

# CLIMATOLOGÍA DE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS DETERMINADAS A PARTIR DEL CÓDIGO DE ESTADO DE TIEMPO PASADO

*Yosvany Garcia Santos, Lourdes Álvarez Escudero*

Instituto de Meteorología.  
Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba.  
Teléfono: (537) 868 66 19  
e-mail: [ygarcia0218@gmail.com](mailto:ygarcia0218@gmail.com), [lourdes.alvarez@insmet.cu](mailto:lourdes.alvarez@insmet.cu)

**Resumen.** Las tormentas eléctricas constituyen uno de los procesos meteorológicos más comunes en el área tropical, particularmente en Cuba, donde se ven propiciadas por la configuración física y ubicación geográfica de este territorio. Debido a la disponibilidad y completamiento de la información en las estaciones pertenecientes a las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque, en el periodo 2000 – 2016, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la marcha interanual, anual y diaria de las variables “frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta” y “número de días con tormenta”, determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado, en la región y periodo mencionados. Las series de frecuencia de ocurrencia y días con tormenta asociadas a los códigos de tiempo pasado se contabilizaron según mes del año y hora del día para cada estación. La climatología teniendo en cuenta las observaciones de tiempo pasado mostró un comportamiento similar a la dada por tiempo presente, con máximos en julio donde alcanza un 26% del total de observaciones para el mes, y a las 19 hora local con un 31% para el horario correspondiente. El estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta arrojó tres series homogéneas, una creciente altamente significativa, una decreciente significativa, una decreciente altamente significativa y cuatro en las que no se pudo llegar a conclusión.

Palabras claves: Tormentas eléctricas, código de estado de tiempo pasado, frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, número de días con tormenta.

**Abstract.** Thunderstorms are one of the most common meteorological processes in the tropical area, particularly in Cuba, where they are favored by the physical configuration and geographic location of this territory. Due to the availability and completeness of the information in the stations belonging to the provinces of Havana, Artemisa and Mayabeque, in the period 2000 - 2016, the objective of this study is to determine the interannual, annual and daily course of the variables "occurrence of observations reporting thunderstorms" and "number of days with thunderstorm", using past weather code, in the region and period mentioned. The series of frequency of occurrence and days with thunderstorm associated with the past weather code were counted according to month of the year and time of day for each station. Climatology using the observations of the past weather code showed a behavior similar to that given by the present weather code, with the highest values on July with 26% of the total observations of the month, and 19 hours with 31% of the corresponding hour. Inter-annual course of the frequency of occurrence of observations reporting thunderstorms showed three homogeneous series, a highly significant increasing serie, a significant decreasing serie, a highly significant decreasing serie, and four series in which no conclusions could be drawn.

Keywords: thunderstorms, past weather code, frequency of occurrence of observations reporting thunderstorms, number of days with thunderstorm.

## INTRODUCCIÓN

Las tormentas eléctricas han sido estudiadas desde distintos puntos de vista, en particular su climatología, dada por la marcha interanual, anual y diaria de las mismas. Estos estudios resultan

de suma importancia, pues permiten determinar la época del año y los horarios del día donde el fenómeno presenta mayor incidencia, lo cual resulta muy útil para planificar actividades al aire libre, así como para perfeccionar los sistemas de protección, brindándole mayor seguridad a la población y a otros sectores vulnerables como el económico, el eléctrico, las telecomunicaciones, entre otros. Para el análisis de este fenómeno en nuestro país se dispone de tres fuentes de información fundamentales, como son los registros de código de estado de tiempo presente, los de código de estado de tiempo pasado y los del libro de fenómenos, cada uno con sus peculiaridades. El primero, mediante 8 valores, permite conocer de forma trihoraria desde que se escucha el trueno en la estación hasta que se observa la tormenta con diferentes grados de intensidad a la hora de la observación y una hora antes; el segundo, a través de un valor, describe la ocurrencia del fenómeno en el lapso entre la observación anterior y una hora antes de la presente (2 horas) pero con menos definición con respecto al fenómeno tormenta, y el tercero permite conocer con bastante aproximación la hora de comienzo y final del fenómeno, aunque constituye una fuente de información secundaria y no tributa al código sinóptico.

En el ámbito internacional, se han llevado a cabo múltiples investigaciones sobre la climatología de las tormentas a partir de los registros de código de estado de tiempo presente, entre los cuales se destacan el mapa de distribución mundial de días con tormenta confeccionado por la Organización Meteorológica Mundial en 1956 (OMM, 1956), así como la distribución mundial de tormentas y lluvias desarrollada por Dai (Dai, 2001a; Dai, 2001b). En la actualidad ha proliferado el uso de satélites y dispositivos detectores de descargas en la realización de estudios climáticos (Orville et al., 2002; Christian et al., 2003; Pessi y Businger, 2009; Virts et al., 2013; Albrecht et al., 2016).

En nuestro país los estudios climáticos que se han realizado han estado basados mayormente en los registros de código de estado de tiempo presente (Álvarez, 1983; Alfonso, 1986; Lecha et al., 1994; Álvarez, et al., 2005a, 2005b; Álvarez et al., 2006a, 2006b, 2006c; Álvarez et al., 2010; Álvarez et al., 2016c). Son escasos los trabajos a partir del código de estado de tiempo pasado, dos ejemplos donde se puso en práctica fue como parte de un estudio sobre nieblas (Álvarez et al., 2009c) y en la actualización de la distribución de las tormentas en Cuba hasta el año 2008 (Álvarez et al., 2012b), en este último solo fueron usadas 14 estaciones, aquellas que poseían series de registros completos o casi completos de datos en horarios de noche y madrugada.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la marcha interanual, anual y diaria de las variables “frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta” y “número de días con tormenta”, determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado, en las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque, en el periodo 2000 – 2016.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La base fundamental de información utilizada en el presente estudio la constituyeron los registros de observaciones trihorarias de código de estado de tiempo pasado de 10 estaciones dispuestas en las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque, en el período 2000-2016, los registros de tiempo presente también fueron analizados, pero solo para el caso de la estación de Casa Blanca. Algunas características de las series de tiempo pasado escogidas para cada estación, como el porcentaje de información útil, se presentan en la Tabla 1. Los datos fueron tomados de la Base de Datos Nueva\_THOR, y actualizada con datos de tiempo presente y pasado hasta el 2016 para el área de estudio ofrecidos por el Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque del INSMET. Como se puede observar en la Tabla 1, los datos escogidos de tiempo pasado están muy completos, con más del 90% de información útil para todas las estaciones, excepto para Santiago de las Vegas debido a la ausencia de mediciones durante todo el año 2007 y primeros 5 meses del 2008, además entre los años 2000 y 2006 no se registraban mediciones de noche y madrugada en esta estación.

Tabla 1. Características de las series de tiempo pasado de las estaciones en estudio.

Número de la estación	Nombre de la estación	Datos posibles	Datos válidos	% de información útil
318	Bahía Honda	49680	49400	99,4
320	Güira de Melena	49680	48639	97,9
322	Batabanó	49680	45674	91,9
323	Güines	49680	47591	95,8
325	Casa Blanca	49680	49672	100
340	Bainoa	49680	49161	99
373	Santiago de las Vegas	46760	37748	80,7
374	Tapaste	49680	47797	96,2
375	Melena del Sur	49680	46616	93,8
376	Bauta	49680	49672	100

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del código de estado de tiempo pasado se tomó según la Tabla correspondiente del Manual de Claves (WMO, 1988), donde solo se tendrá en cuenta el código “9”, aunque este no brinda mayores especificidades. Las variables para trabajar fueron:

- Frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas: obtenida al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas.
- Número de días con tormenta: Se contabiliza día con tormenta cuando al menos hubo una observación con tormenta en el día. La variable más común en estudios anteriores es el número promedio anual de días con tormenta o nivel cerámico.

Con el objetivo de analizar el completamiento de las series de registros y el sesgo que la falta de datos podría introducir en su distribución, el autor se basó en la metodología desarrollada por Álvarez y colaboradores en el año 2009 (Álvarez et al., 2009a) y adaptada con pequeñas variaciones (Álvarez et al., 2012a), basada a su vez en la determinación del largo de la serie, la información utilizable, el sesgo mensual y el sesgo horario. En estudios anteriores se definió un índice de calidad general (ICALI) dando valores entre 5 y 1 a las 5 categorías definidas para los calificadores (E, MB, B, R, M), sumando lo obtenido por cada índice individual, dividiendo entre 4 y volviendo a calificar con el mismo criterio. El completamiento de las series de tiempo pasado es fundamental para el desarrollo de este trabajo, por lo que aquí se dio más peso al índice relativo a información utilizable (IU), de manera que este multiplicará su valor por un peso de 0,4 mientras que el resto lo hará por un peso de 0,2.

La metodología para determinar las tendencias de las series en estudio es la misma desarrollada por Álvarez y colaboradores (2012a) y los estadígrafos se calculan según lo planteado por Sneyers (1990). La conclusión sobre el comportamiento de los estadígrafos y las series de marcha interanual en general se representa según el siguiente convenio:

- Serie homogénea (representado por “0”)
- Serie decreciente significativa (10% de significación) (representado por “-1”)
- Serie decreciente altamente significativa (5% de significación) (representado por “-2”)
- Serie creciente significativa (10% de significación) (representado por “+1”)
- Serie creciente altamente significativa (5% de significación) (representado por “+2”)
- Los datos no eran suficientes o muy contradictorios para arribar a una conclusión (no se asigna valor a la representación).

Para la marcha anual de la frecuencia de ocurrencia se calculó el número promedio de casos con tormenta para cada mes por estación (teniendo en cuenta todos los años del periodo de estudio), y se dividió por el número promedio de observaciones válidas correspondientes. En el caso de la

variable número de días se hallaron los valores promedios de días con tormenta para cada mes por estación.

Para el análisis de la marcha diaria (trihoraria) de la variable frecuencia de ocurrencia del fenómeno se calculó el número promedio de casos con tormenta para cada hora del día por estación (teniendo en cuenta todos los años del periodo de estudio), y se dividió por el número promedio de observaciones válidas correspondientes.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A partir de la metodología expuesta anteriormente, en la Tabla 2 se muestra el análisis de calidad de las series de tiempo pasado por estaciones. Los índices analizados fueron: ILARGO, el cual se refiere al largo de serie en años, IU que muestra la información utilizable, Sm hace referencia al sesgo mensual, Sh al sesgo horario e ICALI es el índice general de evaluación de la serie. Las calificaciones fueron dadas cualitativamente: E- Excelente, MB – Muy Bueno, B – Bueno, M – Malo.

En la tabla se aprecia que de forma general, todos los índices presentaron buenas calificaciones, con excepción del sesgo horario para la estación de Santiago de las Vegas que tuvo una evaluación de M, lo cual trajo consigo que el ICALI para esta estación no fuera excelente como el de las restantes, a pesar de esta calificación se pudo realizar el estudio de la serie.

Dado que para el cálculo del índice ICALI se le dio mayor peso al índice IU y ya que se obtienen calificaciones de Excelente y Bueno, entonces se puede afirmar que las series de estas estaciones, en el período analizado, son idóneas para llevar a análisis climáticos posteriores pues todas están aceptablemente completas.

Los índices de las series de código de estado de tiempo presente cuentan con los mismos calificadores que se apreciaron en la tabla anterior, por lo que son posibles los estudios comparativos entre ambos registros.

Tabla 2. Calificadores por índices para cada serie en estudio de código de estado de tiempo pasado por estaciones.

No.	Nombre	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI
318	Bahía Honda	E	E	E	E	E
320	Güira de Melena	E	E	MB	E	E
322	Batabanó	E	E	MB	MB	E
323	Güines	E	E	MB	E	E
325	Casablanca	E	E	E	E	E
340	Bainoa	E	E	E	E	E
373	Santiago de las Vegas	MB	B	MB	M	B
374	Tapaste	E	E	MB	E	E
375	Melena del Sur	E	E	MB	MB	E
376	Bauta	E	E	E	E	E

#### Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta.

Se conformaron las series de frecuencia de ocurrencia por año para cada estación. El comportamiento de esta variable teniendo en cuenta todas las estaciones durante el período de estudio se muestra en el Gráfico 1, donde se puede ver que en el área de estudio la diferencia por año no es marcada, aunque cada estación puede presentar sus particularidades y los valores de una compensar a los faltantes de otra.

En la tabla 3 se presenta un resumen del análisis de homogeneidad realizado para las 10 estaciones en estudio, donde se puede apreciar que las series de Casa Blanca, Bainoa y Bauta son homogéneas; la primera de estas presenta el descriptor “fluctuante”, mientras que las otras dos presentan el descriptor “diferencias por secciones”. De la estación de Güira de Melena no se pudo llegar a conclusión debido a la ausencia de observaciones con tormenta que presenta la

serie en el período 2000-2014. La serie de Batabanó presenta un carácter creciente altamente significativo con un posible punto de cambio en el año 2011, mientras que las series de Güines y Tapaste presentan ambas carácter decreciente, en esta última es altamente significativo, ambas con un posible punto de cambio en el año 2009. Para ver el análisis de los estadígrafos explicados en el epígrafe 2.5 remitirse al Anexo 2.

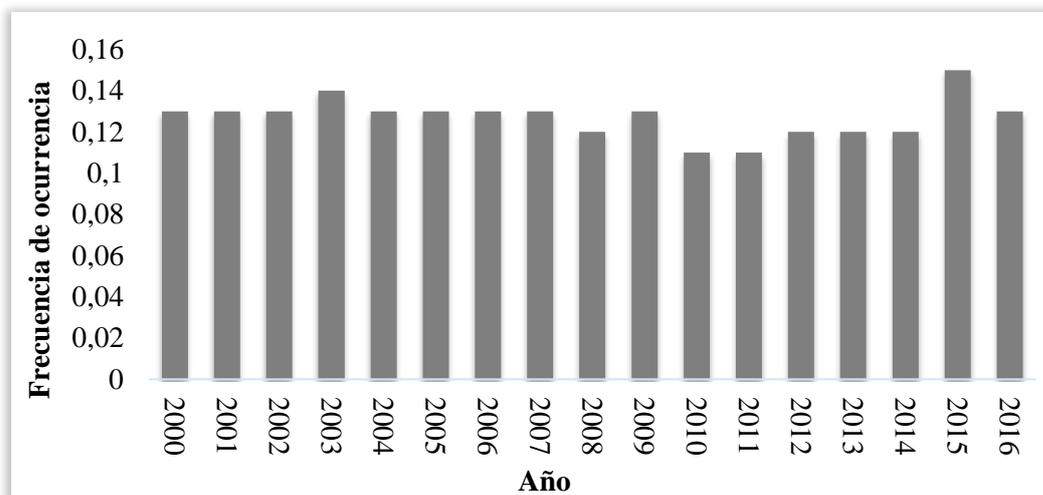


Gráfico 1. Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todas las estaciones en estudio.

Tabla 3. Resumen del análisis de homogeneidad de la serie de marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para cada estación de estudio.

No.	Nombre	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
318	Bahía Honda	Alto -bajo -medio	-	-
320	Güira de Melena	-	-	-
322	Batabanó	Abrupta pronunciada	2	2011
323	Güines	Decreciente	-1	2009
325	Casa Blanca	Fluctuante	0	-
340	Bainoa	Alto-bajo-medio	0	-
373	Santiago de las Vegas	Alto-bajo-alto	-	-
374	Tapaste	Abrupta pronunciada	-2	2009
375	Melena del Sur	Fluctuante	-	-
376	Bauta	Alto-bajo-medio	0	-

A continuación se presentarán algunos gráficos que muestran cada uno de los descriptores analizados. El Gráfico 2 ejemplifica el descriptor “abrupta pronunciada” para la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en la estación 322, donde se observa que entre los años 2000 y 2011 la serie tuvo un carácter prácticamente homogéneo y a partir de este año comenzó a comportarse de forma creciente de forma abrupta, lo cual coincide con lo arrojado por la prueba de Pettitt referido al punto de cambio.

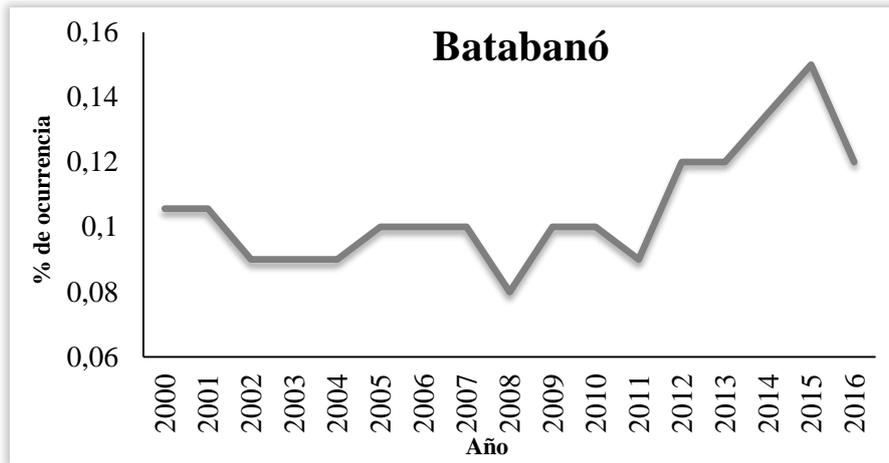


Gráfico 2. Análisis del descriptor de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en la estación 322.

El Gráfico 3 muestra el descriptor “decreciente” para la estación 323, en este caso se puede ver que la serie sufrió un cambio en su comportamiento en el año 2009, pero de forma general muestra un decrecimiento en el transcurso del periodo. El Gráfico 4 presenta el descriptor “diferencias por secciones” para la estación 373, específicamente “alto-bajo-alto”, lo cual se ve identificado por la marcada diferencia del comportamiento de la serie entre los periodos 2000-2008 y 2008-2014, y entre este último y 2014-2016. El descriptor “fluctuante” se muestra en el Gráfico 5 para la estación 375, donde todos los valores oscilan alrededor de un valor medio.

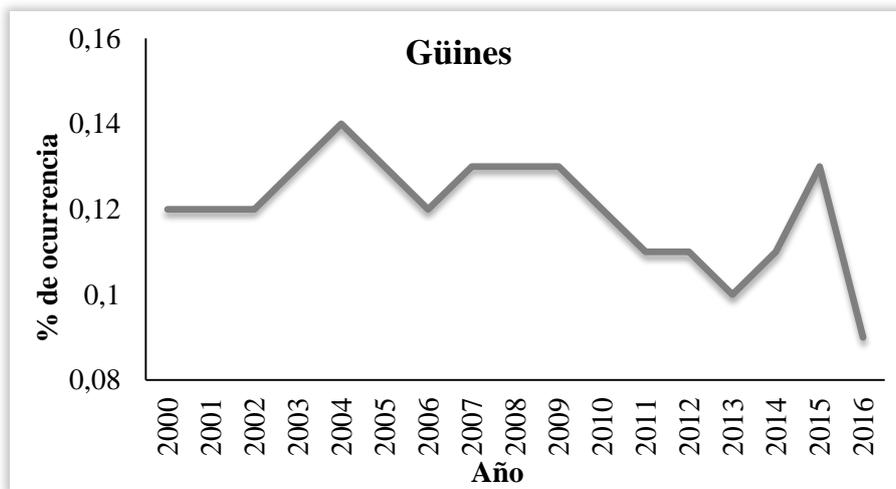


Gráfico 3. Análisis del descriptor de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en la estación 323.

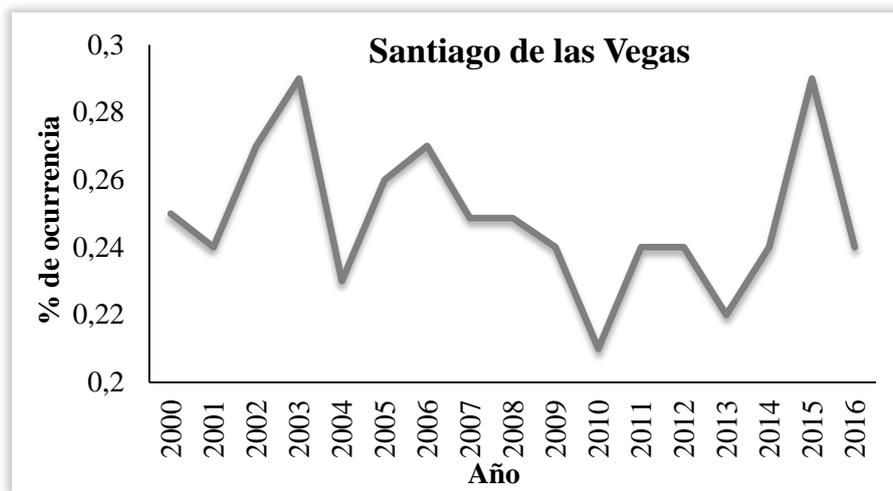


Gráfico 4. Análisis del descriptor de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en la estación 373.

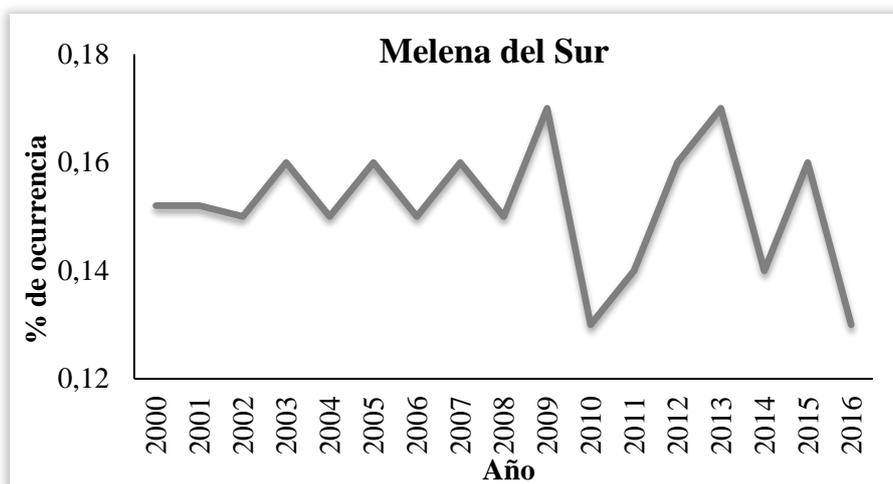


Gráfico 5. Análisis del descriptor de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en la estación 375.

### Estudio de la marcha interanual de la estación Casa Blanca (325)

Los resultados de la marcha interanual obtenidos hasta el momento pueden estar afectados por el largo de la serie, debido a que matemáticamente 17 años es un periodo aceptable para aplicar pruebas de homogeneidad, pero desde el punto de vista climático lo más adecuado es usar series aun más largas, incluso que abarquen un siglo de información.

De todas las estaciones en estudio la única que tiene series completas y largas es Casa Blanca, por lo tanto se realizó un análisis de marcha interanual por hora del día de la serie de frecuencia de observaciones con tormenta, dadas tanto por tiempo presente como por tiempo pasado, usando como periodo de estudio el comprendido entre el año de inicio de la estación, 1972 hasta 2016. Este caso de estudio arrojó que existe un crecimiento absoluto en la ocurrencia del fenómeno tormenta en la estación Casa Blanca, desde su creación hasta el presente, pues todas las series horarias (trihorarias) registradas por ambos códigos presentan carácter creciente; esto último significa además que no hay un corrimiento en los horarios de información de las observaciones de ocurrencia del fenómeno. Este aumento de las tormentas eléctricas puede estar justificado posiblemente por un aumento en la cantidad de los aerosoles los cuales constituyen núcleos de condensación o debido al ascenso de la temperatura. En la Tabla 4 se representan con casillas

grises los horarios referidos a las observaciones de tiempo pasado, mientras que las casillas sin color muestran los horarios de las observaciones de tiempo presente.

Si se tiene en cuenta solo los últimos 17 años la estación 325 se comporta como una serie homogénea, mientras que considerando todo su periodo de existencia se comporta con un carácter creciente, este último representa con más exactitud lo que ha ocurrido en Casa Blanca pues se trabajó con los datos de un periodo más largo. El descriptor predominante en las series de esta estación es “creciente en escalera” el cual describe un aumento gradual de los valores anuales de la serie. El Gráfico 6 muestra la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta dadas por tiempo presente para las 16 hora local, donde se ejemplifica el descriptor “creciente en escalera pronunciada”.

*Tabla 4. Características de la marcha interanual por hora del día de la serie de frecuencia de ocurrencia observaciones con tormenta, dadas tanto por tiempo presente como por tiempo pasado, en la estación Casa Blanca, periodo: 1972 - 2016.*

<b>Hora</b>	<b>Descriptor</b>	<b>Carácter</b>	<b>Punto de cambio</b>
1	Creciente		
2	Creciente en escalera	2	1988
3			
4	Abrupta		
5	Fluctuante		
6			
7	Fluctuante	0	
8	Abrupta	2	1981
9			
10	Creciente		
11	Abrupta		
12			
13	Creciente en escalera		
14	Creciente en escalera pronunciada	2	1991
15			
16	Creciente en escalera pronunciada	2	1990
17	Creciente en escalera pronunciada	2	1992
18			
19	Creciente en escalera pronunciada	2	1993
20	Creciente en escalera pronunciada	2	1990
21			
22	Abrupta	2	1988
23	Creciente en escalera	2	1990
24			

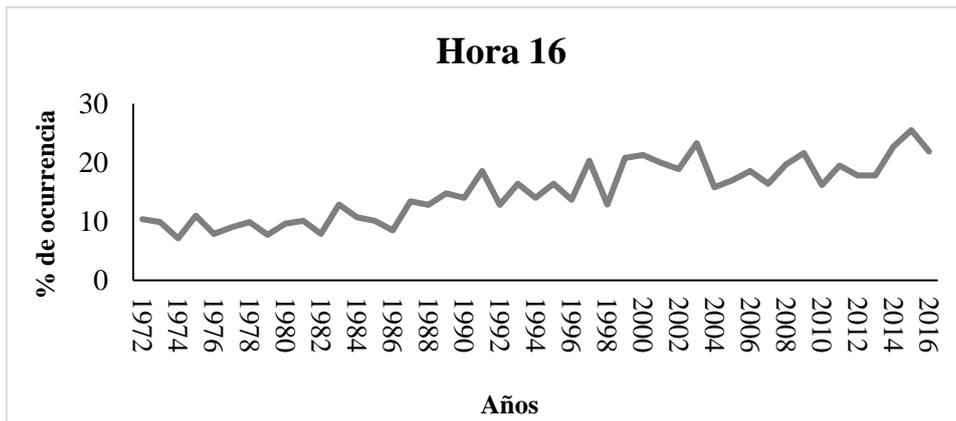


Gráfico 6. Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta dadas por tiempo presente, a las 16 hora local, para la estación de Casa Blanca, periodo: 1972 – 2016.

### Estudio de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas

Las tormentas dadas por el código de estado tiempo pasado para el conjunto de todas las estaciones en estudio representan el 11,5% del total de observaciones válidas, siendo máximas para el período lluvioso con un 20,5% y mínimas en el poco lluvioso con un 2,3%. Debe resaltarse que no hay ninguna época del año donde no ocurran tormentas.

Las tormentas son un fenómeno fundamentalmente de verano, más acentuado en los meses de julio y agosto, aunque cada estación en estudio presenta sus particularidades. En el Gráfico 7 se muestra la marcha anual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta analizando en su conjunto los registros de todas las estaciones en estudio, para el periodo 2000 - 2016. Se observa que los meses de mayo a octubre (con énfasis entre junio y septiembre) son los más favorecidos, con máximo en julio con un 26,4% de las observaciones válidas del mes, donde 7 de las 10 estaciones en estudio lo poseen y en agosto las 3 restantes; en contraste, los meses del período poco lluvioso presentan los valores mínimos, fundamentalmente enero, febrero y diciembre, siendo el valor mínimo absoluto el correspondiente al mes de enero con un 1% de las observaciones válidas.

Con el fin de analizar directamente la relación de ocurrencia entre meses, ya sea para estaciones con alta ocurrencia como con baja, se procedió a normalizar los valores de la variable en cuestión para cada una de las estaciones. Para un mejor análisis se agruparon las estaciones por provincias.

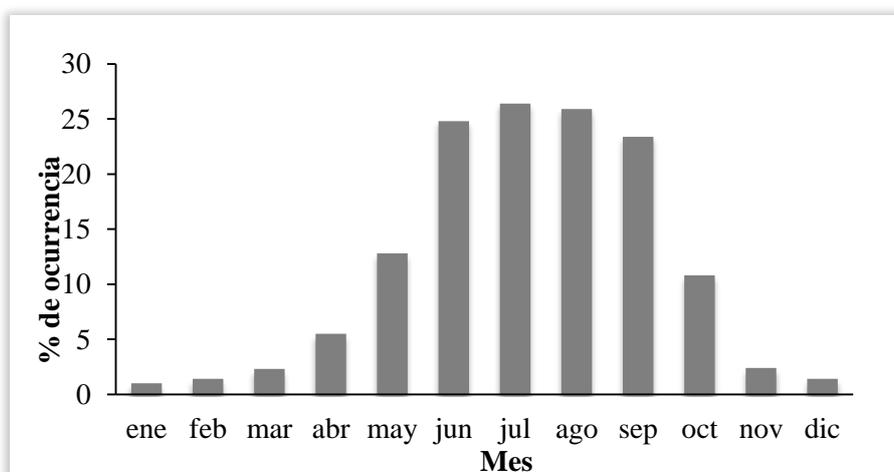


Gráfico 7. Marcha anual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, analizando todas las estaciones del área de estudio en el periodo 2000-2016.

En el Gráfico 8 se puede ver que de las estaciones de la provincia La Habana, la de Casa Blanca (325) presenta el valor máximo en el mes de julio y la de Santiago de las Vegas (373) lo presenta en agosto, mientras que los valores mínimos de ambas se encuentran en los meses de enero y febrero. Los meses de transición (mayo y octubre) se ven más favorecidos en la estación 373 con respecto a la 325.

En el caso de la provincia Artemisa, Grafico 9, se puede apreciar que el valor máximo de la estación de Bauta (376) se alcanzó en el mes de julio, mientras que las estaciones de Bahía Honda (318) y de Güira de Melena (320) presentan su máximo en el mes de agosto. Los mínimos se sitúan en los meses de enero, febrero y diciembre. La estación 320 solo cuenta con las observaciones de tormentas realizadas en enero del 2015, y desde junio del 2015 a octubre del 2016, debido posiblemente a no ocurrencia del fenómeno o a un error de los métodos de observación, como fue mencionado anteriormente.

En cuanto a la provincia Mayabeque, todas las estaciones: la de Batabanó (322), Güines (323), Bainoa (340), Tapaste (374), Melena del Sur (375), presentan su valor máximo en el mes de julio. Todas presentan sus valores mínimos en los meses de enero, febrero y diciembre.

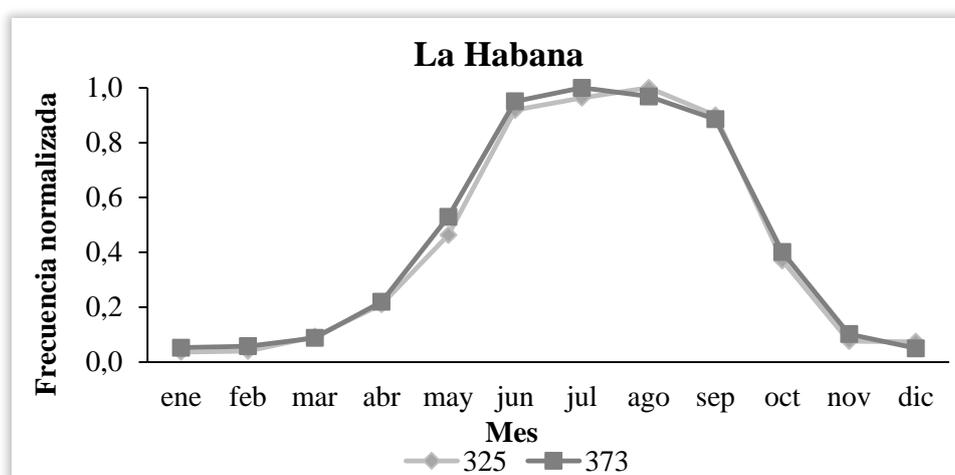


Gráfico 8. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para las estaciones de La Habana.

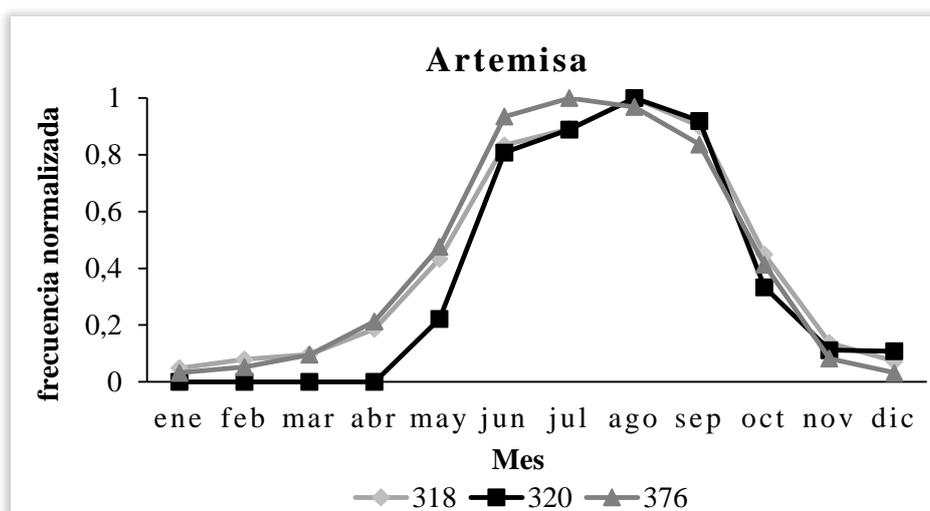


Gráfico 9. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para las estaciones de Artemisa.

Si se comparan estos resultados con los obtenidos por Álvarez, L. mediante el código de estado de tiempo presente hasta el año 2010 (Álvarez y Borrajero, 2016b), se corrobora que de igual forma el período de mayor actividad del fenómeno es el correspondientes al período lluvioso (mayo-octubre). La diferencia radica en que anteriormente los máximos se presentaban en los meses de agosto y septiembre con el máximo absoluto en agosto, mientras que ahora se detectan los valores máximos en los meses de julio y agosto con el máximo absoluto en julio. Además, una diferencia que resulta válida de resaltar es que los valores de frecuencia obtenidos en el estudio actual superan a los valores del estudio anterior, debido a que el código de tiempo pasado recoge la información de dos horas mientras que el código de tiempo pasado solo registra las mediciones de una hora.

#### **Estudio de la marcha anual del número de días con tormenta.**

En cuanto a la marcha anual de la variable “número de días con tormenta”, se obtuvo un comportamiento similar a la de la frecuencia de ocurrencia. En el Gráfico 10 se muestra que el mes de julio resulta ser el de mayor número promedio de días con influencia del fenómeno en estudio, contando con 26 días aproximadamente, seguido por el mes de agosto. Los meses de enero, febrero y diciembre presentan las menores cantidades de días con tormenta, siendo enero el mes que presenta el valor mínimo absoluto, pues cuenta aproximadamente con 1 día.

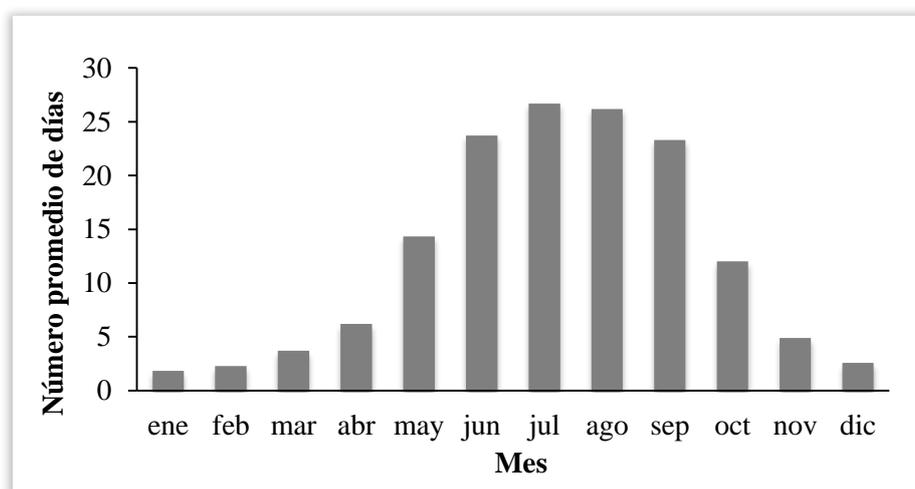


Gráfico 10. Marcha anual del número promedio anual de días con tormenta.

#### **Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas**

Las tormentas son un fenómeno fundamentalmente vespertino. En el gráfico 11 se muestra la marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para el conjunto de todas las estaciones en estudio en el periodo 2000 - 2016, donde se observa el máximo a las 19 hora local que representa cerca de un 31,4% del total de observaciones válidas correspondientes al horario en cuestión, lo que significa que entre las 16 y 18 horas se registraron los mayores valores de la variable, pues se está analizando el tiempo pasado y este recoge la información de 2 horas anteriores a la observación hecha en tiempo presente. Otros horarios que resultan favorecidos son las 01, 13, 16 y 22 hora local, es decir, entre horas de la tarde y la noche. El valor mínimo se registra a las 10, es decir, la variable en cuestión es mínima en el lapso de 7 a 9 hora local, con un 1,6% con respecto a las observaciones realizadas.

Para una mejor comprensión del comportamiento diario de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para cada una de las estaciones en estudio, se procedió a construir la Tabla 5. De la tabla se induce que la hora de mayor ocurrencia siempre fue las 19 horas para todas las estaciones, lo que significa que realmente fueron superiores en el rango de las 16 a las 18 horas. Se observa además que a las 16 horas el fenómeno tuvo una alta ocurrencia, es decir, en el rango de las 13 a las 15 horas. La estación 318 muestra un máximo temprano a las 13 horas (de

10 a 12 hora local), mientras que a las 22 (de 19 a 21 hora local) fue la estación 320 quien tuvo un alto valor de ocurrencia. Todas las estaciones presentaron altos valores en el horario de la 1, lo cual representa un gran número de tormentas tardías que tuvieron lugar entre las 22 y 24 horas.

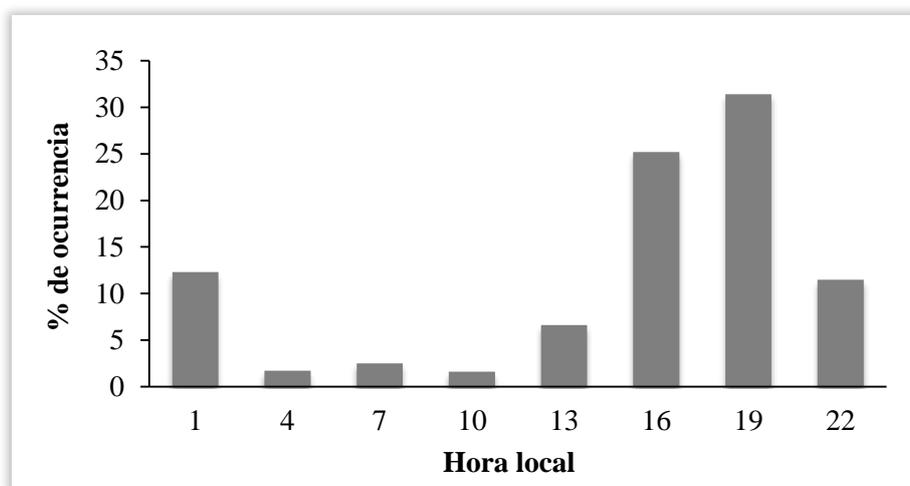


Gráfico 11. Marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, analizando todas las estaciones del área de estudio en el período 2000-2016.

Con respecto a la comparación entre estos resultados y los obtenidos por Álvarez, L. mediante el código de estado de tiempo presente hasta el año 2010 (Álvarez y Borrajero, 2016a), en ambos casos se muestra que los horarios más favorecidos por la ocurrencia del fenómeno son los de la tarde. El máximo valor determinado por el tiempo pasado (19 hora local) hace referencia al lapso de las 16 a 18 horas, lo cual coincide con el comportamiento de la variable hasta el 2010 dada por el tiempo presente, cuyo valor máximo se localiza a las 16 hora local.

Tabla 5. Análisis de la representatividad de la frecuencia de observaciones con tormenta por horas del día.

Estación	1	4	7	10	13	16	19	22
318								
320								
322								
323								
325								
340								
373								
374								
375								
376								

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las series de código de estado de tiempo pasado para las estaciones en estudio presentaron la calidad suficiente para acometer estudios climáticos. Las series de código de estado de tiempo presente también presentaron buenas calificaciones, por lo que se pudo realizar comparaciones entre ambos registros.

El estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta arrojó tres series homogéneas, una creciente altamente significativa, una decreciente significativa,

una decreciente altamente significativa y cuatro en las que no se pudo llegar a conclusión. El punto de cambio allí donde era significativo estuvo alrededor del año 2009.

La marcha anual tanto de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta como del número de días con tormenta presentan un comportamiento marcadamente estacional con máximos entre junio y septiembre, siendo julio el mes más favorecido para la mayoría de las estaciones en estudio.

La marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta muestra que las tormentas dadas por el código de estado de tiempo pasado son características de las tardes, específicamente de las 19 hora local.

Se recomienda extender el presente estudio a todas las estaciones del país.

Se recomienda hacer estudios de marcha interanual con series lo más largas posibles en aquellas estaciones donde la información lo permita, con vistas a constatar un posible aumento de la actividad de tormenta en todo el país.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Albrecht, R.I., et al. (2016). *Where are the lightning hotspots on Earth?* Bulletin of the American Meteorological Society. 97(11): p. 2051-2068.
2. Alfonso, A. P. (1986). *Aspectos climatológicos de las turbonadas en la Ciudad de la Habana*. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 12: 85 – 100.
3. Álvarez, L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle, B. Pérez, N. Fernández, M. Pérez, L. Muñiz, L. Rodríguez, M. Rodríguez, C. Iraola, O. Costales, H. Cayón, L. López (2005a). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Informe final de Resultado Científico, UDICT, Instituto de Meteorología, 92 pp.
4. Álvarez, L.; R. Álvarez.; I. Borrajero; L. Aenlle (2005b). *Distribución espacial de las tormentas eléctricas y su tendencia en la región occidental de la Isla de Cuba*. Revista Cubana de Meteorología, 12(2) 35-42.
5. Álvarez, L. (2006a). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Tesis presentada en opción del grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas, UDICT, Instituto de Meteorología, 149 pp.
6. Álvarez, L.; I. Borrajero; R. Álvarez (2006b). *Análisis de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, de tormentas con lluvia y de días con tormenta para el territorio cubano*. Revista Cubana de Meteorología, 13(1), 83 - 94.
7. Álvarez, L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle (2006c). *Relación entre probabilidad de ocurrencia de días con lluvia y tormentas eléctricas en Casablanca y Camagüey*. IAHS Red Books, Publ. 308, 300 - 305.
8. Álvarez, L.; I. Borrajero; R. Álvarez; L. Aenlle; N. Fernández; C. Iraola (2009c). *Análisis de la representatividad de los datos de código de tiempo pasado para el fenómeno niebla*. Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología. Ciudad Habana, del 30 de noviembre al 4 de diciembre del 2009. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, F:\Data\Trabajos completos.pdf, pp. 1486 – 1500.
9. Álvarez, L., et al. (2010). *Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba*. Instituto de Meteorología.
10. Álvarez-Escudero, L. y I. Borrajero (2016a). *Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente*. Ciencias de la Tierra y el Espacio. 17(2).
11. Álvarez-Escudero, L. y I. Borrajero-Montejo (2016b). *Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente*. Revista Cubana de Meteorología. 22(1): 3 p.
12. Álvarez, L. y I. Borrajero (2016c). *Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente*. Instituto de Meteorología.

13. Álvarez, R. (1983). *Turbonadas en Cuba respecto a su localización geográfica por las precipitaciones*. *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, 7: 111 – 115.
14. Christian, H. J., R. J. Blakeslee, D. J. Boccippio, W. L. Boeck, D. E. Buechler, K. T. Driscoll, S. J. Goodman, J. M. Hall, W. J. Koshak, D. A. Mach, M. F. Stewart (2003). *Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector*. *J. Geophys. Res.*, 108(D1), 4005, doi:10.1029/2002JD002347.
15. Dai, A. (2001a). *Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations*. *Journal of Climate*, 14(6): 1092–1111.
16. Dai A. (2001b). *Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations*. *Journal of Climate*, 14(6): 1112–1128.
17. Lecha, L. B.; L. R. Paz, B. Lapinel, [editores] (1994). *El Clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
18. OMM (Organización Meteorológica Mundial) (1956). *World distribution thunderstorm days*. WMO No. 21, TP 21, 71 pp.
19. Orville, R. E., G. R. Huffines, W. R. Burrows, R. L. Holle, K. L. Cummins (2002). *The North American Lightning Detection Network (NALDN)—First Results: 1998–2000*. *Monthly Weather Review*, 130: 2098 – 2109.
20. Pessi, A. T., S. Businger (2009). *Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean*. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48, 833–848.
21. Sneyers, R. (1990): *On the statistical analysis of series of observations*. Technical Note No. 143, WMO No. 415, 192 pp.
22. Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations*. 192 p.
23. Virts, K.S., et al. (2013). *Highlights of a new ground-based, hourly global lightning climatology*. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 94(9): p. 1381-1391.
24. WMO (1988). *Manual on codes*. WMO – No. 306, Volume 1, Seccion D.