o finalizan su trayectoria dentro del área de estudio. Fueron analizadas además las trayectorias más frecuentes que siguieron los sistemas originados e intensificados sobre la región de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ciclones tropicales sobre el golfo de México

Entre los años 2000 y 2022 se originaron 360 ciclones tropicales (tormentas tropicales y huracanes) sobre toda la cuenca atlántica. De ellos, 63 organismos se gestaron sobre el área geográfica del golfo de México, a razón de 2.7 al año. El 23.8 % alcanzó la categoría de huracán. En las temporadas ciclónicas del 2003 y del 2013 se registraron el mayor número de formación de ciclones tropicales sobre el golfo de México con cinco casos en ambos años.

Variabilidad inter-intra anual

La máxima frecuencia de formación de ciclones tropicales sobre el golfo de México ocurrió en el mes de septiembre mientras que el mes menos activo es noviembre. En el bimestre agosto-septiembre se concentra la mayor cantidad de ciclones tropicales con un 58.3 %. Asimismo, los huracanes tienen su pico máximo de formación en el mes de septiembre, seguido por julio, mientras que la actividad mínima se produce en el mes de noviembre. De interés resulta la elevada tasa de gestación de huracanes sobre el golfo de México durante septiembre. Y es que esta situación se encuentra estrechamente relacionada con las características de la circulación atmosférica regional, en particular con el descenso en latitud de las zonas frontales que tiene lugar a finales del periodo estacional lluvioso.

Análisis de las zonas de formación e intensificación

En la [figura 3](#) se muestra la distribución de la ciclo-génesis tropical sobre el golfo de México. En ella se

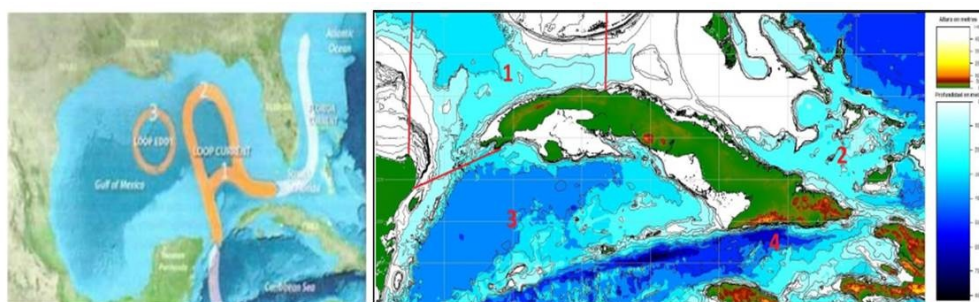


Figura 1. La Corriente de Lazo. (A) En sus diferentes fases: 1- retraída, 2- extendida y 3- con anillo de núcleo caliente independiente del vórtice principal. (B) Ampliación sobre la zona geográfica que ocupa el área de interés (Región 1).

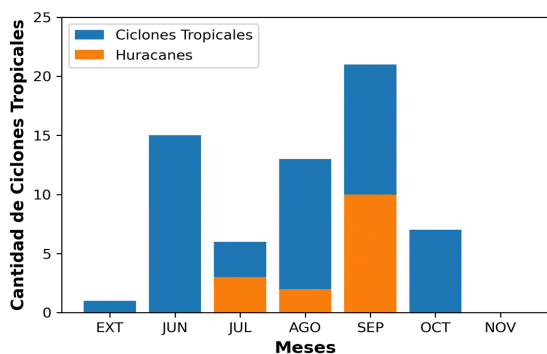


Figura 2. Frecuencia de formación de los ciclones tropicales sobre el golfo de México en el periodo 2000-2022.

puede apreciar que las tormentas tropicales se originan indistintamente en la totalidad del golfo de México. Similares comportamientos mostraron las tormentas tropicales que alcanzaron, en algún momento de su vida, la categoría de huracán.

A pesar de la génesis de 63 ciclones tropicales sobre el golfo de México, sobre la región ocurrieron 69 procesos de intensificación. El 38 % de ellas se correspondieron con la conversión de tormentas tropicales en huracanes mientras que el 62 % restante se asocian al cambio de intensidad de los huracanes. El tránsito de huracán categoría 1 a 2 fue el más común seguido por el de categoría 2 a 3, con 17 y 14 casos respectivamente. Apenas en cuatro de los procesos se alcanzó la máxima intensidad de la escala Saffir-Simpson.

En la [figura 4](#) se muestra la distribución espacial de los lugares en los que se intensificaron los ciclones tropicales sobre el golfo de México. Aquí se tomaron en cuenta los ciclones tropicales que no se originaron en el área del golfo de México, pero que sí transitaron y se intensificaron sobre ella. Las tormentas tropicales mostraron una predilección a intensificarse sobre la mitad oeste del golfo de México, apreciándose una mayor concentración de las coordenadas de origen so-

bre la bahía de Campeche. Los huracanes categorías 1 y 2 no manifestaron una zona de intensificación preferente. No obstante, en el caso de estos últimos sí comenzaron a agruparse más hacia el sudeste del golfo de México, lo que pudiera estar relacionado con la presencia de aguas con temperatura superficial del mar elevadas asociadas a la Corriente de Lazo. Los procesos de intensificación restantes, se observaron en más del 50 % de los casos hacia la porción nordeste del golfo de México.

La mayor contribución a la intensificación sobre la zona de estudio estuvo a cargo de aquellos ciclones tropicales originados sobre el mar Caribe con el 45 %. El océano Atlántico ocupó el segundo lugar con una contribución que representó el 36 % de la muestra; el 19 % restante le perteneció al área del golfo de México (Ver [figura 5](#)).

Análisis de las trayectorias

Durante el periodo de estudio se identificaron 130 ciclones tropicales que pasaron o tuvieron génesis en toda el área del golfo de México, incluyendo los analizados anteriormente en el sudeste del golfo sobre parte de la Corriente de Lazo, que se encuentra próxima al occidente de Cuba, el canal de Yucatán y el oeste del estrecho de la Florida.

En la [tabla 1](#) se presenta la distribución mensual de los ciclones tropicales que transitaron sobre el área geográfica del golfo de México. Los meses de mayor actividad ciclónica son septiembre, agosto y octubre, recogiendo entre los ellos el 68.5 % de la muestra. Aclarar que, de los 130 organismos ciclónicos analizados, 6 de ellos permanecieron sobre el golfo de México como depresiones tropicales, los cuales no tuvieron un desarrollo ulterior sobre esta zona geográfica.

Si se toma en cuenta la región de procedencia, la zona de mayor aporte es el golfo de México con un 43 %, de los cuales una gran parte realizaron un tra-

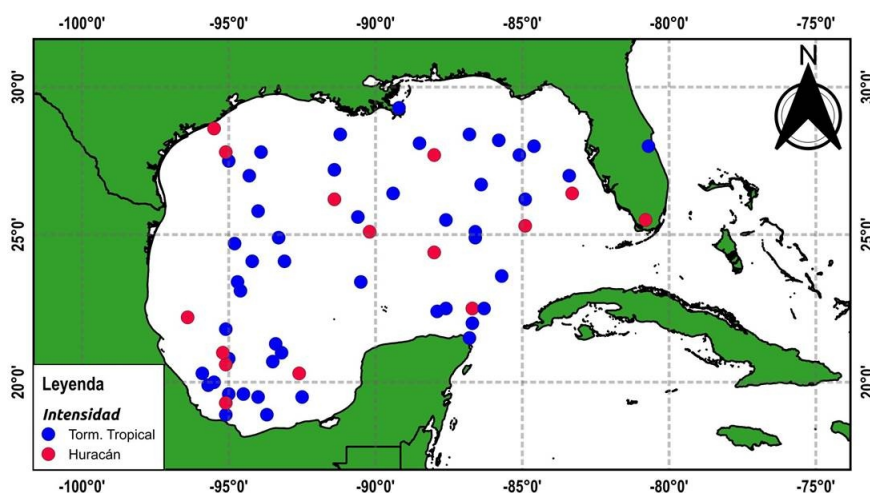


Figura 3. Lugar de formación de los ciclones tropicales originados sobre el golfo de México durante el periodo 2000-2022. En color rojo se resaltan el origen de aquellos organismos que se convirtieron en huracanes.

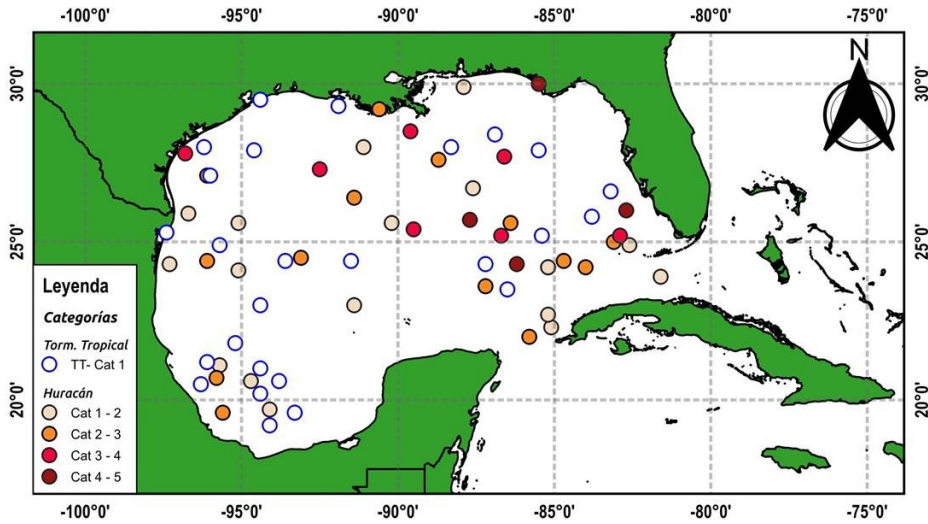


Figura 4. Distribución de los procesos de intensificación que han tenido lugar sobre el golfo de México durante el periodo 2000-2022, estratificados por las categorías alcanzadas por los ciclones tropicales.

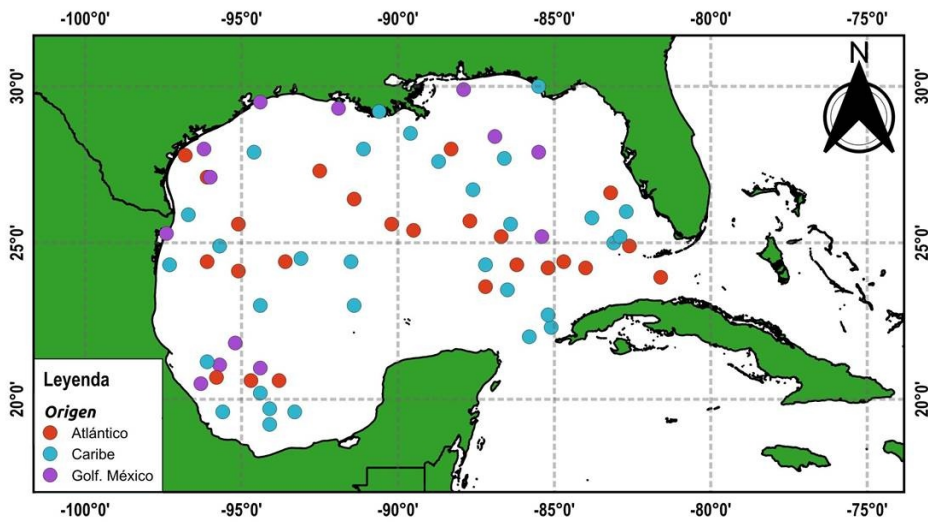


Figura 5. Distribución de los procesos de intensificación sobre el golfo de México durante el periodo 2000-2022, estratificados por el lugar de origen del ciclón tropical.

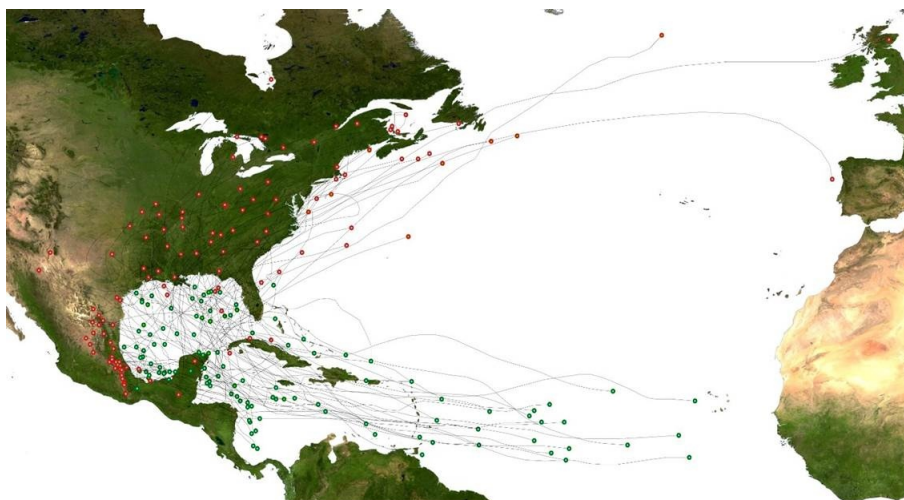


Figura 6. Ciclones tropicales que en su trayectoria transitaron sobre el golfo de México en el periodo 2000-2022. Los puntos verdes representan el origen de la trayectoria del ciclón tropical y el rojo el final.

Tabla 1. Distribución mensual de los ciclones tropicales que en su trayectoria transitaron sobre el golfo de México.

Meses	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Frecuencia	3	18	15	32	36	21	4	1	130
Porcentaje	2.3	13.8	11.5	24.6	27.7	16.2	3.1	0.1	100

yecto en sentido meridional a través del mismo golfo y otros se dirigieron en sentido latitudinal hacia las costas mexicanas. De manera individual, el mar Caribe y el Atlántico concentraron el 32 % y el 19 % del total de casos respectivamente. Sin embargo, si se combinan los sistemas procedentes de ambas cuencas, la cifra se eleva a un 51 %, teniendo en cuenta que la inmensa mayoría de los organismos que provienen del Atlántico y que transitan rumbo al golfo de México, se desplazan sobre el área caribeña. Este resultado coincide con (Ballester *et. al.*, 2010), (Valderá *et. al.*, 2021) y (Marcelo, 2021) al ratificar que la mayor afluencia de ciclones tropicales hacia el golfo de México es a través del área caribeña. Las trayectorias procedentes del mar Caribe se deben mayormente a organismos que se desplazan con dirección al Oeste y cruzan sobre la bahía de Campeche, a aquellos que recorren sobre la zona central del golfo y a los que transitan hacia el norte por el canal de Yucatán, justo sobre la zona donde suele ubicarse con una mayor frecuencia la corriente de Lazo.

También resulta de interés que el 5 % de los casos, incursionaron en sentido latitudinal a través del estrecho de la Florida (Figura 7 A). Del total de los sistemas provenientes del Atlántico, apenas el 3 % iniciaron su trayectoria en la parte occidental de esta área oceánica.

En cuanto a la zona de destino, en la figura 7 B se puede apreciar que el 45 % de los casos se desplazaron hacia los Estados Unidos con un total de 58 organismos, describiendo la inmensa mayoría una trayectoria meridional. Por el contrario, los desplazamientos latitudinales suelen ser poco frecuentes. Adicionalmente, el 35 % de los sistemas transitaron hacia las costas de México y el 10 % lo hace rumbo al estrecho de La Florida. En el golfo de México terminaron su trayectoria el 9 % de los organismos mientras que en el mar Caribe apenas lo hizo el 2 %.

Analizando detenidamente las gráficas de la figura 7, se puede acotar lo siguiente:

- A. La presencia de los ciclones tropicales sobre el golfo de México se debe principalmente a organismos que proceden del mar Caribe y del golfo de México, que aglutinan el 75 % de los casos entre ambas zonas. No obstante, de manera individual, el mayor aporte se deriva de aquellos sistemas que nacen y evolucionan en el propio golfo de México con un 43 %. Otras zonas de menor importancia son el Atlántico y el Estrecho de la Florida.
- B. Desde el golfo de México los ciclones tropicales se desplazan en mayor medida hacia los Estados Uni-

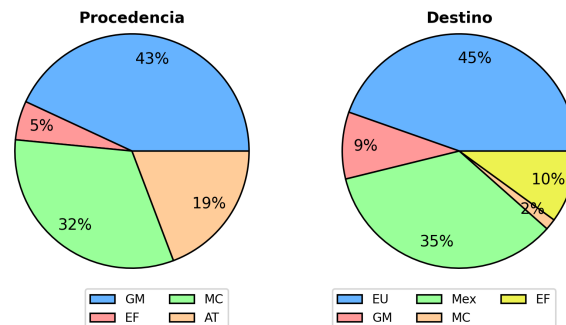


Figura 7. Presencia de ciclones tropicales sobre el golfo de México, agrupados por la región de procedencia (Fig 7A) y la de destino (Fig 7B): MC- Mar Caribe, EF- Estrecho de la Florida, GM- Golfo de México, EU- Estados Unidos, Mex- México y AT- Atlántico.

dos con el 45 % y en una menor proporción hacia México, el Estrecho de la Florida y el propio golfo de México en orden descendente de importancia.

- C. La trayectoria meridional predomina notablemente sobre el área analizada.

Las trayectorias latitudinales ocurren cuando los ciclones tropicales se desplazan al oeste, cruzando sobre las Bahamas septentrionales, el Estrecho de la Florida e internándose muchas veces en la porción nororiental del golfo de México.

El resultado C reúne las trayectorias más frecuentes desde el mar Caribe, respondiendo al peso que tiene esta zona en la ciclogénesis tropical y la evolución de los sistemas. Ello se debe en gran medida a la entrada de la corriente de Yucatán, y a la interacción con las condiciones atmosféricas (Palacios & Ballester, 2007; Ballester *et. al.*, 2010; Pérez & Schneider, 2011).

Ciclones tropicales sobre el sudeste del golfo de México

Análisis de las zonas de formación e intensificación

De los 63 casos de formación de organismos ciclónicos tropicales en el golfo de México, apenas seis ocurrieron sobre el sudeste del golfo, lo que representa el 9.5 % de la muestra. En la figura 8 se puede apreciar que área de formación de se localizó hacia el Oeste del dominio analizado, entre los 85 y 87 °W. De las seis tormentas tropicales, solamente una alcanzó la categoría de huracán, pero fuera de los límites del área de interés.

Sobre la región, ocurrieron 11 procesos de intensificación que representa el 16 % de 69 que tuvieron lugar sobre el golfo de México. El incremento de los vientos máximos más frecuente fue aquel correspon-

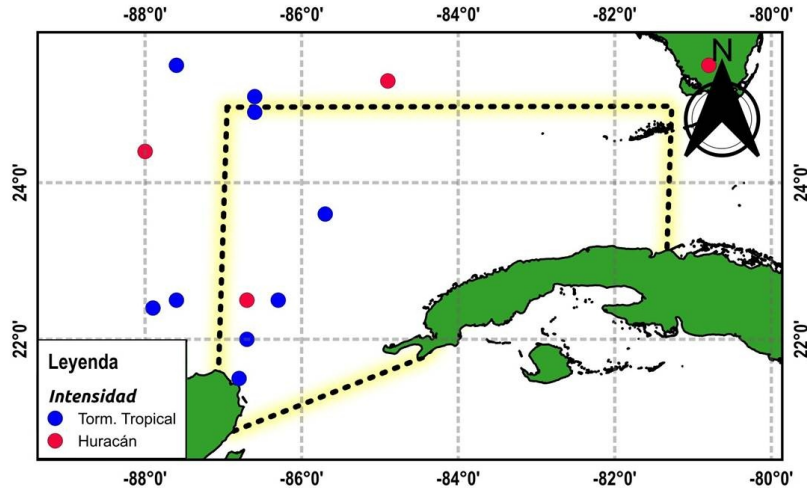


Figura 8. Lugar de formación de los ciclones tropicales originados sobre la zona de estudio durante el periodo 2000-2022. En color rojo se resaltan el origen de aquellos organismos que se convirtieron en huracanes en algún momento de su vida.

diente a las categorías de la 1 a la 2, seguida por el de la 2 a la 3 con cinco y tres casos respectivamente. Este comportamiento es similar al mostrado por el golfo de México en su totalidad. Una sola tormenta tropical se convirtió en huracán categoría 1. De igual manera, también se produjo solamente un proceso de intensificación de la categoría 3 a 4 y de la 4 a la 5 (Ver Figura 9).

En la figura 10 puede apreciarse que el mayor aporte a los procesos de intensificación de los ciclones tropicales dentro de la región de estudio lo tienen las cuencas ciclogénicas del océano Atlántico (6) y el mar Caribe (5). La diferencia es poco significativa con apenas un solo caso de una zona a la otra. Los organismos tropicales que se originan sobre el golfo de México no se intensificaron sobre el área de estudio. Esto pudiera tener relación con las características

cerradas del área analizada, lo que incide además en la duración de los ciclones (Jáuregui, 1975).

Resulta interesante la distribución de las zonas de intensificación mostrada en la figura 10. Para los ciclones de procedencia atlántica, las latitudes de la intensificación se concentran en la gran mayoría de los casos por encima de los 24 °N mientras que los del mar Caribe suelen hacerlo sobre el canal de Yucatán. Ello pudiera estar relacionado con vórtices de núcleo caliente que, cada cierto tiempo, se expanden hacia el norte, pudiendo desprenderse e independizarse del vórtice principal de la Corriente de Lazo.

Análisis de las trayectorias

Durante el periodo de estudio se identificaron 38 ciclones tropicales que transitaron sobre el sudeste del

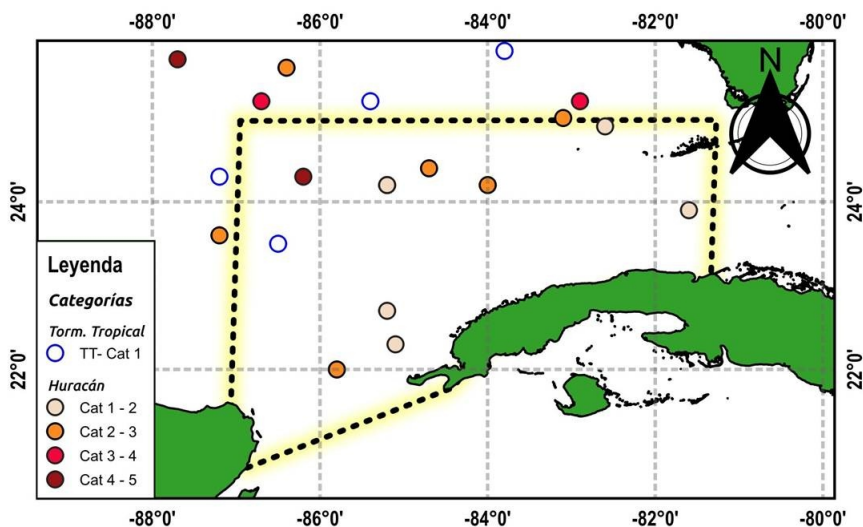


Figura 9. Distribución de los procesos de intensificación que han tenido lugar sobre la zona de estudio durante el periodo 2000-2022, estratificados por las categorías alcanzadas por los ciclones tropicales.

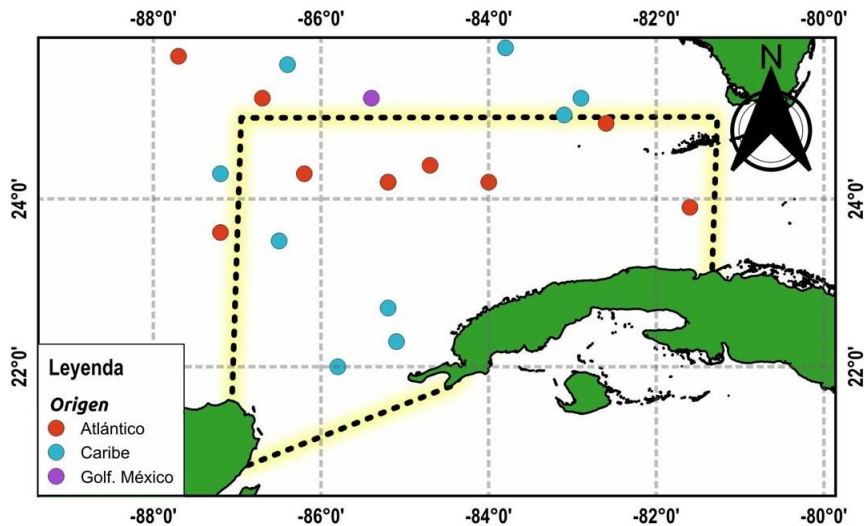


Figura 10. Distribución de los procesos de intensificación sobre la zona de estudio durante el periodo 2000-2022, estratificados por el lugar de origen del ciclón tropical.

golfo de México, donde se encuentra parte de la Corriente de Lazo. En la **figura 11** se pueden apreciar las trayectorias de los organismos ciclónicos tropicales que se desplazaron sobre el área de interés.

En la **tabla 2** se presenta la distribución mensual de los ciclones tropicales que en su trayectoria pasaron por el sudeste del golfo de México. Los meses en los que un mayor número de organismos pasan por el sudeste del golfo de México son agosto, septiembre y octubre, seguido por junio. En el trimestre de agosto a octubre se recoge el 74 % de la muestra.

Más del 70 % de los ciclones tropicales que transitan sobre el área de estudio proceden del Mar Caribe. El 18 % de los ciclones tropicales realizaron un tra-

yecto en sentido latitudinal a través del estrecho de la Florida mientras que apenas el 8 % de los sistemas contenidos en el área de estudio inició su trayectoria en el sudeste del golfo de México (**Figura 12 A**).

En cuanto al área de destino, en la **figura 12 B** se observa que el 74 % de los ciclones tropicales se desplazan hacia los Estados Unidos, describiendo una trayectoria meridional. Los desplazamientos latitudinales tienen baja presencia, inferior al 10 %. Apenas un 5 % se mueve hacia las costas mexicanas y un 8 % lo hace hacia el estrecho de La Florida. Aquí también se observa que el 13 % de los ciclones tropicales terminan su trayecto en México.

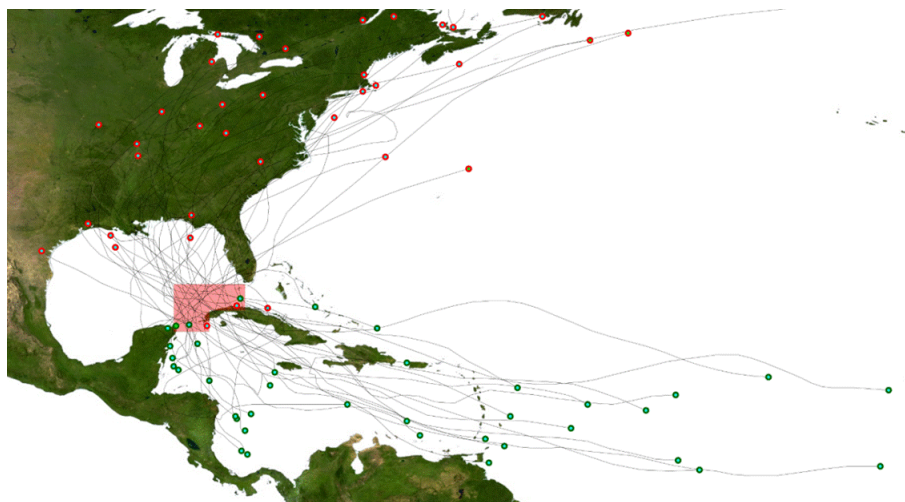


Figura 11. Ciclones tropicales que en su trayectoria pasaron por el sudeste del golfo de México en el periodo 2000-2022. Los puntos verdes representan el origen de la trayectoria del ciclón tropical y el rojo el final.

Tabla 2. Distribución mensual de los ciclones tropicales que en su trayectoria pasaron por el sudeste del golfo de México.

Meses	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Total
Frecuencia	2	4	2	13	8	7	2	38
Porcentaje	5.3	10.5	5.3	34.2	21.1	18.4	5.3	100

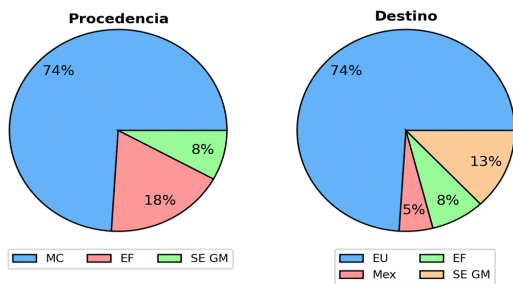


Figura 12. Presencia de ciclones tropicales sobre el sudeste del golfo de México, agrupados por la región de procedencia (Fig. 12A) y la de destino (Fig. 12B): MC- Mar Caribe, EF- Estrecho de la Florida, SE GM- Sudeste del golfo de México, EU- Estados Unidos, Mex- México.

Analizando detenidamente las gráficas de la figura 12, se puede acotar lo siguiente:

- La presencia de los ciclones tropicales en el área de estudio se debe a que en su trayecto vienen del mar Caribe o del estrecho de la Florida.
- Desde el área de interés se pueden mover hacia México, Estados Unidos de América o al estrecho de la Florida.
- La trayectoria meridional predomina ampliamente en el dominio geográfico analizado.
- Porcentualmente es mayor la inyección de ciclones tropicales del estrecho de la Florida hacia el área de estudio (18 %) que viceversa (8 %).
- El 8% de los casos inician su trayecto en el sudeste del golfo de México mientras que el 13% de los casos lo finalizan en esta zona.

El resultado C era de esperar. El área de estudio abarca el norte de las costas occidentales cubanas, estando presente la corriente de Yucatán como flujo de entrada. Además, como se explicó con anterioridad, el mar Caribe es una zona importante para la ciclogénesis tropical y para el movimiento de los ciclones tropicales provenientes del Atlántico. Confirma lo planteado por (Palacios & Ballester, 2007; Ballester *et al.*, 2010; Pérez & Schneider, 2011).

El resultado D destaca que el rumbo Este-Oeste se observa con una mayor frecuencia que el Oeste-Este. Por otro lado, del total de ciclones tropicales que se movieron por el estrecho de la Florida hacia el sudeste del golfo de México, el 71.4 % de los casos lo hizo en el mes de agosto. Ello ratifica los planteamientos de (Kourafalou *et al.*, 2017; Marcelo, 2021).

El resultado E es interesante, dado que las condiciones oceánicas de la estructura termohalina son propicias para el desarrollo ciclónico tropical, en cambio, porcentualmente es mayor la cifra de los ciclones tropicales que culminan su trayecto en el área de interés que las de los que lo inician. Esto sugiere un desbalance en el acople océano-atmósfera, de modo que, las condiciones atmosféricas no son las más idóneas. La presencia de la Corriente de Lazo profundiza la capa

termohalina, siendo las condiciones oceánicas idóneas para el mantenimiento e intensificación del ciclón tropical.

CONCLUSIONES

- Entre el 2000 y 2022 se originaron 63 organismos sobre el golfo de México a razón de 2.7 por año.
- La formación de ciclones tropicales tuvo lugar sobre todo el golfo mientras que la intensificación ocurrió sobre la mitad occidental, principalmente sobre la bahía de Campeche.
- El análisis de los procesos de formación e intensificación sobre el sudeste del golfo de México reveló que la muestra es muy pequeña como para establecer relaciones concluyentes entre la ciclogénesis tropical y la Corriente de Lazo. No obstante, tras el examen de la zona donde ocurrieron las intensificaciones, se puede decir que es más frecuente en ciclones tropicales de origen atlántico y suele suceder cerca de los 24 °N, coincidiendo con la posición de la Corriente de Lazo en su fase retraída.
- Las tormentas tropicales y huracanes que cruzan sobre el golfo de México muchas veces tienen su origen en bajas tropicales que provienen de regiones aledañas, principalmente del área oceánica del Atlántico y el mar Caribe, en particular sobre la porción noroccidental de esta última.

RECOMENDACIONES

- Extender el periodo de estudio analizado.
- Incluir en el análisis las zonas geográficas que ocupa la Corriente de Lazo en su fase extendida y el vórtice independiente que suele ubicarse en el centro-norte del golfo de México.
- Complementar el estudio realizado con el análisis del comportamiento de la temperatura superficial del mar y la circulación termohalina.

REFERENCIAS

- BALLESTER, M.; GONZÁLEZ, C. & PÉREZ, R. (2010). *Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico*. Editorial Academia.
- EMANUEL, K. (2020). Response of Global Tropical Cyclone Activity to Increasing CO₂: Results from Downscaling CMIP6 Models. *Journal of Climate*, 34 (1): 57-70. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-20-0367.1>.
- GOLDENBERG, S.B.; LANDSEA, C.W.; MESTAS-NUÑEZ, A.M. & GRAY, W.M. (2001). The Recent Increase in Atlantic Hurricane Activity: Causes and Implications. *Science*, 293(5529), 474-479. <https://doi.org/10.1126/science.1060040>.

- HOFMANN, E.E. & WORLEY, S.J. (1986). An investigation of the circulation of the Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*, 91(C12), 14221-14236. <https://doi.org/10.1029/jc091ic12p14221>.
- JÁUREGUI, E. (1975). Los sistemas de tiempo en el Golfo de México y su vecindad. *Investigaciones Geográficas* 1(6), 7-36. DOI:10.14350/ig.58888.
- KOURAFALOU, V.; ANDROULIDAKIS, Y.; LE HÉNAFF, M. & KANG, H. (2017). The Dynamics of Cuba Anticyclones (CubANs) and Interaction With the Loop Current/Florida Current System. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(10), 7897-7923. DOI: 10.1002/2017jc012928.
- LANDSEA, C.; FRANKLIN, J. & BEVEN, J. (2015). *The revised Atlantic hurricane database (HURDAT2)*. <https://www.nhc.noaa.gov/data/hurdat/hurdat2-format-atlantic.pdf>.
- LANDSEA, C. (2007). Counting Atlantic tropical cyclones back to 1900. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 88(18), 197-202. DOI:10.1029/2007eo180001.
- LIU, Y.; LEE, S.; ENFIELD, D.B.; MUHLING, B.A.; LAMKIN, J.T.; MULLER-KARGER, F.E. & ROFFER, M.A. (2015). Potential Impact of Climate Change on the Intra-Americas Sea: Part-1. a Dynamic Downscaling of the Cmp5 Model Projections. *Journal of Marine Systems*, 148 (August), 56-69. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2015.01.007.
- MARCELO, G.C. (2021). *Variaciones en las trayectorias de los ciclones tropicales en la cuenca del Atlántico Norte*. [Tesis en opción al título académico de Máster en Ciencias Meteorológicas inédita]. Universidad de La Habana.
- MITRANI, I. & CABRALES, J. (2020) Potencial energético de las corrientes marinas en aguas cubanas. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(3).
- NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING AND MEDICINE (U.S). Committee On Advancing Understanding Of Gulf Of Mexico Loop Current Dynamics, y Gulf Research Program. (2018). *Understanding and predicting the Gulf of Mexico Loop Current: critical gaps and recommendations*. The National Academies Press.
- PALACIOS, J.M. & BALLESTER, M. (2007). *Variabilidad en la frecuencia de los huracanes del Caribe en octubre durante el periodo 1951-2005*. IV Congreso Cubano de Meteorología.
- PÉREZ, I. & SCHNEIDER, W. (2011). *Oceanografía de la Cuenca de Yucatán, Mar Caribe: Implicaciones dinámicas, observaciones y modelos numéricos*. Editorial Academia Española.
- RUDZIN, J.E.; SHAY, L.K. & DE LA CRUZ, B.J. (2019). The Impact of the Amazon-Orinoco River Plume on Enthalpy Flux and Air-Sea Interaction within Caribbean Sea Tropical Cyclones. *Monthly Weather Review*, 147(3), 931-950. DOI: 10.1175/mwr-d-18-0295.1.
- VALDERÁ, N.; GONZÁLEZ, C. & PÉREZ, R. (2021). Variabilidad de la actividad ciclónica tropical en el océano Atlántico, golfo de México, mar Caribe y Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(4).