

# Caracterización estadística climatológica de huracanes en Cuba durante el período 1791-2016

## Climatic statistical characterization of hurricanes in Cuba during the period 1791-2016



<http://opn.to/a/kzMxk>

Pedro Roura-Pérez<sup>1</sup>✉, Vivian Sistachs-Vega<sup>2</sup>, Raimundo Vega<sup>1</sup>, Milena Alpizar-Tirzo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

**RESUMEN:** Los más grandes desastres naturales que recoge la historia de nuestro país han estado asociados a los ciclones tropicales. La gran actividad ciclónica ocurrida en los últimos años, ha centrado la atención sobre la climatología de estos, su variabilidad y su tendencia a largo plazo. Varios huracanes han ocasionado desastres de gran significación debidos, fundamentalmente al número de personas que murieron como consecuencia del impacto de la tormenta. De acuerdo a la trayectoria revisada de huracanes que azotaron a la Isla de Cuba y/o mares circundantes, el territorio de la República de Cuba presenta diferencias sensibles relativas a las afectaciones, por lo que se decidió hacer una caracterización de los períodos de retorno y el cálculo de las frecuencias estimadas a través del ajuste de un Modelo de Poisson a la variable que cuenta el número de huracanes por año que han azotado a Cuba, en el periodo de 1791-2016, a partir de la Cronología de los Ciclones Tropicales y los Estados Generales del Tiempo. Se observa que el Modelo de Poisson se ajusta con el nivel de significación requerido, este comportamiento anual está relacionado con un fenómeno de baja frecuencia de ocurrencia. Los meses de mayor frecuencia de ocurrencia de huracanes son: octubre (35.5 %), septiembre (31.4 %) y agosto (15.7 %) ocupando un 82.7 %. Los huracanes intensos representan el 27.3 % y ocurren con mayor frecuencia en octubre con el 14.1 %.

**Palabras clave:** huracanes, periodos de retorno, modelo de poisson

**ABSTRACT:** The greatest natural disasters of our countries history has been associated to tropical cyclones. The great cyclonic activity of the last few years has centered the attention regarding the climatology of these phenomena, their variability and tendencies in the long term. Several Hurricanes has caused great disasters due fundamentally to the number of deaths as consequence of the storm. According to the revised trajectory of hurricanes in Cuba and its surrounding seas, the territory of the Cuban Republic presents different sensibilities relatives to these affectations. This is the reason to characterize the return periods and to calculate the different estimated frequencies adjusting a Poisson Model of the variable that counts the number of hurricanes per year that have affected Cuba from 1791 to 2016 from the chronology of Tropical Cyclones and General Weather Reports. We observed that the Poisson Model adjusts with the required significance level; this annual behavior relates to a phenomenon of low frequency of occurrence. The months with highest frequencies of hurricane occurrences are October (35.5 %), September (31.4%) and August (15.7 %) for the 82.7 % of occurrence. The intense hurricanes represent the 27.3% and have a higher probability of occurrence during October for a 14.1%.

**Key words:** hurricanes, return periods, poisson model.

✉ Autor para correspondencia: *Pedro Roura-Pérez*. E-mail: [pedro.roura@insmet.cu](mailto:pedro.roura@insmet.cu)

Recibido: 14/4/2018

Aceptado: 20/6/2018

## INTRODUCCIÓN

El Archipiélago Cubano tiene un área total de 110 922 km<sup>2</sup> y está dividida actualmente en 15 provincias y 169 municipios (92 de estos poseen costas); definimos las siguientes regiones: región Occidental: provincias Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Matanzas y Municipio Especial Isla de la Juventud, con un área total de 31 570 km<sup>2</sup>; región Central: provincias Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey con un área total de 41 738 km<sup>2</sup>; región Oriental: provincias Las Tunas, Granma, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo con un área total de 36 578 km<sup>2</sup>, las cuales difieren entre sí al considerar las afectaciones por eventos extremos como los ciclones tropicales. Uno de los fenómenos meteorológicos que han causado grandes desastres naturales en la historia de Cuba son los ciclones tropicales, llegando a ocasionar múltiples pérdidas sociales, medioambientales y económicas; relacionadas principalmente a huracanes intensos.

En el año 2000 se culminó un estudio cuyo objetivo era confeccionar una cronología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba, a la luz de los conocimientos actuales, que sirviera de base para actualizar los conocimientos sobre la climatología de los ciclones tropicales de Cuba, su variabilidad y los factores que la regulan. Dicha cronología abarcó el periodo 1799 – 1998 para los huracanes. Posteriormente, se ejecutó un nuevo proyecto denominado “Climatología de los ciclones tropicales de Cuba”, el que estuvo dirigido a prolongar hacia el pasado los resultados antes alcanzados en la cronología (Pérez Suárez *et al.*, 2000 y 2006). Se desarrolló además un estudio de los huracanes más intensos y desastrosos que han afectado a Cuba, con un cálculo del periodo de retorno de aquellos catalogados como grandes (Pérez *et al.*, 2001).

Andrews (2007) estudió la variabilidad espacial y temporal de las tormentas tropicales

en Las Bahamas, las Antillas Mayores y Antillas Menores. En el mismo se escogieron 26 islas de la región del Caribe para determinar el período de retorno de las tormentas tropicales y huracanes que han afectado esta área en el periodo 1901-2006. Se concluye que a medida que la geografía de las islas se mueve hacia el sur, los períodos de retorno para huracanes mayores aumentan para la mayoría de las ciudades. Cuba experimentará un gran huracán cada quince o treinta y cinco años, según los cálculos de las tres ciudades cubanas incluidas en este estudio. Santiago de Cuba experimentó la menor cantidad de grandes huracanes en la isla, lo que resultó en un retorno de treinta y cinco años.

Según un estudio realizado por Ballester *et al.*, (2009), durante el primer cuarto del siglo XX la ocurrencia de huracanes en el área tuvo un mínimo, después de un período muy activo entre 1870 y 1899. Otro período activo en ese siglo ocurrió entre los años 1930 y 1960, seguido por un período menos activo que duró hasta mediados de los años 90 en que se inició el nuevo período de alta actividad ciclónica. En toda la cuenca atlántica ha habido una tendencia al incremento de dicha actividad, dado fundamentalmente por el aumento continuado en el trimestre agosto - octubre, el más activo de la temporada ciclónica. La gran actividad ciclónica ocurrida en los últimos años, principalmente en el océano Atlántico, ha centrado aún más la atención sobre la climatología de los ciclones tropicales, su variabilidad y sus tendencias a largo plazo. Este incremento ha incidido sobre Cuba principalmente desde el año 2001, de tal forma que, entre el 2001 y el 2015 nuestro país fue afectado por diez huracanes.

Un ciclón tropical se define como: ciclón no frontal de escala sinóptica y núcleo caliente que se origina sobre aguas tropicales o subtropicales, dotado de convección profunda organizada y circulación cerrada de los vientos en superficie alrededor de un centro bien definido (OMM/DT No. 494, Edición 2013). Los ciclones tropicales del Atlántico Norte se

clasifican según la velocidad máxima sostenida del viento, definido como Vmax (Km/h) en un intervalo de un minuto (Tabla 1).

**Tabla 1.** Clasificación de organismos ciclónicos tropicales según el Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET)

DENOMINACIÓN	Vmax (km/h)
Depresión	< 63
Tormenta tropical	64-118
Huracán de poca intensidad	119-153
Huracán de moderada intensidad	154-208
Huracán de gran intensidad	≥ 209

La temporada ciclónica en Cuba comienza oficialmente el 1 de junio y termina el 30 de noviembre, pero se han registrado ciclones "extemporáneos", principalmente en mayo con seis casos de tormentas tropicales durante el período 1791-2016. Para la clasificación de los huracanes se utilizó la escala Saffir-Simpson adoptada por el Instituto de Meteorología (Tabla 2); donde se definen la categoría uno (SS1), categoría 2 (SS2), categoría 3 (SS3), categoría 4 (SS4) y categoría 5 (SS5). Esta clasificación corresponde a las mediciones de vientos máximos y presiones mínimas, originados por un huracán sobre el archipiélago cubano y no a la que haya alcanzado dicho huracán en algún otro lugar de su trayectoria antes o después de afectar a Cuba.

También es de interés conocer la distribución por intensidades de los huracanes, para eso debemos conocer la escala de Rodríguez Ramírez (Tabla 3).

Los ciclones tropicales poseen un marcado comportamiento estacional, y la mayoría de las regiones ciclogénicas poseen la máxima frecuencia de formación durante el final del verano y el comienzo del otoño. El área del océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe y el Golfo de México, es una de las principales regiones ciclogénicas del planeta. La cuenca

del Atlántico tiene la mayor variabilidad estacional. En 1907, por ejemplo, de las 5 tormentas tropicales, ni una sola adquirió la intensidad de un huracán, mientras que en 1969 de las 18 tormentas tropicales ocurrieron 12 huracanes en el Atlántico Norte (NOAA, 1987), esto hace difícil la predicción de los mismos debido a que los ciclos varían en periodicidad y duración.

**Tabla 2.** Escala Saffir-Simpson (simplificada) para la clasificación de huracanes (Simpson, 1974)

CATEGORÍA	PMIN(HPA)	VMAX(KM/H)
SS1	≥ 980	119-153
SS2	965-979	154-177
SS3	945-964	178-208
SS4	920-944	209-251
SS5	≤ 919	≥ 252

**Tabla 3.** Distribución por intensidades de los huracanes

Escala Rodríguez-Ramírez	Categorías
Gran Intensidad	4 y 5
Intensos	3, 4 y 5
Moderada Intensidad	2 y 3
Poca Intensidad	1

### Comportamiento histórico de los huracanes

Las mayores pérdidas de vidas en Cuba han sido debido a la afectación por ciclones tropicales que ocurrieron durante el "Huracán de Santa Cruz del Sur" de noviembre de 1932. Los estimados indican que unas 3500 personas fallecieron durante este desastre. La mayor parte de las muertes estuvieron asociadas a la marea de tormenta que destruyó la población de Santa Cruz del Sur. La segunda mayor catástrofe en relación con las pérdidas de vidas fue el resultado de las torrenciales lluvias y las extraordinarias inundaciones producidas por el huracán Flora en octubre de 1963 sobre las

provincias más orientales de Cuba, con cifras aproximadas a las 1000 muertes. El “Huracán de San Marcos” de octubre de 1870 produjo un extraordinario desastre en la provincia de Matanzas debido a la combinación extraordinaria de lento desplazamiento, vientos huracanados, lluvias intensas y una sobreelevación del nivel del mar en la costa norte de Matanzas que ocasionaron una dramática inundación en la ciudad de Matanzas. Se estiman unas 800 muertes aproximadamente.

El desarrollo de las tecnologías y la implementación de los nuevos modelos numéricos para el monitoreo de los ciclones tropicales ha mejorado significativamente en los últimos años. Esto acompañado de la intensa actividad que implementa la Defensa Civil en Cuba permite reducir el número de víctimas y de daños materiales al país tras el paso de estos sistemas. Es necesario, para la predicción y monitoreo de los huracanes, tener en cuenta su cronología y su comportamiento a lo largo de los años.

### **Regiones del Atlántico Norte. Trayectorias de ciclones tropicales a Cuba**

El Atlántico Norte ha sido dividido en seis regiones con respecto al origen de las trayectorias de ciclones tropicales relativos a Cuba (origen como tormenta tropical). La región A: Mar Caribe Occidental (al oeste del meridiano  $80^{\circ}$  W); región B: Mar Caribe Oriental (entre  $80^{\circ}$  W y el arco de las Antillas Menores); región C: Al este del arco de las Antillas Menores (entre las latitudes  $10^{\circ}$  N y  $19^{\circ}$  N); región D: entre  $5^{\circ}$  N y  $10^{\circ}$  N (baja latitud); región E: Golfo de México limitado por el Canal de Yucatán y  $81^{\circ}$  W; región F: al este de  $81^{\circ}$  W y al norte de Cuba, La Española, Puerto Rico y  $19^{\circ}$  N. Durante ese período de  $n=158$  años se catalogaron  $m=95$  huracanes de los cuales: 41 casos (43.2 %) se originaron en la región C; 40 casos (42.1 %) se originaron en la región A; 6 casos (6.3 %) se originaron en la región B; 5 casos (5.2 %) se originaron en la región D; 3 casos (3.2 %) se originaron en la

región F; existen tormentas tropicales con origen en E.

Para las trayectorias de huracanes sobre la Isla de Cuba se definen 11 regiones de  $1^{\circ}$  de longitud: S1N1 ( $84^{\circ}$ - $85^{\circ}$ ), S2N2 ( $83^{\circ}$ - $84^{\circ}$ ), S3N3 ( $82^{\circ}$ - $83^{\circ}$ ), S4N4 ( $81^{\circ}$ - $82^{\circ}$ ), S5N5 ( $80^{\circ}$ - $81^{\circ}$ ), S6N6 ( $79^{\circ}$ - $80^{\circ}$ ), S7N7 ( $78^{\circ}$ - $79^{\circ}$ ), S8N8 ( $77^{\circ}$ - $78^{\circ}$ ), S9N9 ( $76^{\circ}$ - $77^{\circ}$ ), S10N10 ( $75^{\circ}$ - $76^{\circ}$ ) Y S11N11 ( $74^{\circ}$ - $75^{\circ}$ ). Por ejemplo: una trayectoria S8N2 explica que el huracán penetra por la zona S8 (costa sur, entre  $77^{\circ}$  W y  $78^{\circ}$  W) y sale por la zona N2 (costa norte, entre  $83^{\circ}$  W y  $84^{\circ}$  W).

Durante el período 1851-2008: 65 casos (68.4 %) penetraron (inicial) por la costa sur y salida (final) por la costa norte; 6 casos (6.3 %) con entrada y salida por la costa norte; 3 casos (3.2 %) con entrada y salida por la costa sur; 2 casos (2.1 %) con entrada por la costa norte y salida por la costa sur. Las trayectorias N.N., S.S. y N.S. son anormales y corresponden a 11 huracanes: 3 de categoría SS3 (1888, 1933 y 2008), 5 de categoría SS2 (1856, 1873, 1882, 1909 y 1985) y 3 de categoría SS1 (1935, 1942 y 1955).

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

La climatología de los ciclones tropicales que se han formado en la cuenca Atlántica ha sido una temática abordada por numerosos autores desde enfoques diferentes a lo largo de muchos años (OMM, 1957; Gray, 1968; Dunn & Millar, 1969; Rubiera *et al.*, 2006). Para realizar esta investigación fueron utilizadas como fuentes directas de información metodológica y de datos la Cronología de los Huracanes de Cuba actualizada (Pérez, 2013) y la Base de Datos de Huracanes del Atlántico “Hurdat2” (Landsea, 2014). Se tomaron en cuenta los ciclones tropicales que afectaron el territorio cubano en el período 1791-2016. Nombrar el modelo estadístico que se utilizó para el tratamiento de los datos.

#### **Modelo de Poisson**

El Modelo de Poisson es una ley de probabilidad que está asociada, en muchos casos, a fenómenos naturales con baja

frecuencia de ocurrencia. La variable discreta X que cuenta el número de huracanes por año que han azotado a Cuba, puede ser caracterizada mediante la función de masa de probabilidad o función de cuantía:

$$P(x) = e^{-\lambda} * \frac{\lambda^x}{x!} = P(X = x) \text{ donde } x = 0,1,2,.. (1)$$

La media y la varianza son iguales, o sea:

$$E(x) = V(x) = \lambda (2)$$

Que tiene la fórmula de recurrencia:

$$P(x) = \left(\frac{\lambda}{x}\right) * P(x - 1) \text{ donde } x = 0,1,2, ... (3)$$

Y la función de distribución acumulativa:

$$F(x) = \sum_{t=0}^x P(t) = p(X \leq x) \text{ donde } x = 0,1,2, ... (4)$$

Donde  $p(X \leq x)$  es la probabilidad de ocurrencia del suceso ( $X \leq x$ );  $P(x)$  y  $F(x)$  están tabuladas para distintos valores de  $\lambda$ , que es un parámetro poblacional que se estima mediante la expresión:

$$\hat{\lambda} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=0}^N f_i * x_i}{\sum_{i=0}^N f_i} (5)$$

Que es la media muestral donde  $f_i$  es la frecuencia observada de la clase i-ésima donde  $i = 0,1,2, ..., N$  y

$$\sum_{i=0}^N f_i = n (6)$$

Es la frecuencia observada total.

Si  $\hat{p}_i = \hat{p}(X = i)$  donde  $i = 0,1,2, ..., N$  es la probabilidad estimada de la clase i-ésima bajo el modelo, entonces:

$$\hat{f}_i = n\hat{p}_i (7)$$

Es la frecuencia esperada de la clase i-ésima;

$$\hat{Q}_k = \sum_{i=0}^k \hat{P}_i (8)$$

O sea,

$$\hat{Q}_0 = \hat{P}_0, \hat{Q}_1 = \hat{P}_0 + \hat{P}_1, \dots, \hat{Q}_k = \hat{P}_0 + \hat{P}_1 + \dots + \hat{P}_k (9)$$

Es la probabilidad acumulada hasta la clase k-ésima y el período de retorno es:

$$\hat{T}_k = \begin{cases} \frac{1}{\hat{Q}_k} & \text{si } \hat{Q}_k < 0.5 \\ \frac{1}{1-\hat{Q}_k} & \text{si } \hat{Q}_k > 0.5 \end{cases} (10)$$

Este es el período de retorno de los sucesos que corresponden a las probabilidades  $\hat{p}$  acumuladas según  $\hat{Q}_k$ ; si, en general, las frecuencias esperadas  $\hat{f}_i$  por un modelo  $\varphi_x$  (asociado a la variable X) difieren poco de las frecuencias observadas  $f_i$ , es de suponer que dicho modelo se ajusta a los datos experimentales y la "bondad de ajuste" puede ser verificada mediante la dócima de Kolmogorov-Smirnov que es más potente estadísticamente que la dócima Ji-Cuadrado  $\chi^2$ .

Sea la prueba de hipótesis:

$H_0: X \sim \varphi_x$  (Sea continua o discreta la ley)

$H_1: X \not\sim \varphi_x$  (Sea continua o discreta la ley)

El estadígrafo de la dócima es:

$$D = \max_k |s_k - \hat{s}_k| \text{ donde } k = 0,1,2, \dots, N (11)$$

Donde:

$$s_k = \sum_{i=0}^k \frac{f_i}{n} \text{ donde } k = 0,1,2, \dots, N (12)$$

Y

$$\hat{s}_k = \sum_{i=0}^k \frac{\hat{f}_i}{n} \text{ donde } k = 0,1,2, \dots, N (13)$$

Rechazamos  $H_0$  si  $D \geq D_{n,\alpha}$  donde  $D_{n,\alpha}$  es el valor crítico de la tabla de Kolmogorov-Smirnov con el nivel de significación  $\alpha$  prefijado. En particular si  $n > 35$ :

$$D_{n,\alpha} = \begin{cases} 1.63/\sqrt{n} & \text{si } \alpha = 0.01 = 1\% \\ 1.36/\sqrt{n} & \text{si } \alpha = 0.05 = 5\% \\ 1.22/\sqrt{n} & \text{si } \alpha = 0.10 = 10\% \end{cases} (14)$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período 1791-2016, Cuba ha sido azotada por 121 huracanes: 59 de categoría SS1, 29 de categoría SS2 y 33 de huracanes intensos SS3, SS4 Y SS5, según el último re análisis de todos los casos. Se realizó el desglose para toda Cuba con el objetivo de ajustar los datos a un Modelo de Poisson.

### Modelación y periodos de retorno de huracanes que han azotado a Cuba

Se ha seleccionado la Distribución de Poisson:

$$P(x) = e^{-0.535398} * \frac{(0.535398)^x}{x!} \text{ donde } x = 0,1,2,3,4$$

Entonces:



$$\hat{\lambda} = \bar{x} = \frac{121}{226}$$

= 0.535398 (media de huracanes por año)  
 Entonces para  $x = 0$ :  
 $P(0) = 0.598535$   
 Usando la fórmula de recurrencia (3) obtenemos que para  $x = 1$ :

$$P(1) = \left(\frac{\lambda}{1}\right) * P(0) = 0.313441$$

Para  $x = 2$  tenemos que:

$$P(2) = \left(\frac{\lambda}{2}\right) * P(1) = 0.083908$$

Para  $x = 3$  tenemos que:

$$P(3) = \left(\frac{\lambda}{3}\right) * P(2) = 0.014975$$

Para  $x = 4$  tenemos que:

$$P(4) = \left(\frac{\lambda}{4}\right) * P(3) = 0.002004$$

El  $\hat{Q}_k$  es la suma acumulativa de los  $\hat{p}$ . El  $\hat{T}_k$  es el período de retorno. En el caso que:  $\hat{Q}_0 = P(0) = 0.598535 > 0.5$ , entonces no se calcula el  $\hat{T}_0$  y se pone un guion. Para el resto de los  $\hat{T}_k$  se calculan mediante (10) cuando  $\hat{Q}_k < 0.5$ .

Una vez calculado el D, se escoge el máximo, en este caso:  $D = 0.032342$ . Como  $n = 226 > 35$  tenemos que:

$$D_{226;1\%} = \frac{1.63}{\sqrt{n}} = 0.108426$$

$$D_{226;5\%} = \frac{1.36}{\sqrt{n}} = 0.094066$$

$$D_{226;10\%} = \frac{1.22}{\sqrt{n}} = 0.081153$$

Como:

$$D = 0.032342 < D_{226;1\%} = 0.108426$$

$$D = 0.032342 < D_{226;5\%} = 0.094066$$

$$D = 0.032342 < D_{226;10\%} = 0.081153$$

Entonces podemos decir que no se rechaza, o sea, se acepta  $H_0$  y por tanto se acepta Poisson  $P_1(x)$  con  $\alpha = 1\%$ ,  $5\%$  y  $10\%$ . El suceso  $X \geq 1$  tiene un período de retorno promedio igual a 2.4 años (Tabla 4, 5, 6).

En Cuba durante el período de estudio se pudo observar: Entre los meses de la temporada ciclónica de mayor frecuencia de ocurrencia de huracanes están: octubre (35.5%), septiembre (31.4%) y agosto (15.7%) que comprenden el

82.7%. Los huracanes intensos (SS3, SS4 y SS5) abarcan el 27.3% y ocurren con la mayor frecuencia en octubre y septiembre con 14.1 y 5.8% respectivamente; los de gran intensidad (SS4 y SS5) se reportan en octubre con el 7.4%. Se observa la ocurrencia de 3 huracanes de categoría SS5: La "Tormenta de San Francisco de Borja" (10 al 11 de octubre de 1846): 916.2 hPa en La Habana; originada en A (Mar Caribe Occidental) y trayectoria S3N3 (según Fernández de Castro), causó centenares de muertes y enormes daños materiales. Categoría SS5 que se corresponde con la presión y los daños materiales. El "Huracán del Toledo y Mantua" (18 al 20 de octubre de 1924) que cruzó sobre el estrecho occidental (Península de Guanahacabibes: zona de poca densidad de población en provincia Pinar del Río), con trayectoria S1N1 originado en A y con categoría SS5 estimada. El "Huracán de Santa Cruz del Sur" (8 al 9 de noviembre de 1932) donde las mareas de tormenta y el viento destruyeron la población costera de Santa Cruz del Sur, con trayectoria S7N8, originada en C y con categoría SS5 estimada como la mayor catástrofe natural en Cuba con más de 3 000 muertos. En 127 años no se catalogó huracanes en Cuba; el máximo de ocurrencia en un año es de 4. En 1886 con un caso de categoría SS3 estimado, un caso de categoría SS2 y dos casos de categoría SS1. En 1909 con 2 casos de categoría SS3, 1 caso de categoría SS2 y un caso de categoría SS1.

La distribución por intensidades (Tabla 7) muestra que casi la mitad de los huracanes que han afectado a Cuba lo han hecho con moderada o gran intensidad, según la escala de Rodríguez Ramírez. Una cifra similar fue registrada por los clasificados en las categorías 2, 3, 4 y 5 de la escala Saffir-Simpson.

Se denominó a los huracanes de las categorías 3, 4 y 5 como **huracanes intensos**. Entre 1791 y 2016 un total de 33 huracanes recibieron esta clasificación sobre Cuba, de los cuales 16 poseen las categorías 4 y 5 y pueden denominarse "como huracanes de gran intensidad" (Tabla 7).

**Tabla 4.** Ajuste de un Modelo de Poisson a la variable aleatoria X que cuenta el número de huracanes por año que han azotado a Cuba (1791-2016)

Huracanes	$n$	$\hat{\lambda} = \bar{x}$	$x$	$f$	$\frac{x}{*f}$	$\hat{p}$	$\hat{f} = n * \hat{p}$	$\hat{Q}_k$	$\hat{T}_k$
121	226	0.535398	0	139	0	0.5854361	131.723124	0.585436	-
			1	61	61	0.3134415	70.5243273	0.898878	2.412173
			2	20	40	0.083908	18.8793	0.982786	9.889002
			3	4	12	0.0149747	3.3693146	0.99776	58.09077
			4	2	8	0.0020044	0.45098127	0.999765	446.4867

**Tabla 5.** Verificación de la bondad de ajuste mediante la dócima de Kolmogorov-Smirnov

$s_j = f_j/n$	$\sum s_j$	$\hat{s}_j = \hat{f}_j/n$	$\sum \hat{s}_j$	$D = \left  \sum s_j - \sum \hat{s}_j \right $
0.617778	0.617778	0.585436	0.585436	0.617778
0.271111	0.888889	0.313441	0.898878	0.271111
0.088889	0.977778	0.083908	0.982786	0.088889
0.017778	0.995556	0.014975	0.997760	0.017778
0.008889	1.004444	0.002004	0.999765	0.008889

**Tabla 6.** Estratificación por meses y categorías Saffir-Simpson de huracanes en Cuba (1791-2016)

Categoría	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Total
SS1	6	2	8	21	16	6	59
SS2	1	1	6	10	10	1	29
SS3	0	0	4	4	8	1	17
SS4	0	1	1	3	7	1	13
SS5	0	0	0	0	2	1	3
Total	7	4	19	38	43	10	121
			<b>100</b>				

**Tabla 7.** Distribución por intensidades de los huracanes que afectaron a Cuba (1791-2016)

ESCALA RODRÍGUEZ RAMÍREZ	DISTRIBUCIÓN	ESCALA SAFFIR SIMPSON	DISTRIBUCIÓN
Gran Intensidad	16	Categoría 5	3
		Categoría 4	13
Moderada Intensidad	36	Categoría 3	17
		Categoría 2	29
Poca Intensidad	59	Categoría 1	59
Total	121		121

### Observaciones:

Los años de mayor ocurrencia de ciclones tropicales son: 1886 con 4 huracanes y 2 tormentas tropicales, 1887 con 2 huracanes SS1 y 4 tormentas tropicales, 1906 con 1 huracán SS3, 2 huracanes SS1 y 2 tormentas tropicales, 1909 con 4 huracanes y 1 tormenta tropical, 1933 con 1 huracán SS3, 2 huracanes SS2 y 2 tormentas tropicales, 2005 con 1 huracán SS4 y 4 tormentas tropicales. En el año 2005 se catalogaron 28 ciclones tropicales en el Atlántico Norte: record histórico, 3 de ellos ("Wilma", "Rita" Y "Katrina") de categoría SS5, afectaron a Cuba con categoría de tormenta tropical.

Durante el período 1953-2000 (48 años) no se reportaron la ocurrencia de huracanes intensos en Cuba. En el año 2008 se reportó el caso único de tres huracanes de gran intensidad en Cuba: El "Gustav" (SS4) cruzando sobre la provincia Pinar del Río desde el Mar Caribe del 29 al 31 de agosto, con una racha de 340 km/h registrada en el Dines de la estación meteorológica de Paso Real de San Diego el día 30, se considera por la OMM como el ciclón tropical que generó el récord mundial de racha máxima mediante un aparato registrador, el "Ike" (SS4 disminuyendo a SS3 sobre la provincia Holguín y a SS1 sobre las regiones central y occidental), del 7 al 10 de septiembre y el "Paloma" (SS3 al penetrar por la costa sur de provincia Camagüey) desde el Mar Caribe convirtiéndose en baja remanente, del 8 al 9 de noviembre.

El intervalo temporal mínimo entre la ocurrencia de dos huracanes intensos es menor de un mes: Huracán del 19 al 21 de septiembre de 1948 con categoría SS3 y el huracán del 4 al 5 de octubre de 1948 con categoría SS3, cruzando, el primero por las provincias de Matanzas y La Habana y el segundo por las provincias de Pinar del Río y La Habana. Otros dos casos inmediatos: Huracán "Gustav" del 29 al 31 de agosto de 2008 con categoría SS4 y huracán "Ike" del 7 al 10 de septiembre del 2008 con categoría SS4 disminuyendo a SS3 y el

huracán del 16 al 18 de septiembre de 1909 con categoría SS3 y el huracán del 9 al 11 de octubre de 1909 con categoría SS3.

### CONCLUSIONES

Se observa que el Modelo de Poisson se ajusta con el nivel de significación requerido a la variable contadora del número de huracanes por año para toda Cuba (Tabla 4), este comportamiento anual está relacionado con un fenómeno de baja frecuencia de ocurrencia. Los meses de mayor frecuencia de ocurrencia de huracanes son: octubre (35.5 %), septiembre (31.4 %) y agosto (15.7 %) ocupando un 82.7 %. Los huracanes intensos representan el 27.3 % y ocurren con mayor frecuencia en octubre con el 14.1 %, en los últimos 16 años el 81.8 % de los huracanes que afectaron a nuestro país son intensos y el 54.6 % de gran intensidad.

### RECOMENDACIONES

Hacer este estudio para cada una de las regiones y las provincias de nuestro país.

### REFERENCIAS

- Andrews, Alexa Jo. 2007. "Spatial and temporal variability of tropical storm and hurricane strikes in the Bahamas, and the Greater and Lesser Antilles". *LSU Master's Theses*. 3558. [http://digitalcommons.lsu.edu/gradschool\\_theses/3558](http://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_theses/3558)
- Ballester, M., González, C., y Pérez, R. (2009). "Actividad ciclónica en las áreas del océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el periodo 1886-2008". Informe final del resultado 415.512. Instituto de Meteorología. La Habana. 100pp.
- Ballester, M., González, C., y Pérez, R. (2010). Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico. (R. Carreiro, Ed.) (Editorial). La Habana, Cuba.
- Dunn, G. & B. Miller (1969). *Atlantic Hurricanes*. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias. Instituto del Libro, La Habana, Cuba. 326 pp.



- Gray, W. (1968): Global view of the Origin of Tropical Disturbances and Storms. *Monthly Weather Review*, volume 96, number 10.670-700 pp.
- Landsea, C., J. Franklin & J. Beven (2014). The revised Atlantic hurricane database (HURDAT2). April 2014. The National Hurricane Center (NHC), Miami, Florida, USA. [Consulta 26 junio 2016]. Disponible en internet: <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/newhurdat-format.pdf>
- Limia, M., R. Pérez y R. Vega (2000): Climatología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba. en "Los ciclones tropicales de Cuba, su variabilidad y su posible vinculación con los cambios globales". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100pp.
- National Oceanographic and Atmospheric Agency. National Hurricane Operations Plan (Washington D.C.: U.S. Department of Commerce, NOAA, 1977).
- OMM (1957). Seminario sobre los Huracanes del Caribe. Auspiciado por el Gobierno de República Dominicana, la Administración de Asistencia Técnica de las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial. Ed. Librería Dominicana, Ciudad Trujillo, República Dominicana. 398 pp.
- OMM (2013). Programa de ciclones tropicales. Informe OMM/DT- N° 494. Ginebra Suiza.
- Pérez, R. (2006). Cronología de los Huracanes de Cuba. Probabilidad de afectación por huracanes en cada provincia de Cuba. Informe abreviado. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 8 pp.
- Pérez, R. (2013). Cronología de los Huracanes de Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 7 pp.
- Pérez, R., R. Vega & M. Limia (2000). Los ciclones tropicales que han afectado a las provincias de ciudad de La Habana y La Habana. *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba* [en línea]. Volumen 6, No 1, Art 3-1, enero 2000. [Consulta 12 abril 2016]. Disponible en internet: [http://www.insmet.cu/sometcuba/boletin/v07\\_n01/espanol/art\\_3-1.htm](http://www.insmet.cu/sometcuba/boletin/v07_n01/espanol/art_3-1.htm)
- Pérez, R., R. Vega & M. Limia (2001). Los huracanes más intensos y desastrosos de Cuba en los últimos dos siglos. *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba* [en línea]. Volumen 7, No 2, Art 3-1, enero 2001. [Consulta 26 septiembre 2016]. Disponible en internet: [http://www.insmet.cu/sometcuba/boletin/v07\\_n01/espanol/art\\_3-1.htm](http://www.insmet.cu/sometcuba/boletin/v07_n01/espanol/art_3-1.htm)
- Rubiera, J., C. González, M. Ballester, M. Llanes, A. Caymares, Y. Gimeno, E. Mojena. (2006). *Curso sobre Ciclones Tropicales*. Edit. Academia. La Habana, Cuba. 32 pp.

**NOTA:** Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

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