

Variabilidad de la actividad ciclónica tropical en el océano Atlántico, golfo de México, mar Caribe y Cuba



Variability of the tropical cyclone activity in the Atlantic Ocean, Gulf of Mexico, Caribbean Sea and Cuba

CU-ID: 2377/v27n4e09

 Nathalí Valderá Figueredo ^{1*},  Cecilia González Pedroso ¹,  Ramón Pérez Suárez ²

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

²Centro del Clima, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

RESUMEN: En la presente investigación se expone una actualización del comportamiento de la actividad ciclónica tropical en la porción norte de la cuenca Atlántica durante el periodo 1851-2020 tipificados según la zona de origen. Se analiza la distribución de la frecuencia en cada mes de la temporada ciclónica, así como en aquellos meses extemporáneos. También se examina la tendencia de la serie temporal y la posible existencia de algún punto de cambio. Entre los años 1851 y 2020 se observó una gran variabilidad multi e interanual de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico con una tendencia al incremento, dado por el aumento de la ciclogénesis tropical en el trimestre más activo, con más del 75 % de los casos. La máxima frecuencia de formación ocurrió en septiembre y en el área oceánica del Atlántico. Como promedio, las temporadas comenzaron a inicios de julio y terminaron a finales de octubre. En Cuba, desde 1996 se inició un nuevo período de una gran actividad ciclónica, a pesar de la no afectación en los últimos dos años. Entre el 2001 y el 2020, Cuba ha sido afectado por 13 huracanes, 10 de ellos de gran intensidad.

Palabras clave: Variabilidad climática, Ciclones Tropicales, Huracanes.

ABSTRACT: In this work it shows up an upgrade of the behavior of the tropical cyclone activity in the north portion of the Atlantic basin during the period 1851-2020 classified by the origin area. Besides was analyzed the distribution of the frequency in every month of the hurricane season, as well as in those months outside the season. It is also examined the tendency of the temporary series and the possible existence of a point of change. Among the years 1851 and 2020 a great variability was observed multi and interannual of the frequency of the tropical cyclones in the Atlantic with a tendency to the increment, given by the increase of the tropical cyclogenesis in the most active trimester, with more than 75% of the cases. The maximum formation's frequency occurred in September and in the oceanic area of the Atlantic. As average, the seasons started to beginnings of July and finished at the end of October. In Cuba, since 1996 a new period of a great cyclonic activity began, in spite of the non-affectation in the last two years. Between the 2001 and the 2020, Cuba has been affected by 13 hurricanes, 10 of them were major hurricanes.

Key Words: Climate Variability, Tropical Cyclones, Hurricanes.

INTRODUCCIÓN

Los estudios cronológicos y las climatologías asociadas a los sistemas meteorológicos soportan las investigaciones para el conocimiento de la variabilidad que ellos presentan, en particular, los ciclones tropicales (CT), que aquí se tratan. La frecuencia de estos organismos tropicales y su influencia, se refleja además en la variabilidad de ellos en las diferentes escalas temporales como la estacional, bienal, semidecenal, decenal y multidecenal, constituyendo la actualidad e importancia de este estudio, en el que se aborda el comportamiento de la variabilidad de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte y en particular de aquellos que afectan al archipiélago cubano.

Diferentes estudios nacionales y foráneos se han desarrollado sobre esa temática para el Atlántico Norte (AN), entre ellos los de (Ballester *et. al.*, 1995, 2004, 2005, 2009; Limia *et. al.*, 2000). Y, es a una muestra de ciclones tropicales en el Atlántico Norte para el periodo desde 1886 hasta 2008 que (Ballester *et. al.*, 2010), realizaron el análisis a las variaciones y tendencias a la variabilidad de la actividad de los ciclones tropicales en las áreas del océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba. Ese examen arrojó una tendencia al incremento, dada fundamentalmente por el aumento observado en el trimestre agosto-octubre. También se determinó en ese trabajo con respecto a Cuba, que en el periodo 2001-2008 fue afectada por siete huracanes intensos, lo que constituye un récord de afectación.

*Autor para correspondencia: Nathalí Valderá Figueredo. E-mail: nathali.valdera@insmet.cu

Recibido: 08/06/2021

Aceptado: 20/12/2021

La importancia de los pronósticos del tiempo en la escala temporal estacional, en particular, está continuamente adquiriendo más relevancia y se vuelve más sensitiva a la ocurrencia de los fenómenos extremos del tiempo. Debido a esta sensibilidad hay necesidad de una mejor comprensión de los estados atmosféricos incidentes en la variabilidad estacional. Y en ese marco, es considerada la variabilidad de la actividad ciclónica en la cuenca atlántica como una de las que sufre múltiples variaciones temporales, así como sus tendencias en diferentes períodos que influyen en las muestras de trabajo con las que se obtienen las ecuaciones de predicción estacional de los CT (Ejemplo: Modelo Estadístico para el pronóstico de la actividad ciclónica en el océano Atlántico, el Golfo de México, el mar Caribe y Cuba de (Ballester *et. al.*, 2010). Es por ello que se hace necesario el análisis permanente de esa actividad ciclónica tropical, de ahí que el objetivo de este trabajo sea actualizar y analizar el comportamiento de la variabilidad de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte en el periodo desde 1851 hasta 2020, a través de las características estadísticas mensuales de las tormentas tropicales y huracanes desarrollados en toda la cuenca atlántica y en las distintas áreas en que ésta se dividió (región oceánica del Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba), así como las tendencias en esas áreas y en toda la región de estudio.

Se estima que, al extender en este estudio la serie de ciclones tropicales del Atlántico Norte (170 temporadas ciclónicas) en la que están reflejadas no solo las oscilaciones de baja y alta frecuencia de esos organismos, sino también las oscilaciones de corto y largo periodo oceánicas y atmosféricas, los resultados que se alcancen mostrarán nuevas cifras o corroborarán las ya encontradas por (Ballester *et. al.*, 2010), entre otros autores.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el análisis del comportamiento de la actividad ciclónica tropical en la cuenca atlántica se consideró el periodo 1851-2020, para un total de 170 temporadas ciclónicas. Para ello se utilizaron información del reanálisis del HURDAT2¹ (Landsea *et. al.*, 2015), además de la cronología de los huracanes que han afectado a Cuba en el periodo 1791-2020 (INSMET, 2020). Se complementó esta data con la base de datos confeccionadas en el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología sobre los ciclones tropicales y con la información de los resúmenes de las temporadas ciclónicas².

Después de extraídos los datos y tipificados según la zona de formación de los ciclones tropicales, se realizó el procesamiento estadístico mediante el uso de estadística descriptiva en busca de elementos que caracterizaran la muestra en cuestión, con especial énfasis en los años posteriores al 2000. El tratamiento

de las tendencias y la determinación de los posibles puntos de cambio en la serie temporal se realizaron a partir de la aplicación de las dójimas de Mann, el test de Wald-Wolfowitz, la prueba complementaria de Fisher y la prueba no paramétrica de Pettitt (Sneyers, 1990). Se prefijó un nivel de significación de un 5 % para la comprobación de las hipótesis y se utilizó el software WinStat.exe en su versión 2.0 (Mellado & Borrajeró, 1997) para la realización de los mismos. Para la tipificación de los organismos ciclónicos según las zonas de formación se utilizó el software Quantum Gis (QGIS v.3.0.3), sistema de información geográfica de software libre y de código abierto para plataformas GNU/Linux, Unix, MacOS, Microsoft Windows y Android.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se considera necesario aclarar que los resultados alcanzados en esta investigación pueden diferenciarse de los obtenidos en estudios anteriores por varios factores. El primero de ellos es la extensión del inicio de la serie temporal de 1886 a 1851. Por otra parte, en el reanálisis del HURDAT2 se revisaron las trayectorias e intensidades de las tormentas tropicales y huracanes. También fueron revelados e incluidos nuevos organismos mientras que otros fueron removidos de la base de datos. Los cambios realizados en el HURDAT2 aparecen reflejados en los metadatos de la base de datos³. Mencionar además que el HURDAT2 tomó en cuenta las modificaciones realizadas en la escala Saffir-Simpson, vigentes a partir del año 2012. Los cambios introducidos estuvieron relacionados con la conversión entre las unidades utilizadas para indicar la velocidad del viento.

Variabilidad y tendencia de la actividad ciclónica en la cuenca atlántica

La frecuencia media de los ciclones tropicales (tormentas tropicales más huracanes) en el periodo 1851-2020 es de 9.72, con una desviación típica de ± 4.48 , lo que muestra la marcada variabilidad interanual de estos sistemas meteorológicos. Por su parte los huracanes tienen una media igual a 5.4 con una desviación típica de ± 2.8 .

En la *tabla 1* se presentan algunos estadígrafos relativos a la formación de ciclones tropicales según el mes y el área de ciclogénesis (At- área oceánica del Atlántico, Car- mar Caribe y GM- Golfo de México), además del comienzo y el fin de la temporada ciclónica entendidos como el día en que se desarrolla el primer ciclón tropical (Com) y aquel en el que se disipa el último organismo ciclónico tropical (Fin).

Algunas características estadísticas de los ciclones tropicales:

- En las 170 temporadas analizadas se han desarrollado 1653 ciclones tropicales.

- La máxima frecuencia de formación de ciclones tropicales ocurre en el mes de septiembre mientras que el mes menos activo es junio.
- En el trimestre agosto-octubre se concentra la mayor cantidad de ciclones tropicales con un 80 %, resultado similar al 80 % obtenido por (Ballester *et. al.*, 2010) en el periodo 1886-2008.
- La mayor formación de organismos se produjo en el área oceánica con un 64 % del total de la muestra analizada.
- De los 44 ciclones tropicales extemporáneos, 27 se desarrollaron en el mes de mayo para un 61.4 %, diez lo hicieron en diciembre, tres en enero y dos en abril. Febrero y marzo se mantuvieron con un caso cada uno en los años 1952 y 1908 en ese mismo orden.
- El máximo de organismos extemporáneos en una temporada se mantuvo en el año 1887 mientras que la formación máxima por meses queda distribuida de la siguiente manera: junio (1886, 1909, 1936 y 1968), julio (2005 y 2020), agosto (2004 y 2012), septiembre (2020), octubre (1950) y noviembre (1931, 1961 y 2005). Cabe resaltar que la aparición de los años 1931 y 1961 en la actividad máxima absoluta durante el mes de noviembre obedece a cambios realizados en la versión 2.0 del reanálisis de los huracanes HURDAT2.
- El máximo absoluto de formación en un mes ocurrió en septiembre de 2020 con nueve ciclones tropicales. También, en este mismo año se produjo la máxima frecuencia de ciclones tropicales en toda la cuenca atlántica y el mar Caribe; en el Golfo de México sucedió en 1936.

Como promedio, las temporadas comenzaron en los primeros días de julio y terminaron a finales del mes de octubre. Las temporadas con el comienzo más tardío fueron la del 1905 y 1914, ambas en el mes de septiembre, pero entre las dos, fue la del 1914 la que inició con un mayor retardo. El comportamiento del comienzo evidencia una mayor frecuencia mensual en julio, seguido por agosto (Ver [Tabla 2](#)).

En la [tabla 3](#) se refleja el comportamiento estacional de los ciclones tropicales desarrollados en cada una de las áreas en las que se dividió el Atlántico Norte para el presente estudio: área oceánica del Atlántico, mar Caribe y Golfo de México. En ellas se puede observar que las zonas en su mayoría presentan un comportamiento similar a la frecuencia de organismos ciclónicos tropicales originados en toda la cuenca atlántica, con un máximo en el mes de septiembre. La excepción a esta regla la constituye el mar Caribe con su frecuencia mensual absoluta en el mes de octubre, situación relacionada con la llegada a bajas latitudes de las primeras zonas frontales del periodo poco lluvioso. Ello significa que, además de la formación de ciclones tropicales producidas a partir del levantamiento de la Zona Intertropical de Convergencia en los meses de mayo a octubre, la ciclogénesis durante el mes de octubre adquiere además otra componente favorecida por la interacción trópico-extratropical.

La [figura 1](#) muestra las frecuencias anuales de las variables analizadas. La actividad ciclónica tropical presenta ciclos multianuales ([Fig.1a](#)). Un ciclo de baja actividad desde el año 1851 hasta 1939, aunque entre 1890 y 1919 se recuperó ligeramente la ciclogénesis. Los años 1940 al 1979 se caracterizaron por una actividad superior a lo normal. Otro periodo de baja actividad fue la década de los 80, sucedida por la elevada actividad manifestada desde finales de los años 90 hasta el 2020.

En la [tabla 4](#) se recoge un resumen de los estadígrafos del test de Mann-Kendall, Wald-Wolfowitz, Fisher y Pettitt con las probabilidades determinadas en cada una de ellas. En ella puede apreciarse que la tendencia de la serie temporal de los organismos es creciente, estadísticamente significativa, para todas las zonas excepto en el mar Caribe. Al comparar estos resultados con los obtenidos para el periodo 1886-2008 (Ballester *et. al.*, 2010) se tiene un incremento de los valores del KM para los ciclones tropicales originados en todo el Atlántico, el área oceánica de dicha cuenca, lo que indica la persistencia de la tendencia creciente de estos organismos.

Tabla 1. Estadística descriptiva de los ciclones tropicales por meses y áreas de formación entre 1851 y 2020 (Frec- Frecuencia total, X- media, DS- desviación típica, Máx- Valor máximo, Ext- Ciclones tropicales originados en los meses que no están comprendidos en la temporada ciclónica).

	EXT	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	At	Car	GM	Com	Fin
Frec	44	97	129	408	560	327	88	1053	307	293	-	-
X	0.26	0.57	0.76	2.40	3.29	1.92	0.52	6.19	1.81	1.72	183.9	304.2
DS	0.62	0.75	1.04	1.64	1.75	1.46	0.70	3.18	1.62	1.32	40.2	21.7
Máx	4	3	5	8	9	8	3	16	9	6	257	371

Tabla 2. Comportamiento del comienzo y fin de las temporadas ciclónicas durante el periodo 1851-2020.

	EXT	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Com	28	60	35	40	7	-	-
Fin	8	-	-	-	19	76	67

Tabla 3. Estadística descriptiva por meses de los ciclones tropicales originados en el área oceánica del Atlántico Norte, mar Caribe y Golfo de México en el periodo comprendido entre los años 1851 y 2020 (Frec- Frecuencia total, X- media, DS- desviación típica, Máx- Valor máximo, Ext- Ciclones tropicales originados en los meses que no están comprendidos en la temporada ciclónica).

Cuenca	Estadígrafo	EXT	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Área oceánica del Atlántico	Frec	29	22	75	296	406	172	53
	X	0.17	0.13	0.44	1.74	2.39	1.01	0.31
	DS	0.51	0.34	0.78	1.35	1.41	1.03	0.54
	Máx	3	1	4	7	7	6	2
Mar Caribe	Frec	10	25	14	57	57	111	33
	X	0.06	0.14	0.08	0.34	0.34	0.65	0.19
	DS	0.25	0.37	0.28	0.59	0.55	0.81	0.41
	Máx	1	2	1	2	3	4	2
Golfo de México	Frec	5	50	40	55	97	44	2
	X	0.3	0.29	0.24	0.32	0.57	0.26	0.01
	DS	0.17	0.55	0.44	0.52	0.72	0.51	0.11
	Máx	1	2	2	2	2	3	1

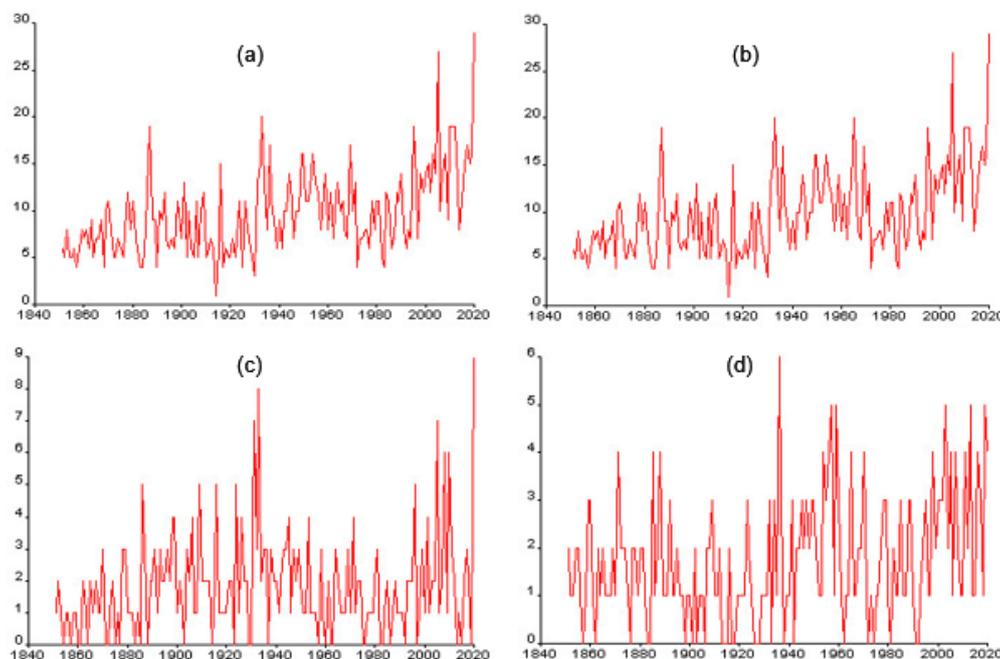


Figura 1. Frecuencia anual de los ciclones tropicales originados en el: (a) el Atlántico Norte, (b) área oceánica del Atlántico, (c) mar Caribe y (d) Golfo de México en el periodo 1851-2020.

Tabla 4. Valores de los estadígrafos de las dójimas de Mann (KM), Wald-Wolfowitz (WW), Fisher (FF) y Pettitt (Pe) referidos al número de ciclones tropicales originados en todo el Atlántico (CT), el área oceánica (At), Caribe (Car) y Golfo de México (GM) durante los años 1851 al 2020. Las probabilidades $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ y α_4 se expresan en porcentaje.

	KM	α_1	WW	α_2	FF	α_3	Pe	α_4	Año
CT	6.69	0.00	5.23	0.00	-	-	-4368	0.00	1930
At	6.70	0.00	5.32	0.00	-	-	-4399	0.00	1930
Car	1.22	0.22	6.76	0.15	5.32	0.26	-1803	0.02	1885
GM	2.79	0.01	2.73	0.00	25.40	0.00	-2383	0.00	1933

Cabe resaltar, que a diferencia de las otras zonas ciclogénicas, en el Caribe se reflejó una tendencia a la disminución del KM entre los años 1886-2008, pero no significativa mientras que del 1851 al 2020 arrojó una recuperación de la ciclogénesis tropical en el área. Esta diferencia pudiera estar asociada a la extensión

de la serie temporal utilizada en el presente estudio ya que la determinación de la tendencia lineal es muy sensible a los valores extremos de la serie. En este sentido, el vertiginoso aumento de la actividad ciclónica manifestado en los años posteriores al 2000 puede haber incidido en los resultados aquí presentados.

De igual manera, en el Golfo de México, aunque el KM continúa arrojando resultados positivos, son inferiores al 4.29 obtenido por (Ballester *et. al.*, 2010), reflejando que la tendencia al aumento ocurre a una mayor razón en el periodo 1886-2008. Asimismo, los puntos de cambio observados ocurrieron en su mayoría hacia comienzos de la década del 30 del siglo XX, coincidiendo con el determinado por (Ballester *et. al.*, 2010) para los ciclones tropicales en la totalidad del Atlántico norte. Para los organismos gestados en el área oceánica y el Golfo de México el punto de cambio se desplazó de 1948 a 1930 y de 1931 a 1933 respectivamente. Al igual que en el análisis de la tendencia, el punto de cambio en la serie del Caribe no presenta resultados concluyentes en las 170 temporadas ciclónicas analizadas, aunque el punto de cambio, no significativo, se trasladó de 1955 al 1885.

Variabilidad y tendencia de los huracanes

Los huracanes originados en la cuenca atlántica entre los años 1851 y 2020 tienen una frecuencia media de 5.5, cifra superior al 5.1 obtenido por Ballester *et. al.* (2010). La desviación típica es ± 2.59 , valor igualmente superior al de los autores antes mencionados. De igual manera los huracanes de gran intensidad cuentan con una media de 1.91 y una desviación típica de ± 1.63 .

Algunas características estadísticas de los huracanes y huracanes de gran intensidad (Ver tabla 5):

- Por cada tres huracanes que se forman, sólo uno alcanza las categorías 3, 4 ó 5.
- Al igual que los ciclones tropicales, los huracanes también presentan una alta variabilidad interanual.
- En el trimestre agosto-octubre se produjeron las mayores frecuencias con un 83 y 93 % del total de la muestra para los huracanes y huracanes de gran intensidad respectivamente.
- Diez huracanes se desarrollaron en los meses extemporáneos. De los huracanes extemporáneos, cuatro lo hicieron en mayo (1889, 1908, 1951 y 1970), tres en diciembre (1887, 1984 y 2016), dos en enero (1938 y 2016) y el otro en febrero (1908).

Hasta el 2020 no se han originado huracanes de gran intensidad en los meses extemporáneos.

- El máximo de huracanes extemporáneos en una temporada ocurrió en 1908, el de junio se presentó en los años 1886, 1936 y 1968, en julio fueron en las temporadas de 1966, 1995 y 1997, en agosto las de 1933 y 1995, en septiembre la de 2002 (máximo absoluto) y en octubre en 1887 y 1950.
- El máximo absoluto de formación de huracanes en un mes ocurrió en octubre de 1870 con seis organismos mientras que el de los huracanes de gran intensidad se produjo en septiembre del año 1961.

Desde el año 1851 hasta finales de la década del 60 del siglo XIX se observó una etapa de poca actividad de los huracanes, la cual comenzó a recuperarse a partir de 1870 (Ver figura 2a). Este periodo activo se extendió hasta finales de siglo cuando nuevamente la ocurrencia de huracanes en el área tuvo un mínimo (Ballester *et. al.*, 2009). Otro periodo con una menor actividad lo constituyó el delimitado por los años 1980 y 1999. Sin dudas los periodos más activos en la formación de huracanes han sido entre 1941 y 1979, así como del 2000 al 2021. Del total de 381 huracanes formados a lo largo de esos 60 años, 141 organismos se gestaron en las últimas dos décadas, lo que representa el 37 % de la muestra y da una medida de la alta actividad experimentada en años posteriores al 2000.

En la figura 2b puede apreciarse que después de un periodo de poca actividad de los huracanes categoría 3, 4 y 5 entre 1851 y 1869, una etapa de recuperación ocurrió entre los años 1870 y 1909. Otro periodo de mínima actividad sucedió en el periodo comprendido entre 1910 y 1929, seguido por un incremento sostenido de la actividad de huracanes intensos, el cual que se extendió hasta el 2020. En las primeras dos décadas del siglo XXI, se han formado 65 huracanes de gran intensidad en apenas 20 años. No obstante lo anterior, ocurrió otro mínimo relativo desde 1980 a 1999.

Del resumen de los estadígrafos de los test estadísticos aplicados mostrados en la tabla 6 puede deducirse un incremento en los valores del KM, más significativo en el caso de los huracanes de gran intensidad, lo que no había sido reflejado anteriormente. Tanto los

Tabla 5. Estadística descriptiva de los huracanes (H) y huracanes de gran intensidad originados en la cuenca atlántica por meses entre 1851 y 2020 (Frec- Frecuencia total, X- media, DS- desviación típica, Máx- Valor máximo, Ext- Huracanes originados en los meses que no están comprendidos en la temporada ciclónica).

	H	EXT	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
Frec		10	33	64	264	351	172	39
X		0.59	0.19	0.37	1.55	2.07	1.01	0.23
DS		0.26	0.45	0.68	1.23	1.27	1.02	0.49
Máx		2	3	3	5	5	6	3
Frec		0	3	9	118	136	49	8
X		0	0.02	0.05	0.69	0.82	0.28	0.05
DS		0	0.13	0.29	0.80	0.81	0.52	0.21
Máx		0	1	2	3	4	3	1

huracanes como los de gran intensidad presentan un cambio en la serie temporal, estadísticamente significativo, hacia el año 1931.

Variabilidad y tendencias de la afectación de huracanes a Cuba

Entre 1791 y 2020 han afectado a Cuba un total de 117 huracanes, 35 de ellos lo hicieron con la categoría 3 o superior de la escala de Saffir-Simpson. Los huracanes que han afectado a Cuba tienen una desviación típica de ± 0.77 y una frecuencia de 0.51, lo que significa que Cuba es afectada como promedio por un huracán cada dos años. Dicha serie refleja una gran variabilidad, a través de la existencia de variaciones interanuales y multianuales. En la [figura 3](#) es posible apreciar una actividad muy alta entre 1871 y 1920, la que incluyó un máximo de cuatro huracanes en los años 1886 y 1909. Periodos de baja actividad han sido los comprendidos entre los años 1796-1820, 1846-1870 y 1971-1995, con sólo siete, siete y cuatro huracanes en cada intervalo respectivamente.

A partir de 1996 se ha producido un notable incremento de la actividad ciclónica tropical sobre Cuba, el que ha perdurado hasta el 2020, con un total de 15 hu-

racanes. Es de destacar que el período muy activo, iniciado para Cuba en el año 1996, ha coincidido con un abrupto calentamiento de las aguas del Atlántico y del Mar Caribe, este último principalmente desde 1998, y responde al incremento observado en el número de huracanes originados en el Mar Caribe y en la cantidad que penetran en esta región con origen en el Atlántico tropical, áreas fundamentales de procedencia de los organismos que afectan a dicho país ([Ballester et al., 2009](#)). No obstante, estudios realizados a posteriori han reflejado otras condiciones oceánicas y atmosféricas que también presentan características incidentes en ese comportamiento.

Aunque continúan los análisis, en principio, en un análisis exploratorio realizado por ([Peña, 2020](#)), se abordó el vínculo del centro anticiclónico subtropical en el Atlántico Norte con los ciclones tropicales. ([Peña, 2020](#)) corroboró la relación existente entre el comportamiento de ese sistema de la circulación general atmosférica y la actividad ciclónica tropical en la cuenca atlántica, en particular, la contribución positiva de la circulación atmosférica en la troposfera baja, la que aportó importantes elementos a la predicción de la ciclogénesis tropical en la cuenca del Atlántico Nor-

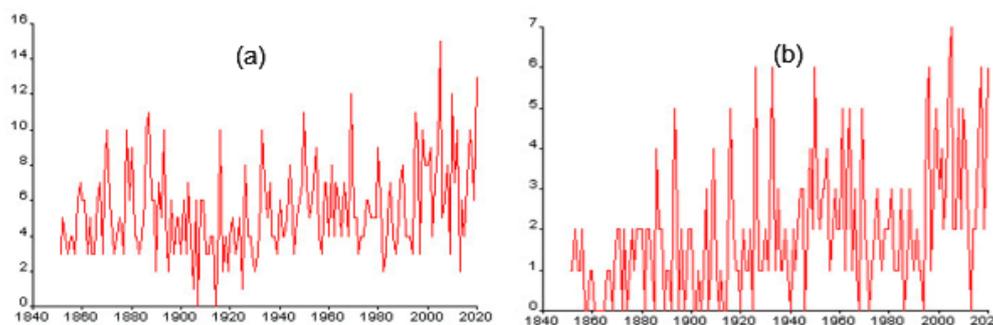


Figura 2. Frecuencia de (a) huracanes y (b) huracanes de gran intensidad desarrollados en la cuenca atlántica (1851-2020).

Tabla 6. Valores de los estadígrafos de las dójimas de Mann (KM), Wald-Wolfowitz (WW), Fisher (FF) y Pettitt (Pe) referidos al número de huracanes (H) y huracanes de gran intensidad (HI) originados en la cuenca atlántica durante los años 1851 al 2020. Las probabilidades $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ se expresan en porcentaje.

	KM	α_1	WW	α_2	FF	α_3	Pe	α_4	Año
H	3.30	0.00	1.56	0.06	19.55	0.00	-2424	0.00	1931
HI	5.47	0.00	2.84	0.00	-	-	-3344	0.00	1931

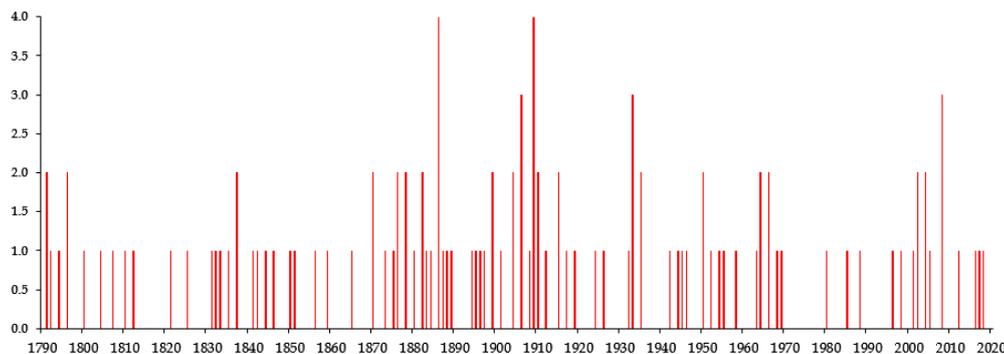


Figura 3. Frecuencia de huracanes que han afectado a Cuba entre los años 1791 y 2020.

te. Lo anterior reafirma lo valorado en el método de (Ballester *et. al.*, 2010), principalmente la intensidad, posición y extensión de la dorsal del centro anticiclónico a los 1.5 kilómetros de altitud. La afectación de los ciclones tropicales y huracanes a Cuba se relaciona con los parámetros del anticiclón subtropical en los 850 hPa (Peña, 2020). También expone que la fortaleza de ese sistema anticiclónico, indicador que considera la presión a nivel medio del mar en la región delimitada por los 27-37 °N y 15-35 °W, presenta una asociación con los ciclones tropicales y huracanes desarrollados en la cuenca atlántica, sobre todo con los ciclones tropicales que se desarrollaron en el Caribe y con aquellos que han afectado a Cuba. Otra investigación relacionada con el comportamiento que han manifestado los ciclones tropicales y huracanes en el Atlántico Norte, es la de (Alpizar, 2017), al expresar que la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico es el principal factor modulador de la formación de huracanes en dicho océano, y de su afectación a Cuba. No obstante, aún se necesitan más elementos antes de generalizar esta afirmación.

Por otra parte, los huracanes que afectaron a Cuba presentan una tendencia creciente a lo largo de los últimos 230 años, que no es estadísticamente significativa a pesar del incremento observado después de 1995. (Limia *et. al.*, 2000) expresó que pudiera existir una oscilación de muy baja frecuencia en la actividad de huracanes sobre Cuba basándose en un análisis pormenorizado de las tendencias para diferentes períodos de años. Desde 1791 un total de 34 huracanes han afectado a Cuba como huracanes intensos (categorías 3, 4 ó 5), lo que representa el 29 % del total de los catalogados. De ellos, 18 afectaron con categorías 4 ó 5 de la escala Saffir-Simpson. En la figura 4 puede apreciarse la gran variabilidad que presenta la serie de los huracanes intensos. El período de 83 años transcurrido entre 1870 y 1952 fue muy activo, en cuanto a los huracanes intensos, al afectar 19 de los 35 registrados en los 230 años estudiados. Sin embargo, es posible detectar otro período de mucha actividad entre 1906 y 1952 (47 años) en el que 13 de estas importantes tormentas afectaron a Cuba, para un promedio de un huracán intenso cada 3.4 años (Limia *et. al.*, 2000).

Entre el año 2001 y el 2020, diez huracanes intensos afectaron al país, siete en la década 2001-2010, lo que no había ocurrido en década anterior alguna, entre tanto, otras tres afectaciones sucedieron entre el 2011 y el 2020. Relacionados con este abrupto incremento de la frecuencia de los huracanes intensos sobre Cuba se aprecian varios aspectos de interés:

- Durante los veinte años antes señalados se produjo una variación de la proporción de estos huracanes con respecto al total de los ocurridos, o sea, diez huracanes intensos de un total de trece huracanes en esos años, para un 77 %. Sólo en 1948 se había producido la afectación de más de un huracán intenso en un mismo año, cuando dos huracanes cruzaron sobre el territorio cubano, hecho que se repitió en el año 2004 y se superó en el 2008 cuando Gustav, Ike y Paloma afectaron a Cuba e impusieron un nuevo récord de tres huracanes intensos en un mismo año.
- El huracán Dennis del año 2005 fue el primero en afectar a las provincias orientales y su formación en julio del 2005, representó el comienzo más temprano de la “temporada de los huracanes intensos”, ya que la distribución estacional de los mismos se iniciaba anteriormente con el mes de agosto (González *et. al.*, 2006).
- Las provincias de Holguín y Guantánamo fueron afectadas por primera vez por un huracán de gran intensidad cuando Ike cruzó por dichos territorios en el año 2008.

CONCLUSIONES

- Entre los años 1851 y 2020 se observó una gran variabilidad multi e interanual de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico Norte con una tendencia al incremento, aunque en el Caribe esta no es significativa.
- La máxima frecuencia de formación ocurrió en el mes septiembre y en el área oceánica del Atlántico, corroborándose el trimestre agosto-octubre como el de mayor cantidad de ciclones tropicales, con un 80 % del total en el periodo.

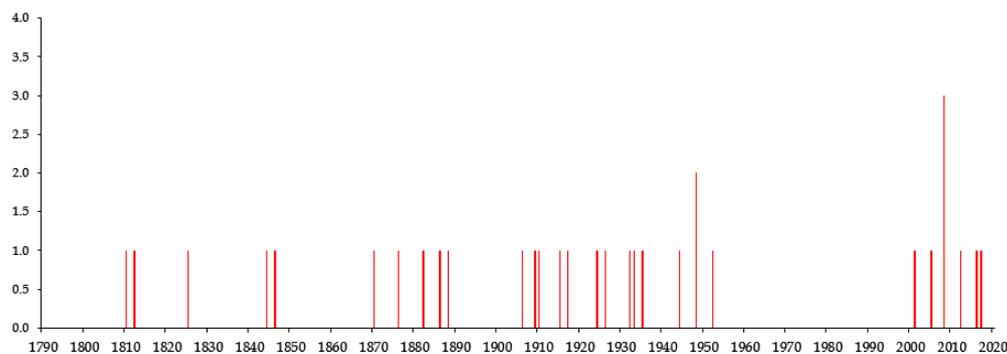


Figura 4. Frecuencia de huracanes de gran intensidad que han afectado a Cuba entre los años 1791 y 2020.

- Como promedio, las temporadas comenzaron a inicios de julio y terminaron a finales de octubre.
- La formación de huracanes y huracanes de gran intensidad presentó una tendencia al incremento, más significativa en el caso de los que ostentan las categorías 3, 4 y 5 y en años posteriores a 1930.
- La actividad de huracanes sobre Cuba manifestó una tendencia creciente entre los años 1791 y 2020, pero no es estadísticamente significativa.
- En Cuba, desde 1996 se inició un nuevo período de una gran actividad ciclónica, a pesar de la no afectación de huracanes en los últimos dos años. Entre el 2001 y el 2020, Cuba ha sido afectado por 13 huracanes, 10 de ellos de gran intensidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpízar, M. 2017. *Influencia de las variaciones oceánicas y atmosféricas en la formación de huracanes en el Atlántico Norte*. Trabajo de tesis presentado como requisito para optar por el título de Licenciado en Meteorología. La Habana, Cuba: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, 52 p.
- Ballester, M.; González, C. & Pérez, R. 1995. *Variabilidad de la ciclogénesis tropical en el Atlántico Norte*. Informe Final del Proyecto “Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico”. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 88 p.
- Ballester, M.; González, C. & Pérez, R. 2004. *Actividad ciclónica en las áreas del Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el periodo 1886-2002*. Informe Científico del Proyecto “Pronóstico de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte, con énfasis en el Caribe y Cuba”. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 31 p.
- Ballester, M.; Pérez, R. & González, C. 2005. “Los huracanes del Caribe y Cuba”. *XI Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y XV Congreso Mexicano de Meteorología. Memorias*. Cancún Quintana Roo, México.
- Ballester, M.; González, C. & Pérez, R. 2009. *Actividad ciclónica en las áreas del océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el periodo 1886-2008*. Informe de Resultado del Proyecto “Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico”. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 35 p.
- Ballester, M.; González, C. & Pérez, R. 2010. *Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico*. La Habana, Cuba: Editorial Academia, 170 p. ISBN: 978-959-270-175-5.
- González, I.; Vega, R.; Pérez, R. & Limia, M. 2006. *Climatología de los ciclones tropicales de Cuba*. Informe de Resultado del Proyecto 01301094. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 100 p.
- INSMET. 2020. *Cronología de los huracanes de Cuba*. Informe Oficial. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología 8 p.
- Landsea, C.; Franklin, J. & Beven, J. 2015. *The revised Atlantic hurricane database (HURDAT2)*. National Hurricane Center.
- Limia, M.; Vega, R.; Pérez, R. & Durán, J. 2000. *Climatología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba (1799-1998)*. Informe de Resultado del Proyecto 01301094. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 36 p.
- Mellado, E. & Borrajero, I. 1997. *Winstat. Versión 2.0 (beta) [Windows]*. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Peña, L. 2020. *Variabilidad del anticiclón del Atlántico Norte en el periodo poco lluvioso y su relación con la actividad ciclónica en la porción norte de la cuenca Atlántica*. Trabajo de tesis presentado como requisito para optar por el título de Licenciado en Meteorología. La Habana, Cuba: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, 95 p.
- Sneyers, R. 1990 “Technical Note N° 143 On the statistical analysis of series of observations”. WMO N°415, Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 192 p. ISBN: 978-92-63-10415-1.

Nathali Valderá Figueredo. Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba. E-mail: nathali.valdera@insmet.cu

Cecilia González Pedroso. Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

Ramón Pérez Suárez. Centro del Clima, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

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/)

¹Disponible en <http://www.nhc.noaa.gov/> y en <https://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/>.

²Disponibles en <http://www.insmet.cu>.

³Disponible es <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/>