

Actualización del mapa de niveles ceráunicos de Cuba

An update of the keraunic levels map of Cuba

Lourdes Álvarez-Escudero ^{1*}, Israel Borrajero-Montejo ^{1**}



¹Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

<http://opn.to/a/P1jOs>

RESUMEN: Los mapas de niveles ceráunicos de Cuba hasta el cierre del periodo en el año 2010 fueron realizados teniendo en cuenta solo la información que aportan las observaciones de código de estado de tiempo presente, debido a los faltantes de información y los sesgos que en el cálculo de los parámetros esto puede ocasionar. El objetivo del presente trabajo es caracterizar la distribución espacial de variables asociadas a tormentas para el territorio cubano, contabilizando el fenómeno a partir de los registros de código de estado de tiempo presente y pasado. La inclusión de los registros de código de tiempo pasado ha provocado un crecimiento del 4% para la ocurrencia de observaciones con tormenta, de 40 días para el nivel ceráunico y 7 para la desviación estándar. La distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta presenta máximos al sur de Pinar del Río, centro sur de Ciego de Ávila, sur de Camagüey y zonas montañosas de las provincias orientales del país.

Palabras clave: tormentas eléctricas, tiempo presente, tiempo pasado, nivel ceráunico.

ABSTRACT: Until the period ending in 2010, keraunic levels maps in Cuba were made taking into account only information from present weather code reports, due to the lack of information regarding past weather codes and the bias this could cause in the calculus of parameters. The aim of this work is to characterize the spatial distribution of thunderstorm related variables over the Cuban Territory based on the present and past weather codes reports. The inclusion of past weather reports has caused an increase of 4% on the frequency of observations of storms and 40 days on the keraunic level, with 7 days on the standard deviation. The spatial distribution of the annual number of days with thunderstorms shows maximum values South of Pinar del Río, South central Ciego de Ávila South of Camagüey and at mountain zones of the Easter provinces of the Country.

Key words: thunderstorms, present weather, past weather, keraunic level.

INTRODUCCIÓN

En Cuba la fulguración constituye la primera causa de muerte por fenómeno natural y en varias zonas del país pueden producirse hasta 150 días con tormenta al año como promedio. La realización de mapas de distribución espacial de tormentas es materia de amplio estudio a nivel mundial, por la necesidad de elaborar a partir de esta información, sistemas de protección contra descargas eléctricas y las diferencias entre estas distribuciones están fundamentalmente en la información base que se usa para caracterizar el fenómeno. En los primeros tiempos se usaban los registros dados por las

estaciones meteorológicas ([OMM, 1956](#); [Changnon, 1988](#); [Dai, 2001a](#); [2001b](#)), pero con la creación y desarrollo de nuevas tecnologías se imponen las climatologías realizadas con la 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](#)). En Cuba, sin embargo no se cuenta con este tipo de información, por lo que sus mapas de ocurrencia de tormentas se realizan a partir de los códigos de estado de tiempo presente y pasado reportados desde las estaciones meteorológicas de superficie.

*Autor para correspondencia: *Lourdes Álvarez-Escudero*. E-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

**Autor para correspondencia: *Israel Borrajero-Montejo*. E-mail: israel.borrajero@insmet.cu

Recibido: 08/01/2020

Aceptado: 13/01/2020

Aunque existen estudios para regiones específicas como los realizados por [Alfonso \(1980\)](#) para la Isla de la Juventud y el de [Alfonso y Florido \(1993\)](#) para Matanzas, el estudio más abarcador sobre aspectos climáticos de fenómenos y variables meteorológicas lo constituye el presentado por [Lecha et al. \(1994\)](#), donde se describe el comportamiento de diferentes fenómenos con énfasis en las tormentas eléctricas, donde se identificaron máximos de ocurrencia en zonas montañosas e interiores llanas, con un máximo absoluto en la estación de Pinares de Mayarí con más de 140 días y mínimos de actividad en las regiones costeras con valores inferiores a 40 días con tormentas.

La primera distribución espacial de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta, se realizó utilizando 25 años como promedio de registros de código de estado de tiempo presente reportado por las 68 estaciones meteorológicas activas en ese momento en el país ([Álvarez, 2006](#); [Álvarez et al., 2009](#)). Allí se obtuvieron distribuciones semejantes a las obtenidas por [Lecha y colaboradores \(1994\)](#), pero se destacaba una zona de máxima actividad en la llanura Habana - Matanzas con 130 días promedio anual y como salida del estudio se tenía una rejilla con resolución de 4 kms, de valores interpolados de las variables asociadas a tormentas, sobre el territorio nacional. Después de estos trabajos primarios se han realizado dos actualizaciones del mapa de niveles cerámicos ([Álvarez et al., 2012](#); [Álvarez-Escudero y Borrajero Montejo, 2018](#)) cambiando el periodo base y los métodos de interpolación para construir una rejilla regular de puntos de alta resolución a partir de los valores promedios en las estaciones. Todos estos trabajos se realizaron teniendo en cuenta el código de tiempo presente debido a que los registros estaban incompletos, muchas estaciones no hacían observaciones de noche y madrugada (01, 04 y 22 hora local) lo que producía 4 observaciones menos del estado de tiempo pasado al día, además de existir otros faltantes de información que podían introducir sesgo en los resultados ([Álvarez-Escudero et al., 2014](#)). Al

asumir periodos más hacia el actual, se pudo llegar a un compromiso entre la información faltante y el uso del estado del tiempo pasado para caracterizar las tormentas; así [García-Santos y Álvarez Escudero \(2018\)](#), lograron trabajando con las series de las estaciones correspondientes a las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque llegar a la conclusión de que las tormentas contabilizadas a partir del código de estado de tiempo pasado, aportaban una información significativa tanto al cálculo de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta con un aumento del 3%, como al número promedio anual de días con tormentas con un aumento de 25 días para el área de estudio y que los valores de ocurrencia crecían de las costas hacia tierra adentro; se recomendó entonces extender el estudio a todo el país.

[Álvarez-Escudero y colaboradores \(2019\)](#) [en prensa] demostraron que el periodo 2005 - 2016 (12 años) contiene alrededor del 99% de la información posible tanto para el código de tiempo presente, como para el pasado, no hay sesgos ni mensuales ni horarios y las series son más actuales, por lo que recomendaron su uso para estudios de marcha anual y diaria y distribución espacial de las tormentas.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar la distribución espacial de variables asociadas a tormentas, como el por ciento de ocurrencia de observaciones y el número promedio anual de días, para el territorio cubano, teniendo como periodo base 2005 - 2016 y contabilizando las tormentas 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 INSMET. A estos registros agregados se le realizaron las debidas validaciones para lograr la uniformidad en 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, 1988) se seleccionaron los siguientes códigos: 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 que se refieren a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o una hora antes, 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, 1988), donde solo se tendrá en cuenta el código “9”, aunque este no brinda mayores especificidades.

Las variables para trabajar fueron:

- Por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas: 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.
- 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.

- Desviación estándar del número promedio anual de días con tormenta.

La distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta y su desviación estándar, se representaron como mapas de isolíneas, siguiendo el método de interpolación dado por [Álvarez y colaboradores \(2012\)](#), con los cambios y adaptaciones sugeridos por [Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo \(2018\)](#), manteniendo como las bases de los campos de referencia el relieve del terreno y la distancia a la costa con una resolución de 30 segundos de grado (0.92 km) y usando los datos de la base GEBCO ([GEBCO, 2003](#)).

A partir de los valores de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas y número promedio anual de días con tormentas en las estaciones se obtuvieron los mapas de estas dos variables en una rejilla que abarca todo el territorio cubano (entre 19.8 y 23.2^o de latitud norte y 74.1 y 84.9 de longitud oeste) y un mapa de desviación estándar con respecto a la media para la misma rejilla. Las representaciones se realizaron para una carta base a escala de 1:250000 que abarca todo el Territorio Nacional y que se redujo según el formato de impresión.



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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta se muestra en la [figura 2](#). El mapa guarda parecido con el obtenido por [Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo \(2018\)](#), aunque hay diferencias visibles. Los valores de por ciento crecieron desde un 9 hasta un 14 % debido al aporte de los registros de tiempo pasado. En general se observan zonas de máximo al sur de Pinar del Río con énfasis en la zona de la estación de San Juan y Martínez, al centro de Matanzas y Mayabeque con un marcado crecimiento de las costas hacia el interior, el centro y sur de la provincia Ciego de Ávila, que se extiende al sur de Camagüey y en zonas montañosas de las provincias Granma, Santiago de Cuba, Guantánamo y Holguín. La Isla de la Juventud muestra un decrecimiento del noroeste hacia el sureste con mínimo en la estación de Punta del Este (324). La principal diferencia con la versión anterior está en el crecimiento de la ocurrencia al norte de las provincias Ciego de Ávila, Camagüey y oeste de Holguín, lo que hace que se cree un mínimo marcado de menos del 8% del total de observaciones al centro de la provincia de Camagüey.

Por estaciones los valores más altos se registran en San Juan y Martínez (314) con 14.5 %, Veguita (377) con 14.4 %, Gran Piedra (366) con 13.6 % y que fue el máximo de la anterior versión del mapa ([Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo, 2018](#)) y Pinares de Mayarí (371) con 13.1 %. Los mínimos

se localizan en Punta de Maisí (369) con solo 5.8 % y en Sancti Spiritus (349) con 5.9 %. Para todas las estaciones el promedio es de 9.3 %, superior al obtenido si solo se tienen en cuenta los registros de tiempo presente que es de 5.21 %. Este máximo para la estación de San Juan y Martínez (314) se corresponde con lo reflejado por la climatología realizada a partir de los dispositivos satelitales LIS y OTD ([Albrecht et al., 2016](#)), que dan como sitio de máxima ocurrencia en Cuba y lugar 33 en el planeta, a un punto próximo al poblado de San Luis muy cercano a la mencionada estación.

La interpolación realizada por el método dado en [Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo \(2018\)](#) mostró un error promedio para todas las estaciones de 0.01 % con un máximo para la estación de Gran Piedra (366) de 0.52 %.

El número de días promedio anual (nivel cerámico) medio para todas las estaciones es de 141 días, con máximo de 192 días para la estación de Pinares de Mayarí (371) y San Juan y Martínez (314) con 189. Los mínimos están en Cayo Coco (339) con solo 99 días, seguidos de Punta de Maisí (369) con 104 días. Con respecto a la versión anterior ([Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo, 2018](#)) el número de días se eleva como promedio de 160 a 190 días máximo y la inclusión del tiempo pasado trae un aumento de 40 días con respecto a utilizar solo la información de tiempo presente.

La distribución espacial ([figura 3](#)) muestra al igual que el por ciento de ocurrencia, máximos al sur de Pinar del Río, centro sur de Ciego de Ávila y sur de Camagüey y zonas montañosas de las

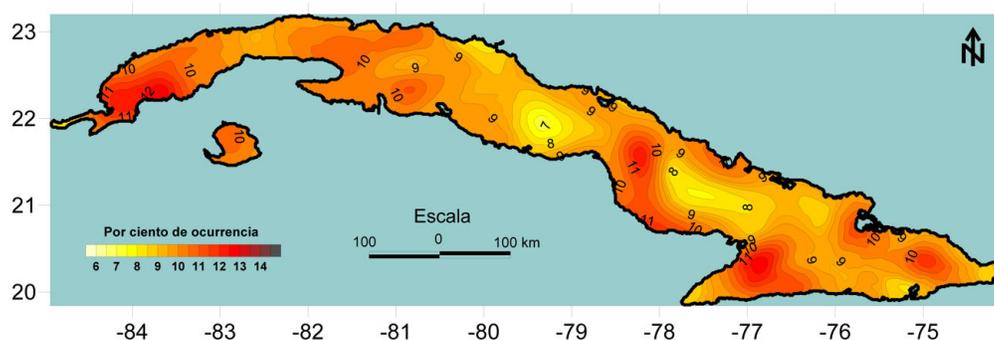


Figura 2. Distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

provincias orientales del país; sin embargo el mínimo de la región central de Camagüey se extiende al norte del Golfo de Guacanayabo y existen mínimos de alrededor de 130 días, al norte y centro de las provincias Villa Clara y Sancti Spiritus. La Isla de la Juventud muestra una distribución bastante uniforme con valores ligeramente más elevados hacia el sur de la isla debido a que las estaciones de Santa Fe (321) y Punta del Este (324) tiene el mismo nivel cerámico.

La interpolación arrojó un muy pequeño error promedio para todas las estaciones de 0.001 días, con máximo error para la estación Gran Piedra (366) con 0.2 días.

La desviación estándar (figura 4) muestra un máximo de alrededor de 36 días al norte y centro de la provincia Camagüey y otros aproximadamente 25 días alrededor de la zona de

la estación Paso Real de San Diego (317), sur de Sancti Spiritus y alrededor de la estación Punta de Maisí (369). En la Isla de la Juventud los valores crecen hacia el sur.

La estación con máxima desviación estándar es Punta de Maisí (369) con 50 días, seguida por Camagüey (355) con 37. El mínimo de 7 días se localiza en la estación de El Yabú (343) seguido de Colón (332) con 9.

Aquí los valores promedio son también superiores a los dados por [Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo \(2018\)](#) ya que llegan a los 50 días, a diferencia de la versión anterior del mapa que alcanzaba solo 30 y la distribución cambia bastante a lo largo del país. Debe destacarse que las zonas de alta variabilidad coinciden en muchos puntos con los mínimos de ocurrencia de tormentas por lo que a la hora de hacer diseños de protección contra descargas se debe de tener en cuenta la

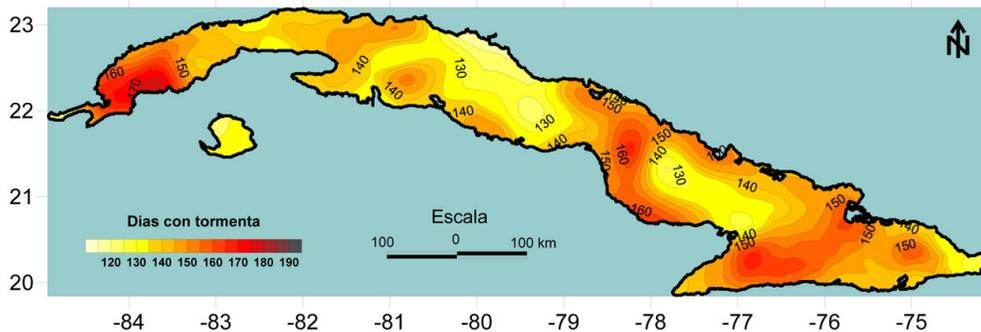


Figura 3. Distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta (nivel cerámico) para Cuba (carta base escala 1:250000).

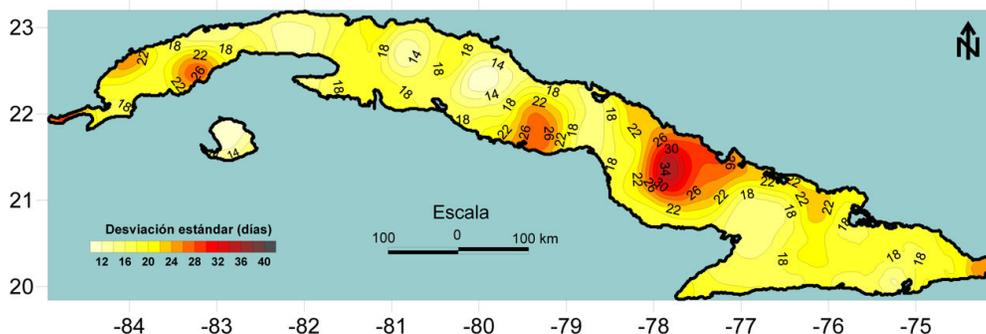


Figura 4. Distribución espacial de la desviación estándar de la serie de días con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

desviación estándar porque aunque un punto pueda presentar valores bajos de ocurrencia en su marcha interanual puede alcanzar valores altos en años específicos. La introducción del tiempo pasado aporta aquí como promedio 7 días de desviación estándar.

En la interpolación de este mapa el error promedio para todas las estaciones fue de 0.012 días con máximo de 0.89 para la estación de Punta de Maisí (369)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La inclusión de los registros de código de tiempo pasado en la contabilización de las tormentas ha provocado en crecimiento del 4% para la ocurrencia de observaciones con tormenta, de 40 días para el nivel ceráunico y 7 para la desviación estándar.

El por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta presenta zonas de máximo al sur de Pinar del Río con énfasis en la zona de la estación de San Juan y Martínez, al centro de Matanzas y Mayabeque con un marcado crecimiento de las costas hacia el interior, el centro y sur de la provincia Ciego de Ávila, que se extiende al sur de Camagüey y en zonas montañosas de las provincias Granma, Santiago de Cuba, Guantánamo y Holguín.

La distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta presenta máximos al sur de Pinar del Río, centro sur de Ciego de Ávila, sur de Camagüey y zonas montañosas de las provincias orientales del país.

La desviación estándar muestra un máximo de alrededor de 36 días al norte y centro de la provincia Camagüey y las zonas de alta variabilidad coinciden en muchos puntos con los mínimos de ocurrencia de tormentas.

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 <<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 <<http://www.insmet.cu>>.

Álvarez, L.; Borrajero, I. & Álvarez, R. 2009. "Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, con tormentas con lluvias sobre la estación y días con tormentas para el territorio cubano". Revista Cubana de Meteorología, 15(1): 14-22, ISSN: 0864-151X.

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. & Barcenás, M. 2014. "Análisis de la calidad de series largas de registros de código de estado del tiempo presente para las estaciones de Cuba". Revista Cubana de Meteorología, 20(1): 3 - 9, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.

Álvarez-Escudero, L. & Borrajero-Montejo, I., 2018, "Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del tiempo presente II", Revista Cubana de Meteorología, 24(1):111-127, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303>.

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 (en prensa), ISSN: 0864-151X.
- 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 II: Spatial Aspects". Journal of Climate, 1(4): 399-405.
- 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. "Significación del tiempo pasado en la determinación de la ocurrencia de las tormentas eléctricas". Revista Cubana de Meteorología, 24(2):216-225, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/427>.
- GEBCO. 2003. "Digital Bathymetry Atlas". Published by the British Oceanographic Data Center, under the joint auspices of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographical Organization, with founding provided by the Environment Research Council (update May 2009).
- 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.
- 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.
- WMO. 1988. Manual on codes. WMO - No. 306, Volume 1, Seccion D.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

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/)