

# Caracterización de la marcha diaria de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado



<https://eqrcode.co/a/JqO6FY>

## Characterization of thunderstorms daily course with present and past weather records

 Lourdes Álvarez-Escudero<sup>1\*</sup>, Israel Borrajero Montejo<sup>1</sup>, Yanneyis Rojas Díaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba

<sup>2</sup>Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo

**RESUMEN:** El objetivo del presente trabajo es caracterizar la marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todas las estaciones meteorológicas de Cuba a partir de los registros de código de estado de tiempo presente y pasado. La base de información para el estudio la constituyen los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para 68 estaciones meteorológicas del territorio cubano, en el periodo 2005 - 2016 y las diferencias entre las marchas de cada estación se establecerán mediante técnicas de análisis de cluster. Las tormentas eléctricas son un fenómeno con máximo de ocurrencia entre las 16 y las 19 hora local donde la mayoría de las estaciones presentan un máximo absoluto. Las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta por estaciones pueden aunarse en tres grupos, el que se caracteriza porque sus por cientos de ocurrencia en los horarios de baja incidencia son altos con respecto a los otros dos grupos, el que presenta como máximo absoluto las 16 hora local y el que lo tiene a las 19 hora local.

**Palabras clave:** marcha diaria, tormentas eléctricas, tiempo presente, tiempo pasado.

**ABSTRACT:** The objective of the present work is to describe the daily cycle of the frequency of occurrence of thunderstorm observations for Cuban meteorological stations, based on present and past weather codes reports. The information basis for the study is the current and past weather codes registry from 68 weather stations over the National Territory for the period between 2005 and 2016. The differences between the cycles of each station are determined by cluster analysis. Thunderstorms are a phenomenon with maximum probability of occurrence between 16 and 19 hours local time, where most stations show their absolute maximum values. According to daily cycles of frequency of occurrence of storms observations stations form three groups, one shows higher frequencies on the hours of usually lower values, other with its maximum value at 16 hours and a third with maximum at 18 hours

**Key words:** daily cycle, thunderstorms, present weather, past weather.

### INTRODUCCIÓN

Debido a la incidencia que el fenómeno “tormenta eléctrica” tiene sobre la vida de las personas y sobre diferentes sectores de la economía, los estudios que caracterizan su marcha diaria presentan especial interés. Para planificar actividades al aire libre o conectar sistemas de protección se precisa un conocimiento sobre qué hora u horas del día son aquellas en que las tormentas son más frecuentes.

La marcha diaria de las tormentas ha sido estudiada a partir de registros de estaciones de superficie (OMM, 1956; Changnon, 1988; Dai, 2001a; 2001b) y en la actualidad se existen trabajos realizados con información de dispositivos detectores de tormentas y con datos de satélites (Orville *et al.*, 2002; Virts *et al.*, 2013; Cecil *et al.*, 2014; Albrecht *et al.*, 2016). Todos los estudios coinciden que la mayor ocurrencia se concentra en horas de la tarde.

En Cuba se realizaron varios estudios de marcha diaria para diferentes localidades del país (Alfonso, 1980; Alfonso

y Florido, 1993) aunque el antecedente más abarcador es el realizado por Lecha y colaboradores (1994), donde se analizan la hora de comienzo y final de las tormentas en estaciones específicas y su relación con la precipitación y se realizan estudios más regionales sobre duración de las tormentas. En 2006, Álvarez (Álvarez, 2006) realizó un estudio de la marcha diaria encontrando que en la mayoría de las estaciones en estudio la hora de mayor frecuencia de ocurrencia de las tormentas es las 16 hora local, aunque algunas estaciones presentaban máximos más tempranos o tardíos y que entre el 60 y el 95% del total de las observaciones del fenómeno ocurren en horarios diurnos (07 a 19 hora local). Posteriormente Álvarez y colaboradores (2013) encontró en nuevos estudios que para todas las estaciones del país el 84 % de las observaciones con tormenta ocurren entre las 13 y las 19 hora local y que la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el 82% de las estaciones ocurrió a las 16 hora local, el 10% a las 19 y el 8% restante a las 13.

\*Autor para correspondencia: [lourdesalvarez@yahoo.com](mailto:lourdesalvarez@yahoo.com)

Recibido: 11/10/2019

Aceptado: 12/02/2020

Por último [Álvarez-Escudero y Borrajero \(2016\)](#) realizaron un estudio de la marcha diaria de fenómenos para el periodo 2005 - 2010 que era el único periodo con información suficiente y sin sesgos para analizar el ciclo diurno y encontraron, al igual que en estudios anteriores, que las tormentas presentaban una ocurrencia marcadamente vespertina con máximo a las 16 hora local en la mayoría de las estaciones en estudio.

[García-Santos y Álvarez-Escudero \(2018\)](#) en un trabajo realizado para las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque, con la serie 2000 - 2016 y utilizando el tiempo pasado, encontraron que la marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta reflejaba que las tormentas son características de las tardes, específicamente de las 19 hora local.

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar la marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todas las estaciones meteorológicas de Cuba a partir de los registros de código de estado de tiempo presente y pasado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La base de información para el estudio lo constituyen los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para 68 estaciones meteorológicas del territorio cubano, en el periodo 2005 - 2016 (12 años) que se encontró, es el periodo con información más completa para ambos códigos, donde no hay sesgos ni mensuales ni horarios y las series son más actuales ([Álvarez - Escudero et al., 2019](#) [en prensa]). Los datos fueron tomados de la Base de Datos “Nueva\_THOR” ([Álvarez et al. 2012](#)) a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2011 - 2016, obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología (INSMET), a los que se le realizaron las debidas validaciones para lograr la uniformidad de la información. La distribución espacial de las estaciones meteorológicas se refleja en la [figura 1](#).

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del tiempo presente según la Tabla 4678, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves ([OMM, 2011](#)) se seleccionaron los siguientes códigos: 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refieren a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o con anterioridad, mientras que 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 ([OMM, 2011](#)), donde solo se tendrá en cuenta el código “9”, aunque este no brinda mayores especificidades.

Las variable de trabajo fue el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta obtenido al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas o realizadas y expresarlo en por ciento.

Para el análisis de la marcha diaria de las tormentas por estaciones se realizaron los siguientes pasos:

- Se calculó el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas por horas del día a partir de los registros de tiempo presente y pasado identificados como de tormenta, divididos por el número de casos válidos correspondientes y expresado en por ciento. Esto se realizó con toda la información del periodo 2005 - 2016. Para evaluar el aporte del tiempo pasado se realizó el análisis de dos formas, primero asociando los por cientos a las horas de observación trihorarias establecidas y segundo poniendo en horas distintas el aporte del tiempo presente y el tiempo pasado, donde este último se asociaba a las 02, 05, 08, 11, 14, 17, 20 y 23 hora local.
- Como la mayor diferencia entre los valores por horas y estaciones está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno, se calculó por horas y para cada estación el por ciento de ocurrencia normalizada, lo que permitió analizar la marcha más por su forma que por la ocurrencia o no del fenómeno.



Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio.

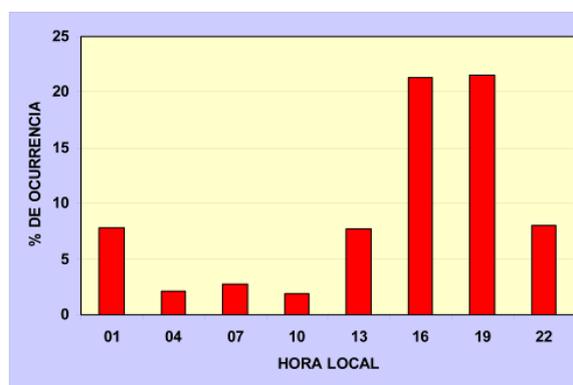
- c. A partir del por ciento de ocurrencia o número de días por meses para cada una de las 68 estaciones en estudio, se realizó un análisis de cluster jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma que considera a las estaciones como variables y a los horarios como individuos. Aquí se utilizaron distancias euclidianas y método de enlace simple para identificar agrupamientos por horas del día en el comportamiento de la marcha diaria. Posteriormente se realizó otro análisis de cluster tomando los valores horarios como variables y las estaciones como individuos y también se usaron distancias euclidianas, pero como método de enlace el método de enlace de varianza mínima o método de Ward, (en cada paso de enlace se exige la unión de grupos que minimicen la suma de las varianzas sobre todos los grupos) que es un método muy robusto para encontrar asociaciones entre grupos, lo que permitió una mayor definición de las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogió tal que la distancia entre elementos de un mismo grupo sea menor que la distancia entre grupos o clusters.
- d. Se graficaron las marchas diarias promedio por cada grupo para establecer sus diferencias.
- e. A partir de los grupos de estaciones obtenidos se buscó alguna regionalización de los comportamientos horarios mediante su representación en un mapa.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

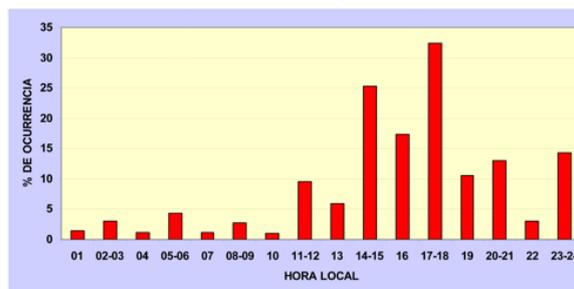
La marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio se muestra en la [figura 2](#). Aquí se observa como con la incorporación de lo aportado por el código de tiempo pasado el horario con mayor ocurrencia pasa a ser las 19 hora local, aunque la diferencia es con las 16 es sólo del 0.2 %. Los por cientos de ocurrencia máximos están por encima de 21 y el mínimo es de 18 % a las 10 hora local. Esto es un poco diferente a lo planteado por [Álvarez \(2006\)](#), [Álvarez y colaboradores \(2013\)](#) y [Álvarez-Escudero y Borrajero \(2016\)](#) donde el máximo se alcanzaba de forma absoluta a las 16 hora local con alrededor de un 18 %, lo que muestra la influencia del tiempo pasado en la caracterización de las tormentas. Otra diferencia que también está relacionada con el uso del tiempo pasado, es el crecimiento de hasta un 8 % en el horario de las 01 del por ciento de observaciones con tormenta promedio, cuando en los estudios anteriormente mencionados no se alcanzaba el 2 %.

Para evaluar el aporte que hace el tiempo pasado se representan en la [figura 3](#) los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones, pero asociando los valores al periodo real de observación y no al horario del reporte, así por

ejemplo, el tiempo pasado reportado en el horario de las 04 hora local se representa como “02-03”. Aquí se observa como el cambio en los máximos dados por los estudios basados en tiempo presente se debe al aporte de observaciones con tormentas dado por tiempo pasado en el horario de las “17 - 18” donde es máximo absoluto el número de reportes y que se contabilizan por el horario de las 19. También se observa que el incremento a las 01 hora local se debe a los reportes de tiempo pasado dado a finales de la noche (“23 - 24”). La superioridad de reportes de tiempo pasado se justifica en que el periodo de observación es el doble (2 horas) que el que se tiene en cuenta para reportar por tiempo presente, aunque este último tiene códigos que permiten cualificar mejor la tormenta, dando características de ocurrencia de lluvias asociadas y severidad.



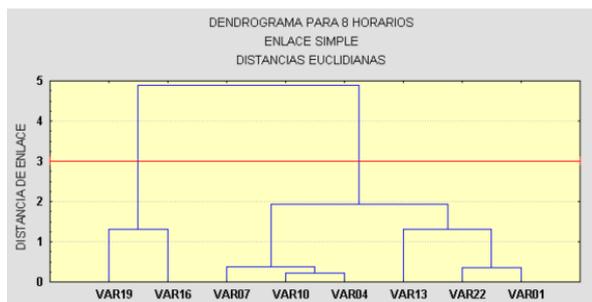
**Figura 2.** Marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2016.



**Figura 3.** Marcha diaria de los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones, asociando los valores al periodo real de observación para el periodo 2005 - 2016.

Si se realiza un análisis de cluster a partir de los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables las estaciones en estudio y como individuos los horarios de observación se obtiene un dendrograma como el que se observa en la [figura 4](#). Para la distancia de enlace fijada en 3, se observan dos grupos uno que une a los dos horarios de mayor ocurrencia (16 y 19 hora local) y otro grupo con los demás horarios, pero si

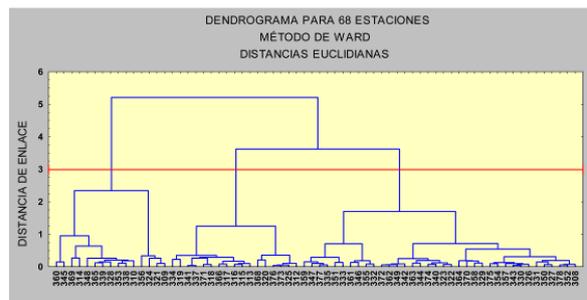
se bajara la distancia de enlace, este último grupo se dividiría en los horarios de ocurrencia intermedia (01, 13 y 22 hora local) y los de baja ocurrencia (04, 07 y 10 hora local) con lo que se resalta el carácter diurno de las tormentas y más aún su carácter vespertino.



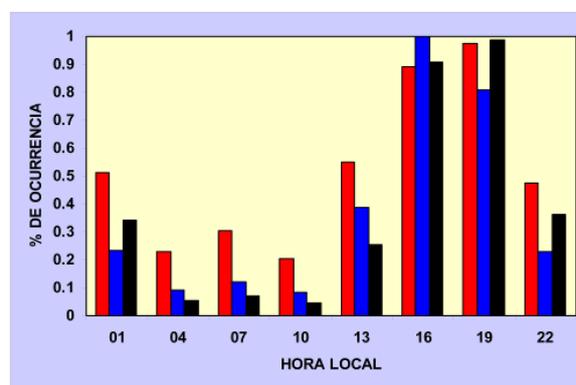
**Figura 4.** Dendrograma para los cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables las estaciones en estudio y como individuos los horarios de observación.

Si se realiza un nuevo análisis de cluster de los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables los horarios de observación y como individuos las estaciones en estudio se logra un dendrograma como el que se muestra en la figura 5. Para una distancia de enlace de 3, se observan 3 grupos bien diferenciados y en la figura 6 se muestra la marcha diaria promedio para todas las estaciones que integran cada grupo. El identificado como Grupo I se caracteriza porque sus por cientos de ocurrencia en los horarios de baja incidencia del fenómeno son altos con respecto a los otros dos grupos. El grupo II es el que presenta como máximo absoluto las 16 hora local y el Grupo III es el que se caracteriza por tener un máximo absoluto a las 19 hora local. Si se representa espacialmente las estaciones que integran cada grupo se tiene lo que refleja la figura 7. Aquí el Grupo I lo integran estaciones fundamentalmente costeras y las tres estaciones del Municipio Especial Isla de la Juventud, que tienen desde horas tempranas como las 13 hora local valores de por ciento por encima de 10 para ese horario. Este comportamiento también se constata en lo estudiado por Álvarez y colaboradores (2013) y Álvarez-Escudero y Borrajero (2016) donde el horario de máxima está más definido para las 13 hora local, debido a que el conteo de tormentas solo se identificaba por el tiempo presente.

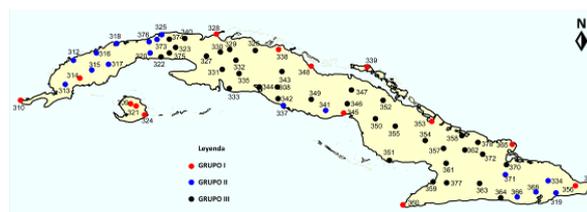
Al Grupo II lo integran la mayoría de las estaciones de Pinar del Río, La Habana y Artemisa y algunas del extremo oriental de la Isla y al Grupo III con su máximo a las 19 hora local lo que sugiere un aporte mayor del tiempo pasado a la contabilidad de las tormentas, lo componen estaciones generalmente más al interior de la Isla.



**Figura 5.** Dendrograma los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables los horarios de observación y como individuos las estaciones en estudio



**Figura 6.** Marcha diaria promedio para las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 5.



**Figura 7.** Representación espacial de las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 5.

Los estudios anteriores realizados por Álvarez (2006), Álvarez y colaboradores (2013) y Álvarez-Escudero y Borrajero (2016) también mostraban 3 grupos fundamentales: donde las estaciones presentaban máxima ocurrencia a las 16 hora local, los que la tenían más temprano a las 13 y los de máximo tardío a las 19. Las estaciones que integran cada uno de estos grupos presentan en general semejanza con los del actual estudio, pero el aporte de los registros de tiempo pasado marca una diferencia importante. Lo investigado por García-Santos y Álvarez-Escudero (2018) para las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque, usando registros de tiempo presente y pasado para caracterizar a las tormentas y teniendo como periodo de estudio 2000 - 2016, si muestra semejanza con el presente estudio con máximo de ocurrencia a

las 19 hora local para todas las estaciones, pero con por cientos altos para las 16 y significativamente altos para las 01 hora local. Las diferencias constatadas sugieren que los registros de tiempo pasado introducen cambios en la marcha diaria por lo que se recomienda utilizar los estudios más recientes para actualizar los resultados sobre el comportamiento por horas del día de la ocurrencia de tormentas eléctricas.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Contabilizar las tormentas teniendo en cuenta los registros de código de estado de tiempo presente y pasado cambia en varios aspectos el comportamiento de la marcha diaria de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para las estaciones cubanas, con respecto a estudios anteriores.

Las tormentas eléctricas son un fenómeno con máximo de ocurrencia entre las 16 y las 19 hora local donde la mayoría de las estaciones presentan un máximo absoluto.

El horario de las 01 hora local se ve incrementado en cantidad de observaciones con tormenta debido a los registros de código de estado de tiempo pasado reportado a esa hora pero que ocurren al final de la noche.

Las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta por estaciones pueden aunarse en tres grupos, el que se caracteriza porque sus por cientos de ocurrencia en los horarios de baja incidencia son altos con respecto a los otros dos grupos, el que presenta como máximo absoluto las 16 hora local y el que lo tiene a las 19 hora local.

La distribución espacial de las estaciones según los grupos que representan su marcha diaria, queda con uno que lo integran estaciones fundamentalmente costeras y las tres estaciones del Municipio Especial Isla de la Juventud, otro que lo integran la mayoría de las estaciones de Pinar del Río, La Habana y Artemisa y algunas del extremo oriental de Cuba y el último que lo componen estaciones generalmente más al interior de la Isla.

## REFERENCIAS

- Albrecht, R.; Goodman, S.; Buechler, D. Blakeslee, R. & Christian, H. 2016 "Where are the lightning hotspots on Earth?". BAMS, 97(11):2051-2068, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00193.1
- Alfonso A. P. 1980. "Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud". Informe Científico - Técnico No. 134, Instituto de Meteorología, 25 p., Available: UDICT Instituto de Meteorología <[www.insmet.cu](http://www.insmet.cu)>.
- Alfonso, A. P. & Florido, A. 1993. El clima de Matanzas. Editorial Academia, La Habana, 113 p.
- Álvarez, L. 2006. 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, Instituto de Meteorología, 149 p. Available: UDICT Instituto de Meteorología <[www.insmet.cu](http://www.insmet.cu)>.

- Álvarez, L., Borrajero, I., Álvarez, R., Rivero, I., Carnesoltas, M., Rojas Y. 2013. "Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta". Ciencias de la Tierra y el Espacio, 14(1): 5- 13, ISSN 1729-3790.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero, I. 2016. "Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente". Cienc. Tierra y Esp., 17(2): 145-159, ISSN 1729-3790, <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye17no2-art3.html>.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L. & Bárcenas, M. 2012. "Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba". Revista Cubana de Meteorología, 18(1): 83-99, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I.; García-Santos, Y.; Roura, P.; Rodríguez, Y. 2019. "Aporte de la información de tiempo pasado a la contabilidad de tormentas en Cuba". Revista Cubana de Meteorología, 26(3), <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/525/924>, ISSN: 2664-0880.
- Cecil, D. J.; Buechler, D. E. & Blakeslee, R. J. 2014. "Gridded lightning climatology from TRMM - LIS and OTD: Dataset description". Atmospheric Research, 135 - 136: 404-414, DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
- Changnon, S. A. 1988. "Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part I: Temporal Aspects". Journal of Climate, 1(4): 389-398.
- Dai, A. 2001a. "Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations". Journal of Climate, 14(6): 1092-1111.
- Dai, A. 2001b. "Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations". Journal of Climate, 14(6): 1112-1128.
- García-Santos, Y. & Álvarez-Escudero, L., 2018. "Climatología de las tormentas eléctricas determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado". Revista Cubana de Meteorología, 24(2): 201-215, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426>.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. E. (eds.). 1994. El Clima de Cuba. La Habana: Editorial Academia, 186 p, ISBN 959-02-0006-0.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1956. World distribution thunderstorm days. WMO No. 21, TP 21, 71 pp.

- OMM 2011. Manual de Claves. Claves Internacionales. Volumen I.1, Parte A, Claves Alfanuméricas, OMM No. 306, Tabla 4678
- Orville, R. E.; Huffines, G. R.; Burrows, W. R.; Holle, R. L. & Cummins K. L. 2002. "The North American Lightning Detection Network (NALDN)-First Results: 1998-2000". Monthly Weather Review, 130: 2098- 2109.
- Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. & Holzworth, R. H. 2013. "Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology". BAMS, 15: 1381 -1391, DOI:10.1175/BAMS-D-12-00082.1.

*Lourdes Álvarez-Escudero.* Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba. E-mail: [lourdesalvarez@yahoo.com](mailto:lourdesalvarez@yahoo.com)

*Israel Borrajero Montejo.* Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba. E-mail: [israelbm@yahoo.com](mailto:israelbm@yahoo.com)

*Yanneyis Rojas Díaz.* Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo

**Conflictos de intereses:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

**Contribución de los autores:** Concepción de idea: **Lourdes Álvarez Escudero; Israel Borrajero Montejo.** Obtención de datos y elaboración de artículos: **Lourdes Álvarez Escudero; Israel Borrajero Montejo; Yanneyis Rojas Díaz.** Revisión crítica: **Israel Borrajero Montejo.**

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/)