

## Relación entre el crecimiento de tormentas, la temperatura y los aerosoles para la estación Casablanca

### Relation between the increment of thunderstorms, temperature and aerosols at Casablanca station



<http://opn.to/a/g9y8j>

Lourdes Álvarez-Escudero <sup>1\*</sup>, Israel Borrajero-Montejo <sup>2</sup>, Juan Carlos Peláez-Chávez <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sociedad Meteorológica de Cuba, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

**RESUMEN:** A nivel mundial se ha constatado un aumento de la actividad de descargas eléctricas atmosféricas y su relación con el aumento de la temperatura ambiente, la temperatura de la superficie marina y la densidad de aerosoles en la atmósfera. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas, la temperatura del aire en superficie y la ocurrencia de brumas y humo para la estación meteorológica de Casablanca, en La Habana, donde la serie de mediciones es muy completa y consta de 45 años de información trihoraria continua. También se relaciona, para una serie más corta la frecuencia de tormentas con el índice de aerosoles. El estudio arroja que la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas ha crecido en un 5% para el periodo, mostrando tendencia creciente altamente significativa. Las temperaturas promedio anual muestran crecimiento altamente significativo y la mejor correlación se muestra para la frecuencia de ocurrencia anual de temperaturas por encima de 30°C, donde se explica aproximadamente el 46% de la variación con relación a la ocurrencia de tormentas. Los sucesos de brumas también presentan una tendencia creciente altamente significativa y presenta una correlación con respecto a las tormentas de 0.65. El índice de aerosoles tiene tendencia creciente para el periodo 2005 - 2016 y explica el 58 % de la variación con respecto a la frecuencia de tormentas.

**Palabras clave:** tormenta eléctrica, temperatura, tendencia, brumas, aerosoles.

**ABSTRACT:** A World wide increment has been detected in atmospheric lightning related to the increase in surface air temperature, sea surface temperature and aerosol density. This work aims to an analysis of the relation between the annual courses of thunderstorms occurrence, the surface air temperature and the occurrence of haze and smoke reports at Casablanca meteorological station in Havana City, which has a very reliable series of tri-hourly observations for a period of 45 years. The thunderstorms series is also related, for a shorter period, to an aerosol index series. The study yields that the frequency of thunderstorms observations has increased by 5% for the period with a highly significant growing trend. Yearly average temperatures also show a highly significant increase and the best correlation is reached for the yearly frequency of occurrence of temperatures above 30°C, where 46% of the variance of thunderstorms occurrence is explained. The haze occurrence reports have also a highly significant trend and show a correlation of 0.65 with thunderstorms. Aerosol index has a growing trend for 2005 - 2016 and explains 58% of the variance of thunderstorms frequency.

**Key words:** thunderstorms, temperature, trend, haze, aerosols.

\*Autor para correspondencia: Lourdes Álvarez-Escudero. E-mail: [lourdes.alvarez@insmet.cu](mailto:lourdes.alvarez@insmet.cu)

Recibido: 07/05/2019

Aceptado: 21/07/2019

## INTRODUCCIÓN

La ocurrencia de tormentas eléctricas tiene una influencia sobre el hombre y la sociedad. La muerte por fulguración constituye la primera causa de muerte por fenómeno natural en Cuba y las descargas eléctricas provocan serios daños en los sectores eléctrico, de las comunicaciones y el transporte además de ser la única causa natural de ocurrencia de incendios forestales. Las tormentas en otro sentido también son fuente de precipitaciones sobre todo en verano, provocan la creación de compuestos de nitrógeno en la atmósfera y ayudan a mantener el equilibrio del circuito eléctrico global.

En Cuba se ha constatado ([Álvarez et al., 2014a, c](#)) que para el periodo 1989 - 2010 en más del 50% de las estaciones meteorológicas del país existe un crecimiento interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta contabilizadas a partir de la variable código de estado de tiempo presente que era de la que se poseía la información más completa ([Álvarez et al., 2014b](#)). Este crecimiento ha sido verificado también por otros autores en diferentes lugares del mundo ([Boccippio et al., 2000](#); [Christian et al., 2003](#); [DeRubertis, 2006](#); [Lay et al., 2007](#); [Collier et al., 2013](#); [Villarini & Smith, 2013](#); [Pal et al., 2016](#)) y en la actualidad se estudia la relación entre la ocurrencia de descargas y el cambio climático ([Reeve & Toumi, 1999](#); [Declan et al., 2018](#)). Este crecimiento y puntualmente decrecimiento ([Lolis, 2007](#); [Valentí Pía et al., 2011](#)) de la actividad eléctrica se asocia a cambios en otras variables, generalmente se consideran la temperatura (tanto en la superficie terrestre como la del mar), el contenido de aerosoles en la atmósfera como núcleos de condensación y el vapor de agua en la troposfera superior ([Price, 2000](#); [De Pablo & Rivas Soriano, 2002](#); [Naccarato et al., 2003](#); [Williams, 2005](#); [Price & Asfur, 2006](#); [Yuan et al., 2011](#); [Middey & Kaware, 2016](#); [Pal et al., 2016](#); [Zhao et al., 2017](#)).

La mayoría de los trabajos antes mencionados usan como información relativa a tormentas los conteos de descargas entre nubes y entre la nube y

la tierra detectados a partir de redes de equipos diseñados al efecto ([Orville et al., 2002](#); [Lay et al., 2007](#); [Virts et al., 2013](#)) o mediante observaciones con dispositivos a bordo de satélites ([Cecil et al., 2014, 2015](#)). Desafortunadamente Cuba no cuenta con este tipo de información, por lo que la actividad de descargas se describe a partir de las tormentas observadas en las estaciones meteorológicas y descritas en las variables código de estado de tiempo presente y pasado.

El objetivo del presente trabajo es analizar la relación entre la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas, la temperatura del aire en superficie y la ocurrencia de brumas y humo, para la estación meteorológica de Casablanca, en La Habana, donde la serie de mediciones es muy completa y consta de 45 años de información trihoraria continua. También se relaciona, para una serie más corta (2005 - 2016) la frecuencia anual de tormentas con el índice de aerosoles y otras informaciones aportadas por un instrumento que realiza mediciones de este tipo a bordo de un satélite.

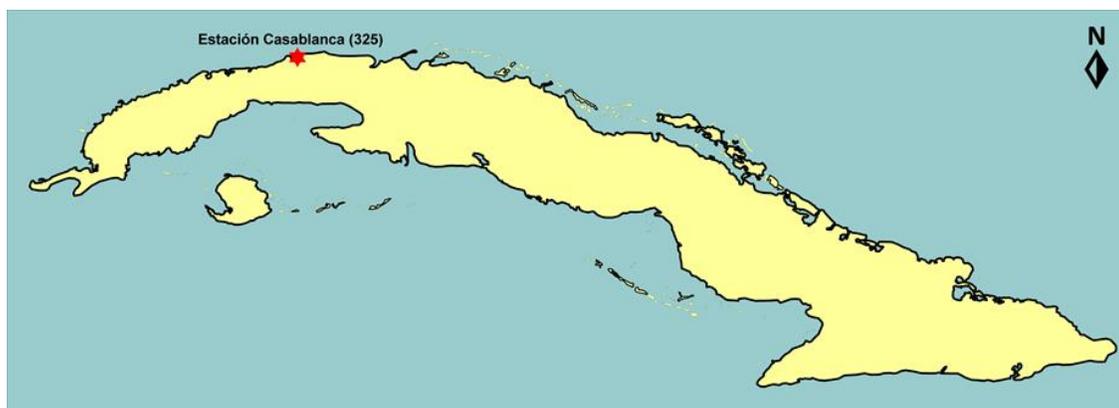
## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización de las tormentas se utilizaron los registros trihorarios de las variables código de estado de tiempo presente y código de estado de tiempo pasado en el periodo 1972 - 2016, para la estación meteorológica de Casablanca, en La Habana, donde la información es muy completa con muy pocas observaciones no realizadas. Los datos fueron extraídos de la Base de Datos Nueva\_THOR ([Álvarez-Escudero et al., 2014b](#)) implementada en MS-ACCESS para su gestión. De estos mismos registros se sacó la información relativa a la ocurrencia de brumas y humo. Algunos parámetros relativos a la localización de la estación Casablanca se recogen en la [Tabla 1](#) y su posición se refleja en la [figura 1](#).

Para la identificación de los tres fenómenos en estudio a partir del código de estado de tiempo presente se tomaron los valores de código, según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves ([WMO, 1988](#)) y su identificación se recoge en la [Tabla 2](#). Los

**Tabla 1.** Posición, altitud y horizonte máximo de la estación meteorológica de Casablanca, La Habana

Parámetro	Valor
No. de la estación	325
Nombre de la estación	Casablanca
Latitud (°)	23.09
Longitud (°)	82.21
Altitud (m)	50.8
Dirección del máximo horizonte	S
Distancia del máximo horizonte (km)	15



**Figura 1.** Ubicación de la estación meteorológica de Casablanca (325) en La Habana, Cuba

**Tabla 2.** Fenómenos meteorológicos utilizados en el estudio y códigos de estado de tiempo presente que los describen

Fenómeno	Códigos de estado de tiempo presente
Humo	4
Brumas	5
Tormentas	17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99

códigos no representados en la [Tabla 2](#) se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio. El código de estado de tiempo pasado solo se tuvo en cuenta para identificar las tormentas, dado por el  $W1 = 9$  (WMO, 1988), debido a que el humo no se representa en esta variable y las brumas se contabilizan junto con las neblinas y las nieblas.

Los registros de temperatura tuvieron dos fuentes, para el periodo 1972 - 2000 los datos fueron extraídos de la Base GRANMET de uso en el Instituto de Meteorología (INSMET) con datos verificados ampliamente y para el periodo 2000 - 2016 se tomaron de la Base de Datos del Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque, que es el encargado de atender en

todos los aspectos de la observación meteorológica a la estación de Casablanca.

La variable utilizada para representar la marcha interanual de los fenómenos fue la frecuencia de ocurrencia de observaciones asociadas a determinado fenómeno, dado como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno sobre el número total de observaciones válidas o realizadas. Para la temperatura se trabajó con tres variables: la temperatura promedio anual, la frecuencia de ocurrencia anual de valores de temperaturas mayores o iguales que 25 °C y la frecuencia de ocurrencia anual de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C.

En el caso de los aerosoles se utilizaron los datos ofrecidos por el instrumento OMI a bordo del satélite AURA, que ofrece información diaria en

lugares cercanos a la localización de la estación Casablanca con frecuencia diaria. Estas series están acotadas al periodo 2005 - 2016, ya que anteriormente las mediciones se hacían con otro instrumento (TOMS) y las diferencias son significativas para la homogeneidad de una serie más larga. Se valoraron tres parámetros:

- AI: Índice de Aerosoles (en la zona UV del espectro)
- SOI: Índice de SO2
- Ozone: Total de ozono en la columna (en unidades Dobson)

Para la representación anual de los mismos se calculó el promedio sin tener en cuenta el signo en el caso del AI y el SOI, ya que para la formación de gotas y de nubes no es importante si los aerosoles reflejan o absorben la radiación. El AI en la zona UV del espectro es representativo de los núcleos de condensación de las gotas de lluvia que están entre 0.1 y 1 micra.

La metodología para el análisis de homogeneidad de las series en estudio es la misma desarrollada por [Álvarez y colaboradores \(2012\)](#) y los estadígrafos se calculan según lo planteado por [Sneyers \(1990\)](#).

**Tabla 3.** Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual de las variables: Frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta clasificadas a partir del código de estado de tiempo presente y pasado (F-WW-W), Temperatura promedio (Tmed), Frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 25 °C (F-T-25), Frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C (F-T-30), Frecuencia de ocurrencia de observaciones con brumas (F-Brumas), Frecuencia de ocurrencia de observaciones con humo (F-Humo), Promedio del Índice de Aerosoles UV (P-AI), Promedio del Índice de SO2 (P-SOI), Promedio del total de ozono en la columna (P-O3), para la estación Casablanca

Variable	Periodo	Carácter	Punto de cambio
F-WW-W	1972 - 2016	Creciente altamente significativo	1989
Tmed	1972 - 2016	Creciente altamente significativo	No concluyente
F-T-25	1972 - 2016	Creciente altamente significativo	1994
F-T-30	1972 - 2016	Creciente altamente significativo	1993
F-Brumas	1972 - 2016	Creciente altamente significativo	1983
F-Humo	1972 - 2016	Homogéneo	
P-AI	2005 - 2016	Creciente altamente significativo	2008
P-SOI	2005 - 2016	Homogéneo	
P-O3	2005 - 2016	Homogéneo	

Los análisis se hicieron con ayuda del programa WINSTAT de uso en el INSMET para estos fines y desarrollado por uno de los autores del presente trabajo.

Para determinar la relación entre series, se usó el coeficiente de correlación de Pearson (r) dado por:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Para tener un indicativo de la estimación de los valores “y” a partir de los de “x” se calculó el error típico dado por la relación:

$$Error = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[ \sum(y - \bar{y})^2 - \frac{[\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum(x - \bar{x})^2} \right]}$$

donde “x” y “y” representa a las series que se quieren correlacionar y la barra significa valor promedio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 3](#) se muestran las conclusiones de las pruebas de homogeneidad aplicadas a las series en estudio.

La relación entre las series dada por el coeficiente de correlación de Pearson (r) y el error típico (error) se muestra en la [Tabla 4](#).

De la anterior Tabla se constata que el ajuste entre la frecuencia de ocurrencia de tormentas y las tres variables relacionadas con la temperatura

**Tabla 4.** Análisis de la relación entre series interanuales de las diferentes variables en estudio para la estación de Casablanca

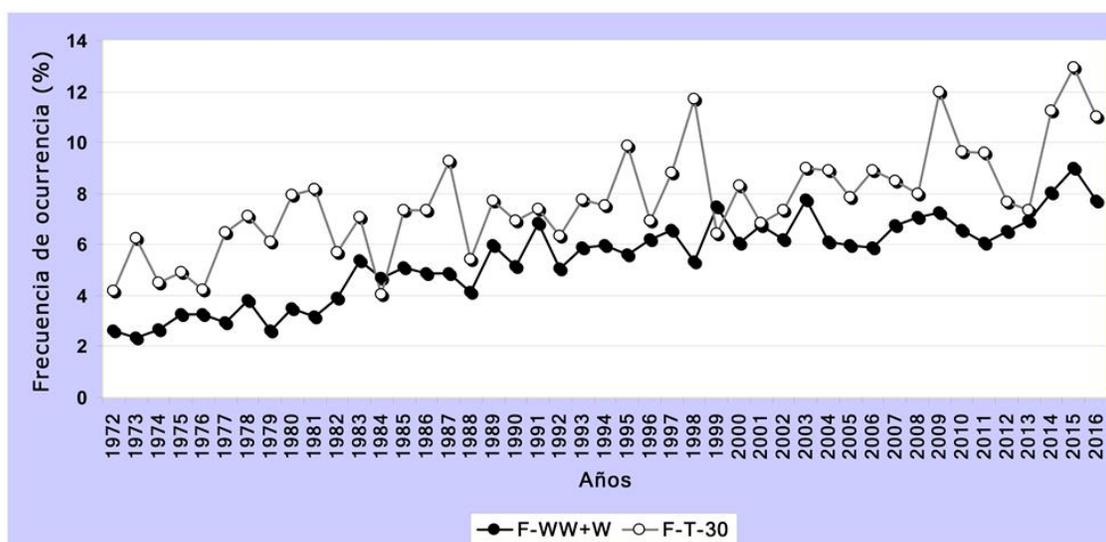
Serie 1 (y)	Serie 2 (x)	Periodo	r	error
F-WW-W	Tmed	1972-2016	0.65	1.55
F-WW-W	F-T-25	1972-2016	0.67	2.02
F-WW-W	F-T-30	1972-2016	0.68	1.07
F-WW-W	F-Brumas	1972-2016	0.65	8.72
F-WW-W	F-Brumas + F-Humo	1972-2016	0.50	6.08
F-Brumas	F-Humo	1972-2016	-0.82	6.52
F-WW-W	P-AI	2005-2016	0.77	0.60
F-WW-W	P-SOI	2005-2016	-0.18	0.95
F-WW-W	P-O3	2005-2016	0.59	0.78
P-AI	Tmed	2005-2016	0.59	-2.75

presenta correlaciones bastante similares aunque la mayor correlación es para la serie de frecuencia de ocurrencia de observaciones con temperaturas mayores o iguales que 30°C, que explica un 46 % de la varianza, lo que sugiere una relación entre el aumento del número de tormentas y el aumento de las temperaturas. En la [figura 2](#) se representan las marchas interanuales de F-WW-W y F-T-30 donde puede observarse la similitud entre las series, sobre todo en su carácter creciente, aunque el crecimiento de las temperaturas es menos pronunciado y la diferencia se hace mayor en los años anteriores a 1987.

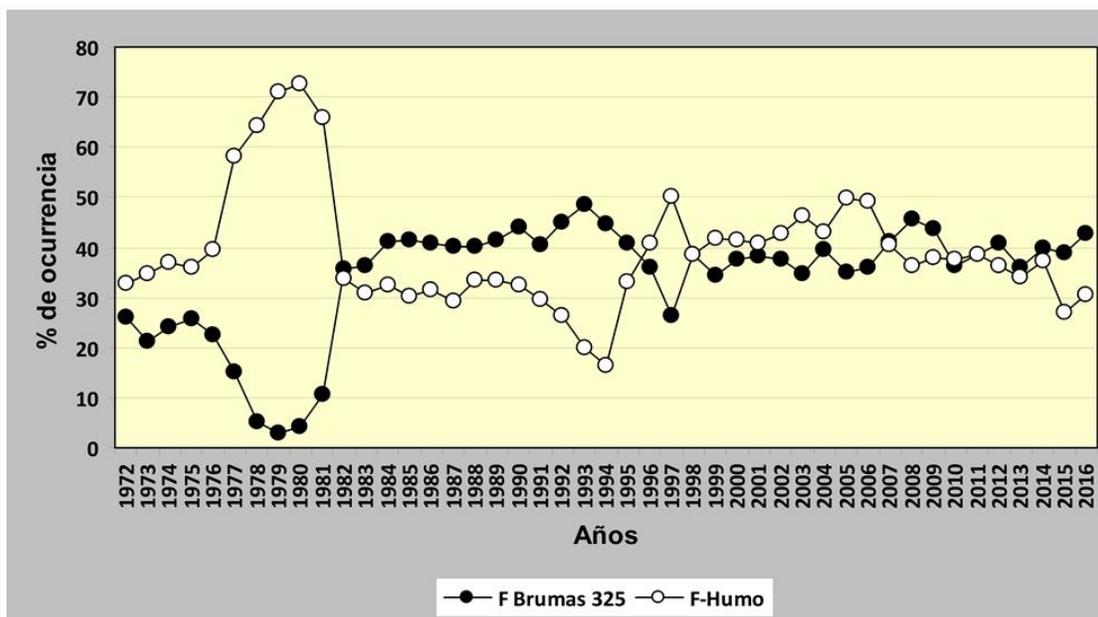
La relación entre tormentas y ocurrencia de brumas muestra valores similares a los de la

comparación con la temperatura y explica un 32 % de la varianza. Si se compara en conjunto las observaciones con brumas y humo como indicativo de la calidad del aire en la estación se constata que el humo no aporta información significativa a la correlación, sin embargo, la correlación entre ocurrencia de brumas y humo presenta un coeficiente de -0.82 y de la representación de sus marchas interanuales ([figura 3](#)) se aprecia que hay una relación inversa entre los ciclos de estas variables lo que podría implicar un problema de métodos de observación.

Una medida más objetiva de lo que la composición de la atmósfera puede aportar a la ocurrencia de tormentas está dado por el Índice de



**Figura 2.** Marcha interanual de F-WW-W y F-T-30 para la estación de Casablanca en el periodo 1972 - 2016.



**Figura 3.** Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con brumas y con humo para la estación Casablanca en el periodo 1972 - 2016.

Aerosoles (AI) que también muestra tendencia creciente, aunque la serie para comparación es más corta. En este caso el AI explica el 61% de la varianza, mayor valor este que el que explica la temperatura, aunque si se hace una correlación entre la temperatura media y el AI promedio anual se obtiene un coeficiente de 0.59 por lo que estas dos variables no pueden considerarse independientes y explicarían en su conjunto aproximadamente el 50% de la varianza. Estos resultados implican que el crecimiento en la actividad de tormentas depende también de otras variables como el vapor de agua en la troposfera superior (Price & Asfur, 2006), de la temperatura del mar (Pal et al., 2016), de los flujos verticales en la atmósfera (Price & Rind, 1992) o de otras por relacionar. Las correlaciones entre la ocurrencia interanual de tormentas y el Promedio del Índice de SO<sub>2</sub> (P-SOI) y el Promedio anual de ozono total en la columna (P-O<sub>3</sub>) son bajas.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La marcha interanual de las variables frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta clasificadas a partir del código de estado de tiempo presente y pasado, temperatura promedio anual,

frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 25 °C, frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C y frecuencia de ocurrencia de observaciones con brumas muestran tendencia creciente altamente significativa con un punto de cambio alrededor de 1990.

De las tres series relativas a aerosoles solo el promedio del Índice de Aerosoles presenta carácter creciente con un punto de cambio en el 2008.

Las tres variables relacionadas con la temperatura presentan correlaciones con la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta bastante similares, aunque el mayor valor corresponde a la serie de frecuencia de ocurrencia de observaciones con temperaturas mayores o iguales que 30°C que explica un 46 % de la varianza.

La relación entre tormentas y ocurrencia de brumas muestra valores similares a los de la comparación con la temperatura y explica un 32 % de la varianza.

El promedio anual del Índice de Aerosoles explica el 61% de la varianza con respecto a la frecuencia anual de ocurrencia de tormentas, valor mayor que lo que explica la temperatura.

La correlación entre las series interanuales de la temperatura media y del Índice de Aerosoles promedio alcanza un coeficiente de 0.59, por lo que estas dos variables no pueden considerarse independientes.

Se recomienda buscar series de otras variables que permitan correlacionar sus valores con los registros crecientes de la frecuencia de ocurrencia anual de observaciones con tormentas.

## REFERENCIAS

- Álvarez, L; Borrajero, I; Álvarez, R; Aenlle, L; Rivero, I; Iraola, C; Rojas, Y & Hernández, M. 2012. "Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano". Revista de Climatología, 12: 1-21, <http://webs.ono.com/reclim/reclim12a.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero, I. 2014a. "Análisis de la marcha interanual de fenómenos meteorológicos para las tres estaciones que triangulan la provincia de La Habana, Cuba". Cienc. Tierra y Esp., 15(1):12 - 22.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014b. "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, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014c. "Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba". Revista Cubana de Meteorología, 20(2): 56 - 69, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf>.
- Boccippio, D. J.; Goodman, S.J. & Heckman, S. 2000. "Regional differences in tropical lightning distributions". J. Appl. Met. 39: 2231-2248.
- Cecil, D. J.; Buechler, D. E. & Blakeslee, R. J. 2014. "Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description". Atmos. Res., 135-136: 404-414, DOI:10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
- Cecil, D. J.; Buechler, D. E. & Blakeslee, R. J. 2015. "TRMM LIS Climatology of Thunderstorm Occurrence and Conditional Lightning Flash Rates". Journal of Climate, 28: 6536 - 6547, DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0124.1
- Christian, H. J.; Blakeslee, R. J.; Boccippio, D. J.; Boeck, W. L.; Buechler, D. E.; Driscoll, K. T.; Goodman, S. J.; Hall, J. M.; Koshak, W. J.; Mach, D. M. & Stewart, M. F. 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.
- Collier, A. B.; Bürgesser, R. E. & Ávila, E. E. 2013. "Suitable regions for assessing long term trends in lightning activity". J. Atmos. Sol-Terr. Phys., 92: 100-104, DOI:10.1016/j.jastp.2012.10.012.
- Declan, L., F.; Doherty, R. M.; Oliver Wild, O.; Stevenson, D. S.; MacKenzie, I. A. & Blyth, A. M., 2018. "A projected decrease in lightning under climate change". Nature Climate Change Letters, DOI:10.1038/s41558-018-0072-6
- De Pablo, F. & Rivas Soriano, L. 2002. "Relationship between cloud-to-ground lightning flashes over the Iberian Peninsula and sea surface temperature". Quart. J. Roy. Met. Soc. 128: 173-183.
- De Rubertis, D. 2006. "Recent Trends in Four Common Stability Indices Derived from U.S. Radiosonde Observations". Journal of Climate, 19: 309-323.
- 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: 2664-0880, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426>.
- Lay, E. H.; Jacobson, A. R.; Holzworth, R. H.; Rodger, C. J. & Dowden R. L. 2007. "Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide

- Lightning Location Network". *J. Geophys. Res.*, 112, D13111.
- Lolis, C.J. 2007. "Climatic features of atmospheric stability in the Mediterranean region (1948-2006): spatial modes, inter-monthly and inter-annual variability". *Meteorol. Appl.*, 14: 361-379.
- Middey, A. & Kaware, P. B. 2016. "Disposition of Lightning Activity Due to Pollution Load during Dissimilar Seasons as Observed from Satellite and Ground-Based Data". *Climate*, 4, 28, DOI:10.3390/cli4020028
- Naccarato, K. P.; Pinto Jr., P. & Pinto, I.R.C.A. 2003. "Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil". *Geophys. Res. Lett.* 30 (13).
- 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.
- Pal, J.; Chaudhuri, S.; Chowdhury, A. R. & Bandyopadhyay, T. 2016. "Cloud - Aerosol Interaction during Lightning Activity over Land and Ocean: Precipitation Pattern Assessment". *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 52(3): 251-261, DOI:10.1007/s13143-015-0087-0
- Price, C. & Rind, D. 1992. A Simple Lightning Parameterization for Calculating Global Lightning Distributions. NASA Goddard Institute for Space Studies, New York Columbia University, New York.
- Price, C. 2000. "Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour". *Nature*, 406: 290-293.
- Price, C. & Asfur, M. 2006. "Can Lightning Observations be Used as an Indicator of Upper-Tropospheric Water Vapor Variability?". *BAMS*, 8(3): 291-298, DOI:10.1175/BAMS-87-3-291
- Reeve, N. & Toumi, R. 1999. "Lightning activity as an indicator of climate change". *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 125: 893-903.
- Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observations. Technical Note No. 143, WMO-No. 415, 192 pp.
- Valentí Pía, M. D.; De la Torre, L. & Añel, J. A. 2011. "Tendencias en la probabilidad de tormentas en el Suroeste de Europa". *ACT*, 2: 97- 104
- Villarini, G. & Smith, J. A. 2013. "Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.S. during the period 1909 -2010". *Atmos. Res.*, 124: 137-148, DOI:10.1016/j.atmosres.2012.12.017.
- Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. & Holzworth, R. H. 2013. "Highlights of a New Ground-Based, Hourly Global Lightning Climatology". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 15: 1381 -1391, DOI:10.1175/BAMS-D-12-00082.1.
- Williams, E.R. 2005. "Lightning and climate: A review". *Atmospheric Research*, 76: 272-287, DOI: 10.1016/j.atmosres.2004.11.014
- WMO. 1988. Manual on codes. WMO - No. 306, Volume 1, Seccion D, Table 4677.
- Yuan, T., L.; Remer, A.; Pickering, K. E & Yu H. 2011. "Observational evidence of aerosol enhancement of lightning activity and convective invigoration". *Geophys. Res. Lett.*, 38, L04701, doi:10.1029/2010GL046052.
- Zhao, P.; Zhou, Y.; Xiao, H.; Liu, J.; Gao, J. & Ge, F. 2017. "Total Lightning Flash Activity Response to Aerosol over China Area". *Atmosphere*, 8, 26, DOI:10.3390/atmos8020026

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

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/)