

Tkhurs: software estadístico para calcular los períodos de retorno de huracanes

Statistical software to calculate hurricane return periods

 Pedro Roura-Pérez^{1*},  Vivian Sistachs-Vega²,  José Carlos Arenas-Sánchez²

CU-ID: 2377/v28n1e08

¹Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

²Facultad de Matemática y Computación, 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 magnitud, 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. Esta es la razón por la que se decidió desarrollar el software TkhURS, para obtener los períodos de retorno y calcular las frecuencias estimadas. Este procedimiento se realiza 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 brinda la metodología para una mejor comprensión a la hora de utilizar el software. Con el modelo más representativo en el ajuste de los datos, se permite dar estimados más cercanos a la realidad y brindar un mayor conocimiento del régimen de la variable en cuestión. Además, permitirá ofrecer servicios a distintas instituciones para obtener beneficios económicos.

Palabras claves: Huracanes, Modelo de Poisson, Períodos de Retorno y TkhURS.

ABSTRACT: The greatest natural disasters registered in our country's history have been associated with tropical cyclones. The great cyclonic activity that has taken place in the past few years has focused the attention the climatology of these events, their variability and their tendency on the long haul. Several hurricanes have caused disasters of great magnitude, due, fundamentally to the number of diseased according to the impact of the storms. According to the revised trajectory of the hurricanes that thrashed the Cuban island and the surrounding seas, the Cuban Republic territory has different sensibilities regarding the degrees of damage. This is the main reason behind the development of the TkhURS software to obtain the return periods and calculate the estimated frequencies. This procedure is performed through a Poisson Model Fitting of the variable that counts the number of hurricanes that thrashed Cuba on the period 1791-2016, from the Chronology of Tropical Cyclones and General Weather States. We propose a methodology to have a better understanding of how to use the software. With the most representative model to fit the data, we allow to estimate values closer to reality and to better understand the analyzed variable regime. In addition, we offer these services to several institutions to obtain an economical gain.

Key Words: Hurricanes, Poisson Model, Return Periods and TkhURS.

1. INTRODUCCIÓN

Los más grandes desastres naturales que recoge la historia de nuestro país han estado asociados a los ciclones tropicales. Varios huracanes han ocasionado desastres de gran significación debidos, fundamentalmente al número de personas que murieron como consecuencia del impacto de la tormenta. La gran actividad ciclónica ocurrida en los últimos años, ha centrado aún más la atención sobre la climatología de los ciclones tropicales, su variabilidad y sus tendencias a largo plazo.

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 (está más actualizada hay información desde 1791-2017). 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, 2006, 2013).

*Autor para correspondencia: Pedro Roura-Pérez. E-mail: pedro.roura@insmet.cu

Recibido: 02/08/2021

Aceptado: 20/01/2022

Es necesario saber los períodos de retorno de la afectación de huracanes a cada una de las provincias, por región y en general a Cuba. También se tiene en cuenta los Resúmenes de la Temporada Ciclónica elaborados por el Centro de Pronósticos del Tiempo del Instituto de Meteorología para los años posteriores a 1998. Se tiene en cuenta la categorización con que cada huracán afectó a cada provincia, utilizando para ello la escala Saffir-Simpson.

En la actualidad se denomina a los huracanes de las categorías 3, 4 y 5 como “huracanes intensos”. Los huracanes de las categorías 4 y 5 pueden denominarse “como los huracanes más intensos” o de “gran intensidad”, los de categorías 2 y 3 como intensidad moderada y los de categoría 1 de poca intensidad. En la [Tabla 1](#) se presenta la clasificación de los huracanes de acuerdo con la escala de Saffir - Simpson.

El Archipiélago Cubano está dividido actualmente en 15 provincias y 169 municipios (92 de estos poseen costas); a partir de las cuales se pueden definir las siguientes regiones: región Occidental: provincias Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Matanzas y Municipio Especial Isla de la Juventud; región Central: provincias Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey; región Oriental: provincias Las Tunas, Granma, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo.

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 ([Roura et al., 2018](#)).

Para el Instituto de Meteorología (INSMET) y en especial para el Centro del Clima (CENCLIM) la utilidad de estos estudios es de gran importancia por lo cual se ha priorizado esta temática dentro de sus objetivos de trabajo, se desarrolló el software para calcular los periodos de retorno de los huracanes con el objetivo de poder desarrollar análisis científicos con mayor rigor de todas las provincias, regiones y del país en un período determinado con lo cual contribuye a la caracterización de las variables climatológicas.

Por esto y con el objetivo de procesar las diferentes cronologías del país y facilitar la caracterización de huracanes, tanto a nivel nacional como regional y provincial, se decide implementar un software, para el fácil manejo de estos datos. El software TkHURS permite el manejo de estas cronologías, y el análisis de las mismas, agrupando la información en distintas vistas que permiten observar, por ejemplo, la cantidad de huracanes por regiones y calcular el período de retorno de los mismos.

Tomando la cronología de huracanes, con la idea de facilitar el trabajo y eliminar errores a la hora de cálculos se desarrolló una aplicación visual que permite al usuario introducir los datos y el programa le brindará una serie de aplicación desarrollada para filtrar los datos en distintas cronologías de huracanes en Cuba, por región o por provincia y apreciar distintos análisis de los mismos para definir los períodos de retorno de huracanes a través del modelo de Poisson con el objetivo de agilizar y obtener rápidamente información.

En este artículo se describe un software y las herramientas empleadas para su desarrollo. Se especifica su funcionamiento y la metodología a utilizar con datos de variables climáticas. En este documento tenemos una pequeña introducción, en los materiales y métodos la explicación del modelo de Poisson utilizado; la implementación, las funcionalidades del software, así como, la metodología. En los resultados y discusión veremos la descripción del software a través del uso de la cronología general para toda Cuba durante el período 1791-2018 y con la cronología filtrada particular de la región de occidente con los huracanes intensos en el período 2000-2018. También las conclusiones, recomendaciones y bibliografía.

El objetivo general es desarrollar un software para el análisis de diferentes períodos de retorno a través del ajuste de un modelo de Poisson a la variable aleatoria X que cuenta el número de huracanes por año que han azotado a cada una de las provincias, regiones y en general al país, a partir de la cronología de los ciclones tropicales que han afectado durante el período de 1791-2018. Dentro de los objetivos específicos tenemos: obtener la frecuencia esperada de huracanes por año, a través del cálculo de la probabilidad de ocurrencia mediante la fórmula de recurrencia. Luego se calcula el acumulado de las probabilidades y así se obtiene el período de retorno.

Tabla 1. Clasificación de los huracanes según la escala de Saffir - Simpson

Categoría	Viento máximo sostenido (km/h)	Daños
1	119 - 153	Mínimos
2	154 - 177	Moderados
3	178 - 208	Extensos
4	209 - 251	Extremos
5	≥ 252	Catastróficos

2. 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 (Dunn & Miller, 1969; Gray, 1984; 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 "Hurdad2" (Landsea et al., 2014). Se tomaron en cuenta los ciclones tropicales que afectaron el territorio cubano en el período 1791-2017.

2.1. 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 (Roura et al., 2018):

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

La media y la varianza son iguales, o sea:

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

Que tiene la fórmula de recurrencia:

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

Y la función de distribución acumulativa:

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

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 λ , que es un parámetro poblacional que se estima mediante la expresión:

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

Que es la media muestral, donde f_i es la frecuencia observada de la clase i -ésima donde:

$$i = 0, 1, 2, \dots, N \text{ y } \sum_{i=0}^N f_i = n \quad (6)$$

Es la frecuencia observada total.

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

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

Es la frecuencia esperada de la clase i -ésima;

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

O sea,

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

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

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

2.2. Implementación

Con la idea de facilitar el trabajo y eliminar errores a la hora de realizar los cálculos, se desarrolló una aplicación visual que permite a un usuario introducir la cronología de huracanes, el programa le brindará una serie de aplicación desarrollada para filtrar los datos en distintas cronologías de huracanes en Cuba, por región o por provincia y apreciar distintos análisis de los mismos para definir los períodos de retorno de huracanes a través del modelo de Poisson con el objetivo de agilizar y obtener rápidamente información.

La herramienta computacional que se presenta en este documento es una aplicación de nombre TkHURS.exe, desarrollada sobre la plataforma .NET y utilizando el lenguaje de programación C#. En este artículo presentaremos la metodología utilizada en el software para analizar el comportamiento de los huracanes.

2.2.1. Entorno de desarrollo

A continuación, se describen las plataformas y herramientas escogidas para el desarrollo de la aplicación.

2.2.1.1. Plataforma .NET

La plataforma .NET, en inglés .NET Framework, fue desarrollada por Microsoft con el objetivo de obtener una plataforma sencilla y potente que funcionara sobre Windows e integrara un número de tecnologías surgidas durante el fin de la década de 1990. Esta plataforma consta de cuatro grupos de componentes (González, 2012):

- a. Herramientas de desarrollo y bibliotecas: Es un conjunto conformado por lenguajes de programación (entre ellos C#, Visual Basic.Net y F#), herramientas de desarrollo como Visual Studio, una biblioteca de clases integral para construir aplicaciones tanto para la web como para Windows.
- b. Servicios Web: Oferta de servicios web comerciales, por una cuota los desarrolladores pueden usarlos para desarrollar aplicaciones que los requieran.
- c. Servidores especializados: Son un grupo de servidores empresariales, entre ellos se encuentra el SQL Server.
- d. Dispositivos: Es la posibilidad de interactuar con dispositivos que no sean computadoras, como teléfonos celulares o dispositivos de juego.

Cuando las aplicaciones desarrolladas sobre .NET son compiladas, se genera un código intermedio entre el lenguaje de programación utilizado y el código de máquina. A este código intermedio se le conoce como Common Intermediate Language (CIL). Cuando una aplicación es ejecutada, la plataforma .NET se encarga de convertir el código CIL en código de máquina. Este proceso se basa en dos pilares fundamentales (González, 2012):

- a. Common Language Runtime (CLR): Es el entorno de ejecución que pasa de código intermedio CIL a código máquina y permite ejecutar cualquier aplicación en cualquier entorno.
- b. Framework Class Library (FCL): Son las bibliotecas de clase, incluidas en la plataforma, que permiten acceder a los servicios ofrecidos por el CLR y las funcionalidades más usadas a la hora de escribir programas.

Existen varias versiones de la plataforma .NET, la primera de ella fue lanzada en el año 2002 y fue conocida como .NET Framework 1.0. Ha seguido continuamente su desarrollo, hasta la última versión, .NET Framework 4.6., lanzada en el año 2015. En cada nueva versión de la plataforma, se incluyen nuevas funcionalidades, servicios y mejoras en los lenguajes de programación. La aplicación SEVECLIM.exe, propuesta en este trabajo fue desarrollada sobre la plataforma .NET Framework 4.5, por ser mucho más distribuida que la reciente versión 4.6 y por el gran número de bibliotecas de clases compatibles.

2.2.1.2. Lenguaje de programación C#

El nombre C# viene del inglés "C Sharp". C# fue en su día el nuevo lenguaje diseñado por Microsoft para su plataforma .NET. Sus principales creadores fueron Scott Wiltamuth y Anders Hejlsberg, éste último también conocido por haber sido el diseñador del lenguaje Turbo Pascal y la herramienta RAD Delphi.

C# es un lenguaje de programación que toma las mejores características de lenguajes preexistentes como Visual Basic, Java y C++ y las combina en uno solo. El hecho de ser relativamente reciente no implica que sea inmaduro, pues Microsoft ha escrito la mayor parte del FCL usándolo, por lo que su compilador es el más depurado y optimizado de los incluidos en el .NET Framework (Thai & Lam, 2003).

Por características de este lenguaje como son la sencillez, orientación a objetos y gestión automática de memoria, se escogió para el desarrollo de la aplicación propuesta. A continuación, se describen estas características:

- a. Sencillez: Elimina muchos elementos que otros lenguajes incluyen y que son innecesarios en .NET.
- b. Orientación a Objetos: Como todo lenguaje de programación de propósito general actual, C# es un lenguaje orientado a objetos. La diferencia de este enfoque orientado a objetos respecto al de otros lenguajes como C++ es que el de C# es más puro en tanto que no admiten ni funciones ni variables globales, sino que todo el código y datos han de definirse dentro de definiciones de tipos de datos, lo que reduce problemas por conflictos de nombres y facilita la legibilidad del código.
- c. Gestión automática de memoria: Todo lenguaje de .NET tiene a su disposición el recolector de basura del CLR, el cual libera automáticamente las zonas de memoria que no son utilizadas. Esto tiene el efecto en el lenguaje de que no es necesario incluir instrucciones de destrucción de objetos.

2.3. Funcionalidades del software

El software TkHURS ofrece una gama de opciones para el trabajo con cronologías de huracanes. Su funcionamiento comienza con la importación de datos de un fichero .csv con el siguiente formato: la primera columna debe tener los nombres de los huracanes o como fueron conocidos, la segunda el año de la afectación, la tercera el mes en que afectaron y la cuarta los días, el resto de las columnas representan como afectó a cada una de las provincias en la escala Saffir-Simpson representado por un número de 1 al 5.

Los encabezados de las columnas de las provincias deben coincidir con los especificados en la ventana leyenda de la aplicación para cada una de las mismas. Una vez cargados estos datos, se permitirán seleccionar distintas opciones para visualizar los datos y facilitar el trabajo del especialista del Instituto de Meteorología. Se podrá observar la cronología cargada, así como, editar las entradas existentes y agregar nuevas. Se podrán cargar nuevas cronologías¹ y, para facilitar el trabajo del investigador, recuerda la última cronología usada y la importa automáticamente al ejecutar la aplicación.

El software fue desarrollado para ser intuitivo y de fácil manejo para los usuarios a los que está destinado. Se proporcionan una serie de filtros para optimizar la vista de los datos deseados. Entre los parámetros que permiten ser modificados para el funcionamiento de los filtros se encuentran: rango anual, rango de categoría y región o provincia que se desea observar.

Se muestra el período de tiempo observado y la cantidad de huracanes en cada vista. Entre las distintas pantallas que se ven afectadas por el filtrado se encuentran: una vista simple de la cronología restringida, cantidad de huracanes por categoría, cantidad de huracanes coincidentes en el mismo año por categoría, cantidad de huracanes por meses y una tabla mostrando el período de retorno de los huracanes, con distintas frecuencias de la estadística descriptiva y varios cálculos para facilitar la aplicación de la comprobación de Kolmogorov-Smirnov, todo esto explicado en la sección 1.2.

Además, se proporciona una leyenda para el conocimiento del usuario de todas las variables y abreviaturas usadas y sus respectivos significados. Se permite, también, la exportación de todas las tablas obtenidas a un archivo .xls de Microsoft Excel. La [figura 1](#) muestra, en un simple esquema, el flujo de la aplicación explicado anteriormente.

2.4. Metodología

La metodología propuesta en el software para el análisis del cálculo de los periodos de retorno de los huracanes tendrá en cuenta los siguientes pasos:

PASO 1: En Archivo, Cargar Cronología: se cargan los datos desde un fichero .csv.

PASO 2: En Mostrar, Cronología General: se muestra la tabla de toda la información.

PASO 3: En Años: se define el año de inicio y final.

PASO 4: En Categoría: se elige una o varias categorías de los huracanes.

PASO 5: En Región: se elige la provincia, la región o Cuba en general.

PASO 6: Una vez realizados los pasos 3, 4 y 5, en Mostrar, Cronología Filtrada: se muestra la información con la que se desea hacer el análisis.

PASO 7: En Mostrar, Huracanes/Categoría: se muestra la tabla del conteo de Huracanes por Categorías en la escala de Saffir-Simpson.

PASO 8: En Mostrar, Huracanes al Año/Categoría: se muestra la tabla del conteo de cuántas veces han ocurrido cierta cantidad de huracanes al año

de cada una de las categorías según la escala de Saffir-Simpson.

PASO 9: En Mostrar, Períodos de Retorno: se muestran varias informaciones de interés como la frecuencia observada y esperada del número de huracanes y lo más importante los valores del período de retorno de cada cantidad específica de huracanes por año. Se muestra el cálculo de la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

PASO 10: En Mostrar, Meses/Categorías: se puede observar el conteo de los huracanes por mes y categoría. Muestra la cantidad de huracanes de los tres meses más activos (agosto, septiembre y octubre) y la cantidad de huracanes intensos (categorías 3, 4 y 5 en la escala de Saffir-Simpson).

PASO 11: En Guardar Cambios: se puede guardar cualquier cambio que se realice en la misma vista de la aplicación, creando un nuevo fichero que se puede guardar con el nombre deseado.

PASO 12: En Leyenda: esta pestaña se encarga, solamente, de proporcionar una leyenda sobre la simbología usada en la aplicación en general para una mayor comprensión.

PASO 13: En la pantalla se pueden observar la cantidad de huracanes y el período de tiempo que se va a usar en el estudio deseado.

PASO 14: En Archivo, Guardar tablas: se guarda en un fichero .xls los datos con los cuales se han realizado el análisis (Cronología General, Cronología Filtrada, Huracanes/Categoría, Huracanes Al Año/Categoría, Períodos de Retorno y Meses/Categoría).

Como resumen se ilustra gráficamente ([Figura 1](#)) la metodología utilizada en el software TkHURS.exe.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el período 1791-2018, Cuba ha sido azotada por 116 huracanes: 51 de categoría SS1 (44.0%), 31 de categoría SS2 (26.7%), 16 de categoría SS3 (13.8%), 14 de categoría SS4 (12.1%), 4 de categoría SS5 (3.4%), además 34 de huracanes intensos (SS3, SS4 y SS5) (29.3%) y 18 de gran intensidad (SS4 y SS5) (15.5%).

En este epígrafe veremos la descripción del software a través del uso de la cronología general para toda Cuba durante el periodo 1791-2018 y con la cronología filtrada particular de la región de occidente con los huracanes intensos en el periodo 2000-2018. El software TkHURS es un software pensado para trabajar en él de forma intuitiva. Inclusive no cuenta con muchos comandos o botones para realizar la acción

¹La aplicación solo trabaja con una cronología a la vez.

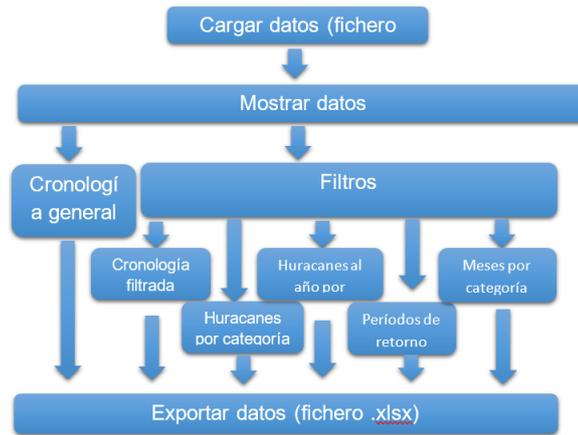


Figura 1. Metodología seguida en el software TKHURS.exe

Nombre	Años	Mes	Días	PRI	IJV	ART	MYB	LHB	MTZ	CFG	VCL	SSP
El Temporal de Puentes Grandes	1791	Junio	21, 22	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Sin Nombre	1791	Septiembre	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huracán de San Narciso	1792	Octubre	29	1	2	2	1	2	1	0	0	0
Huracán de San Agustín	1794	Agosto	27, 28	0	1	2	1	2	1	0	0	0
Sin Nombre	1796	Octubre	2, 3	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Tormenta Segunda de San Rafael	1796	Octubre	24	0	1	1	0	1	0	0	0	0
Sin Nombre	1800	Noviembre	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1804	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1807	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
La Tormenta de La Escarcha Saltrosa	1810	Octubre	25, 26	3	2	3	2	3	2	0	0	0
Huracán de Trinidad	1812	Octubre	14	0	0	0	0	0	1	3	3	3
Sin Nombre	1821	Septiembre	13	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Huracán de Cienfuegos y Trinidad	1825	Septiembre	30, 1	0	0	0	0	0	2	3	3	3
Sin Nombre	1831	Agosto	13, 14	0	0	1	1	1	1	1	1	1
Sin Nombre	1832	Junio	3 al 6	0	0	0	0	0	1	1	1	0

Figura 2. Pantalla principal

deseada con el objetivo de hacer su manejo lo más sencillo posible para el usuario.

3.1. Pantalla principal

Se brinda una breve descripción de las características del software que a nuestro entender son de gran importancia. La aplicación cuenta con una vista principal (Figura 2) compuesta por distintos componentes:

Archivo: se usa para dos funciones: Cargar Cronología y Guardar Tablas.

Mostrar: se usa para seis funciones: Cronología General, Cronología Filtrada, Huracanes/Categoría, Huracanes Al Año/Categoría, Períodos de Retorno y Meses/Categoría.

Leyenda: esta pestaña se encarga, solamente, de proporcionar una leyenda sobre la simbología usada en la aplicación en general.

Años: permite elegir año de inicio y final para realizar distintos análisis sobre los datos.

Categoría: permite elegir una o varias categorías de los huracanes que se muestran.

Región: permite elegir la provincia, la región o Cuba en general para realizar el análisis deseado.

Huracanes: se muestra la cantidad de huracanes que cumplen los requisitos de filtrado seleccionados para ser mostrados.

Período de tiempo: se muestra el período de tiempo analizado que cumplen los requisitos de filtrado seleccionados para ser mostrados.

Guardar Cambios: se usa para guardar cualquier cambio que se realice en la misma vista de la aplicación, creando un nuevo fichero que puede guardar con el nombre deseado.

3.2. Entrada de los datos y descripción del fichero

Parte principal del software es conocer los datos sobre los que se realizara el estudio. Para facilitarles a los usuarios la entrada de los mismos al programa se les brinda la opción de cargar un fichero “.csv” con

la cronología, la cual se puede modificar y actualizar cada vez que sea necesario (Figura 3).

El fichero se describe de la siguiente manera: la primera columna será el nombre del huracán, la segunda el año, la tercera el mes, la cuarta el o los días en que afectó al país y el resto de las columnas representarán con qué categoría afectó a cada una de las provincias. En caso de haber cargado los datos y querer seguir trabajando sobre ellos no es necesario volverla a cargar ya que la aplicación recuerda la última información cargada (Figura 4).

3.3. Mostrar las distintas tablas

Con la opción mostrar se pueden ver las distintas tablas acerca de los datos: Cronología General, Cronología Filtrada, Huracanes/Categoría, Huracanes Al Año/Categoría, Períodos de Retorno y Meses/Categoría (Figura 5).

Cronología General: muestra la cronología cargada en su totalidad sin tener en cuenta filtros de ningún tipo (Figura 6). En esta vista es donde se pueden modificar y guardar los datos que se proveen en el

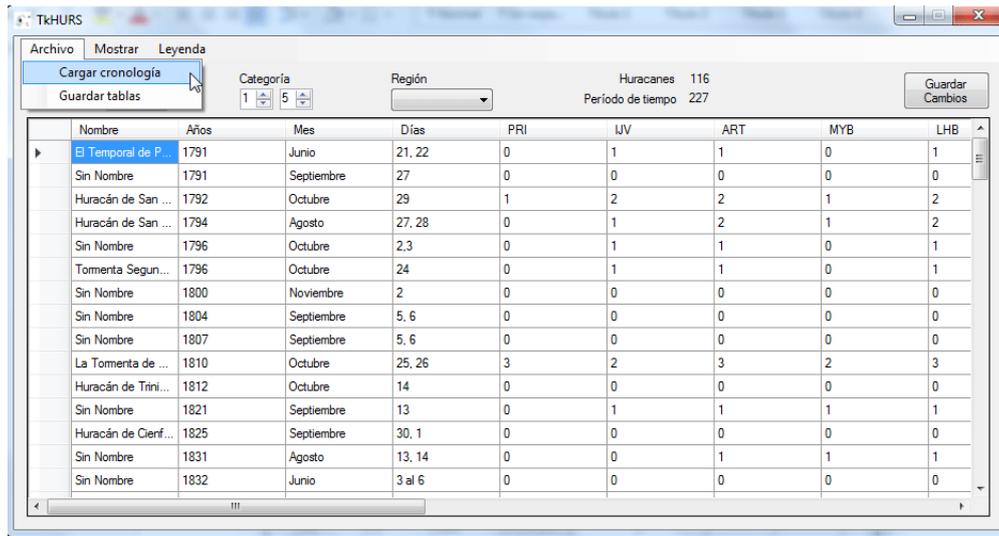


Figura 3. Entrada de datos al sistema

Nombre	Años	Mes	Días	PRI	IJV	ART	MYB	LHB	MTZ	CFG	VCL	SSP	CAV	CMW	LTU	GRM	HLG	SGC	GTM
El Temporal de Puertas Grandes	1791	Junio	21, 22	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1791	Septiembre	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Huracán de San Narciso	1792	Octubre	29	1	2	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Huracán de San Agustín	1794	Agosto	27, 28	0	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1796	Octubre	2, 3	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tormenta Segunda de San Raf...	1796	Octubre	24	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1800	Noviembre	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Sin Nombre	1804	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Sin Nombre	1807	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2
La Tormenta de La Escarcha S...	1810	Octubre	25, 26	3	2	3	2	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 4. Fragmento de la Cronología de huracanes de Cuba (1791-2018)

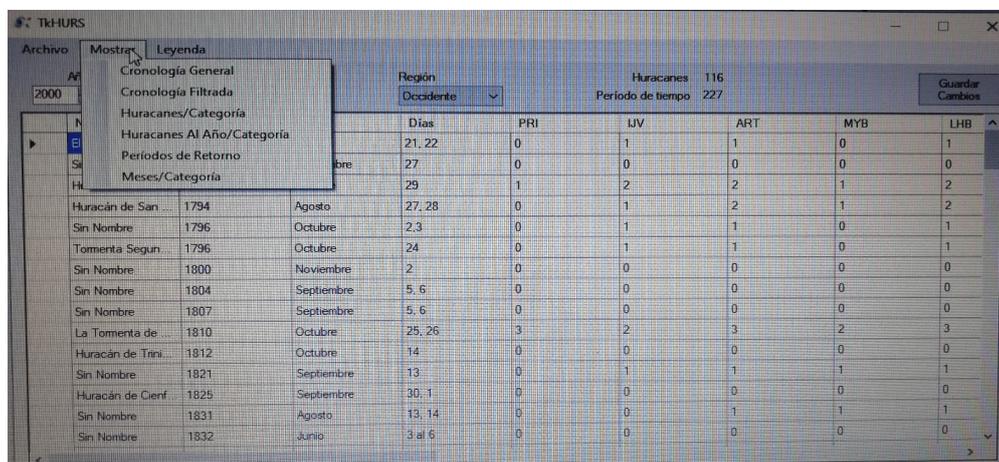


Figura 5. Se muestran las diferentes pantallas

archivo “.csv”. Aquí es donde único se va a mostrar el botón “Guardar Cambios” que hace posible salvar las modificaciones realizadas.

Cronología Filtrada: muestra la cronología resultante de aplicar la selección de los datos del rango de años, de categoría y la región que se quiere investigar (Figura 7).

Huracanes/Categoría: muestra un conteo de los huracanes por categoría en la escala de Saffir-Simpson (Figura 8).

Huracanes Al Año/Categoría: muestra un conteo de cuántas veces han ocurrido cierta cantidad de huraca-

nes al año de cada una de las categorías según la escala de Saffir-Simpson (Figura 9).

Períodos de Retorno: esta es la función más importante de la aplicación ya que apoyándose en valores como la frecuencia absoluta y la frecuencia relativa, obtiene y muestra dichos valores y el período de retorno de cada cantidad específica de huracanes por año (Figura 10).

Meses/Categoría: muestra un conteo de los huracanes por mes y categoría en la escala de Saffir-Simpson. Se observa el total de huracanes por mes y categoría. Muestra la cantidad de huracanes de los tres

Nombre	Años	Mes	Días	PRI	LIV	ART	MYB	LHB
El Temporal de P...	1791	Junio	21, 22	0	1	1	0	1
Sin Nombre	1791	Septiembre	27	0	0	0	0	0
Huracán de San ...	1792	Octubre	29	1	2	2	1	2
Huracán de San ...	1794	Agosto	27, 28	0	1	2	1	2
Sin Nombre	1796	Octubre	2, 3	0	1	1	0	1
Tormenta Segun...	1796	Octubre	24	0	1	1	0	1
Sin Nombre	1800	Noviembre	2	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1804	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1807	Septiembre	5, 6	0	0	0	0	0
La Tormenta de ...	1810	Octubre	25, 26	3	2	3	2	3
Huracán de Trini...	1812	Octubre	14	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1821	Septiembre	13	0	1	1	1	1
Huracán de Cienf...	1825	Septiembre	30, 1	0	0	0	0	0
Sin Nombre	1831	Agosto	13, 14	0	0	1	1	1
Sin Nombre	1832	Junio	3 al 6	0	0	0	0	0

Figura 6. Pantalla principal con la cronología general cargada

Nombre	Años	Mes	Días	PRI	LIV	ART	MYB	LHB
Michelle	2001	Noviembre	4	0	4	0	1	0
Charley	2004	Agosto	12	1	1	3	1	3
Ivan	2004	Septiembre	14	4	1	0	0	0
Dennis	2005	Julio	8, 9	0	0	0	2	1
Gustav	2008	Agosto	30	4	4	4	0	0
Irma	2017	Septiembre	8	0	0	0	0	0

Figura 7. Cronología filtrada

Categorías	1H/año
SS1	0
SS2	0
SS3	3
SS4	3
SS5	0

Figura 8. Huracanes por categorías

Categorías	1H/año
SS1	0
SS2	0
SS3	3
SS4	3
SS5	0

Figura 9. Huracanes al año por categorías

meses más activos (agosto, septiembre y octubre) y la cantidad de huracanes intensos (categorías 3, 4 y 5 en la escala de Saffir-Simpson) (Figura 11).

3.4. Exportar resultados

Guardar Tablas: se exporta a un Excel toda la información obtenida (Figura 12).

3.5. Leyenda

Esta pestaña se encarga, solamente, de proporcionar una leyenda sobre la simbología usada en la aplicación en general (Figura 13).

CONCLUSIONES

El software (TkHURS.exe) desarrollado, resulta ser una herramienta muy útil para el INSMET a la hora

de hacer investigaciones y para realizar servicios con beneficios económicos. 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 Cuba. Este comportamiento anual está relacionado con un fenómeno de baja frecuencia de ocurrencia. Se obtiene una metodología para un mejor uso de este software. Mediante la fórmula de recurrencia, se obtienen frecuencias esperadas que son similares a las observadas obteniéndose buenos resultados. Los valores esperados de los períodos de retorno son resultados coherentes con la realidad. Cuando se realizó el análisis con la cronología en el periodo 1791-2018 para todo el país se pudo observar que: los meses de mayor frecuencia de ocurrencia de huracanes son: octubre con 43 (37.1%), septiembre con 36 (31.0%) y agosto con 18 (15.5%) que comprenden el 83.6 %. Los 34 huracanes intensos (SS3, SS4 y SS5) represen-

H/año	x	f	x * f	p'	f'	Q_k	T_k	s_j
0H/año	0	14	0	0.729213	13.855047	0.729213		0.736842
1H/año	1	4	4	0.230278	4.375282	0.959491	3.692939	0.210526
2H/año	2	1	2	0.03636	0.69084	0.995851	24.685872	0.052632

Figura 10. Períodos de retorno

Meses	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	Total
Enero	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0
Abril	0	0	0	0	0	0
Mayo	0	0	0	0	0	0
Junio	0	0	0	0	0	0
Julio	0	0	1	0	0	1
Agosto	0	0	1	1	0	2
Septiembre	0	0	1	1	0	2
Octubre	0	0	0	0	0	0
Noviembre	0	0	0	1	0	1
Diciembre	0	0	0	0	0	0
Total	0	0	3	3	0	6

Figura 11. Meses por categoría

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
H/año	x	f	x * f	p'	f'	Q_k	T_k	s_j	Σs_j	s_j'	Σs_j'	Σs_j - Σs_j'	
0H/año	0	14	0	0.729213	13.85505	0.729213		0.736842	0.736842	0.729213	0.729213	0.007629	
1H/año	1	4	4	0.230278	4.375282	0.959491	3.692939	0.210526	0.947368	0.230278	0.959491	0.012123	
2H/año	2	1	2	0.03636	0.69084	0.995851	24.68587	0.052632	1	0.03636	0.995851	0.004149	

Figura 12. Datos guardados del análisis de períodos de retornos de huracanes

Leyenda

Provincias:
 PRI ---> Pinar del Río
 IJV ---> Isla de la Juventud
 ART ---> Artemisa
 MYB ---> Mayabeque
 LHB ---> La Habana
 MTZ ---> Matanzas
 CFG ---> Cienfuegos
 VCL ---> Villa Clara
 SSP ---> Sancti Spiritus
 CAV ---> Ciego de Ávila
 CMW ---> Camagüey
 LTU ---> Las Tunas
 GRM ---> Granma
 HLG ---> Holguín
 SGC ---> Santiago de Cuba
 GTM ---> Guantánamo

Categorías de los huracanes según la escala Saffir – Simpson:
 SS1 ---> Categoría 1
 SS2 ---> Categoría 2
 SS3 ---> Categoría 3
 SS4 ---> Categoría 4
 SS5 ---> Categoría 5

Otros símbolos:
 H/año ---> Huracanes por año
 x ---> Valor discreto de la variable
 f ---> Frecuencia absoluta
 n ---> Total de la frecuencia absoluta
 p' ---> Valores obtenidos usando una distribución de Poisson para P(x)
 f' ---> Frecuencia relativa
 Q_k ---> Suma acumulativa de los p techo
 T_k ---> Períodos de retorno
 s_j ---> $s_j = f_j / n$
 $\sum s_j$ ---> Suma acumulativa de los s_j
 s_j' ---> $s_j' = f_j \text{techo} * n$
 $\sum s_j'$ ---> Suma acumulativa de los s_j'

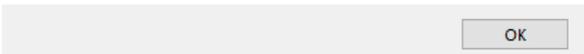


Figura 13. Leyenda de la simbología usada

tan el 29.3% y ocurren con mayor frecuencia en octubre con 17 (14.7%). Los 18 huracanes de gran intensidad (SS4 y SS5) representan el 15.5% y ocurren con mayor frecuencia en octubre con el 7.8%. En Cuba, en el periodo de 2000-2018 ha habido 12 huracanes, el 50.0% de ellos de categoría SS4, el 83.3% intensos y el 58.3% de gran intensidad. Además, 9 en el trimestre de mayor actividad agosto-octubre (75.0%), siendo el mes de septiembre el de mayor número con 5 (41.7%).

RECOMENDACIONES

Implementar en la próxima versión del software en la opción Visualización, el Modo Mapa para obtener salidas que ilustren los resultados de la investigación. Utilizar el software en todos los Centros Meteorológicos Provinciales del país con el objetivo de realizar mejores investigaciones y brindar servicios. Que la pantalla pueda minimizarse y maximizarse. Es neces-

rio hacer gráficos de las categorías y meses ya sea por provincia, región o toda cuba. Es necesario agregar algunos gráficos de barra y pastel que puedan mostrar algunos de estos resultados como son los huracanes por categorías y regiones, así como huracanes intensos. Confeccionar una tabla que contenga las probabilidades y periodos de retorno de la afectación por huracanes para cada provincia, región y para Cuba de una serie seleccionada por el especialista.

REFERENCIAS

Dunn, G., & Miller, B. (1969). *Atlantic Hurricanes*. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias, Instituto del Libro.

González, J. A. (2012). *El lenguaje de programación C#*.

Gray, W. M. (1984). Atlantic Seasonal Hurricane Frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Monthly Weather Review*, 112(9), 1649-1668. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1984\)112<1649:ASHFPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1984)112<1649:ASHFPI>2.0.CO;2)

Landsea, C., Franklin, J., & Beven, J. (2014). *The revised Atlantic hurricane database (HURDAT2)* [Database]. The National Hurricane Center (NHC). <http://www.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/newhurdat-format.pdf>.

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.

Pérez, R. (2013). *Cronología de los Huracanes de Cuba* [Informe oficial]. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencias, Tecnología y Medio Ambiente.

Roura, P., Vega, R., Sistachs, V., & Alpízar, M. (2018). Caracterización estadística climatológica de huracanes en Cuba durante el período 1791-2016. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(3), 304-312.

Rubiera, J., González, C., Ballester, M., Llanes, M., Caymares, A., Gimeno, Y., & Mojena, E. (2006). *Curso sobre Ciclones Tropicales*. Academia.

Thai, T. L., & Lam, H. (2003). *.NET Framework Essentials* (3rd ed.). O'Reilly Media, Inc. <https://www.oreilly.com/library/view/net-framework-essentials/0596005059/>

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de autoría: **Conceptualización:** P. Roura. **Conservación de datos:** P. Roura. **Invesatigación:** P. Roura. **Análisis formal:** P. Roura, V. Sistachs. : J. Arenas. **Metodología:** P. Roura, V. Sistachs, J. Arenas. **Redacción-revisión y edición:** P. Roura, V. Sistachs, J. Arenas.

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/)