

## Relación entre el crecimiento de tormentas y la temperatura para algunas estaciones con información adecuada para su gestión



## Relation between the increment of thunderstorms and temperature for some stations with complete and unbiased data

<https://eqrcode.co/a/5g1mMR>

 Lourdes Álvarez-Escudero\*,  Israel Borrajero Montejo

Departamento de Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de la Habana, La Habana 10400, Cuba

**RESUMEN:** Los estudios a nivel mundial han 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 y la temperatura del aire en superficie para series suficientemente completas y sin sesgos, de las observaciones de las estaciones meteorológicas de Cuba, en el periodo 1989 - 2016. Para el estudio se utilizan los registros trihorarios de código de estado de tiempo presente y pasado para caracterizar las tormentas y los registros trihorarios de temperatura del aire en superficie de 14 estaciones cubanas en el periodo 1989 - 2016. Las series son sometidas a pruebas no paramétricas de análisis de homogeneidad y se relacionan las variables con ayuda del coeficiente de correlación de Pearson. La relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a la temperaturas no explica el crecimiento de la actividad del fenómeno.

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

**ABSTRACT:** Worldwide studies have stated an increase in atmospheric thunderstorm activity that bears a relation with growing air and sea temperature, along with atmospheric aerosol density. This work aims to analyze the inter annual course of thunderstorms occurrence and surface air temperature for series of observations with adequate degree of completion and lack of bias at meteorological stations in Cuba, over the period from 1989 to 2016. Series of tri hourly Present and Past weather state codes and tri hourly values of surface air temperature at 14 stations were used. Series were subject to nonparametric homogeneity tests and variables were related through the Pearson Correlation coefficient. The relation between the percent of occurrence of thunderstorm observations and variables associated to temperature did not explain the increase in thunderstorm activity.

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

### INTRODUCCIÓN

En Cuba la ocurrencia de tormentas trae aparejado tanto ventajas como desventajas. Como principales desventajas se conoce que la 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. Sin embargo las tormentas son también 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.

\*Autor para correspondencia: Lourdes Álvarez-Escudero. E-mail: [lourdesalvarez@yahoo.com](mailto:lourdesalvarez@yahoo.com)

Recibido: 14/12/2020

Aceptado: 12/02/2021

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 Pia *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 & Asfür, 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.

A partir de esos registros y usando la serie 1972 - 2016 para la estación meteorológica de Casablanca, en La Habana, que cuenta con una serie muy completa de información trihoraria, se estudió su relación con la temperatura en superficie y se encontró que la frecuencia de ocurrencia de observaciones con temperaturas mayores o iguales que 30 °C explicaba un 46 % de la varianza, pero no justificaba en su totalidad el crecimiento interanual en la actividad de tormentas que presenta esta localidad (Álvarez-Escudero *et al.*, 2019).

El objetivo del presente trabajo es analizar la relación entre la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas y la temperatura del aire en superficie para series suficientemente completas y sin sesgos, de las observaciones de las estaciones meteorológicas de Cuba, en el periodo 1989 - 2016.

## 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 1989 - 2016, para un grupo de estaciones que presentaban calificación de excelente para el periodo mencionado en los índices de calidad de la información en cuanto a largo de la serie (todas con 28 años), por ciento de información útil, sesgo mensual y sesgo horario, según la metodología dada por Álvarez-Escudero y colaboradores (2014b) y también como recomendación de este trabajo se tomaba como punto de partida de este estudio el año 1989, ya que anterior a este año solo tres estaciones presentaban series suficientemente completas en cuanto a registros de código de tiempo presente y pasado. Los estudios anteriores de marcha interanual solo se habían realizado con registros de tiempo presente. Esta exigencia en la calidad de las series arrojó 23 estaciones con calidad suficiente para el análisis.

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).

Una vez realizado el análisis de homogeneidad para las 23 estaciones escogidas, se decantaron todas aquellas estaciones que no presentaban una clara significación en su carácter (creciente, decreciente u homogénea), que podía ser por contradicción entre estadígrafos de persistencia corta y tendencia global o entre los propios estadígrafos de tendencia global que se evalúan. Esta segunda exigencia redujo a 14 series el estudio. Las estaciones escogidas, su nombre y la provincia a la que pertenecen se recogen en la Tabla 1 y su distribución espacial se representa en la figura 1. Debe notarse que la estación Casablanca no forma parte del estudio por contar con un análisis particular y detallado (Álvarez-Escudero *et al.*, 2019).

Los datos para los análisis fueron extraídos de la Base de Datos "Nueva\_THOR" (Álvarez-Escudero *et al.*, 2014b) implementada en MS-ACCESS para su gestión.

Para la identificación del fenómeno en estudio se tomaron los códigos de estado de tiempo presente 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99, según la Tabla 4677, sobre "Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal", del Manual de Claves (WMO, 1988). Los códigos no recogidos y que pudieran estar asociados a tormentas se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio. El código de estado de tiempo pasado solo se contabilizó como tormenta cuando W1 = 9 (WMO, 1988).

**Tabla 1.** Número, nombre y provincia a la que pertenecen las 14 estaciones en estudio.

Estación	Nombre	Provincia
78310	Cabo de San Antonio	Pinar del Río
78312	Santa Lucía	Pinar del Río
78313	Isabel Rubio	Pinar del Río
78314	San Juan y Martínez	Pinar del Río
78315	Pinar del Río	Pinar del Río
78316	La Palma	Pinar del Río
78329	Indio Hatuey	Matanzas
78330	Jovellanos	Matanzas
78355	Camaguey	Camaguey
78356	Jamal	Guantánamo
78358	Puerto Padre	Las Tunas
78363	Contra maestre	Santiago de Cuba
78365	Cabo Lucrecia	Holguín
78368	Guantánamo	Guantánamo



**Figura 1.** Ubicación de las 14 estaciones en estudio.

Los registros de temperatura se obtuvieron de la Base de Datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba.

La variable utilizada para representar la marcha interanual de los fenómenos fue el por ciento de ocurrencia de observaciones asociadas a tormentas, dado como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno sobre el número total de observaciones válidas o realizadas, expresado en por ciento. 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 26 °C (temperatura media para todas las estaciones expresada como valor entero) y la frecuencia de ocurrencia anual de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 C (temperatura que puede considerarse límite inferior de los altos valores), algo similar a lo desarrollado por Álvarez-Escudero y colaboradores (2019).

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:

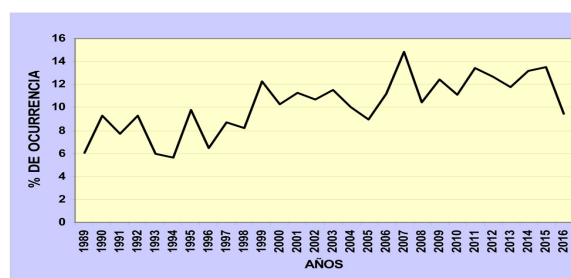
$$Error = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[ \sum (y - \bar{y})^2 - \frac{[\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum (x - \bar{x})^2} \right]}$$

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 2](#) se muestran las conclusiones de las pruebas de homogeneidad aplicadas a las series de por ciento de ocurrencia para las 14 estaciones en estudio.

El análisis arroja 8 estaciones con tendencia creciente significativa o altamente significativa, con puntos de cambio allí donde pudieron determinarse en el año 2000, lo que muestra como en el 60 % de las estaciones en estudio hay un indicativo de la creciente actividad de tormentas. Los descriptores de las marchas interanuales según la metodología explicada por Álvarez-Escudero y colaboradores (2014b) muestran cambios bruscos en la serie, aunque la mayoría de las crecientes presenta un aumento gradual de los por cientos tal y como se muestra a modo de ejemplo para la estación Pinar del Río (78315) en la [figura 2](#).



**Figura 2.** Marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para la estación de Pinar del Río (78315).

Si se realiza un análisis de homogeneidad para las series de temperatura media anual del aire en superficie (Tmed) en las 14 estaciones en estudio para el periodo 1989 - 2016 se obtiene lo que se recoge en la **Tabla 3**.

En este análisis se observa como muy pocas series permiten definir un carácter de la marcha por presentar contradicciones entre los estadígrafos de tendencia y solo una estación (78368) muestra tendencia creciente significativa, incluso para la estación de Jamal (78365) la tendencia es significativa al decrecimiento. Esta falta de relación provoca que las correlaciones entre las series de marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las de temperatura media sean muy bajas (ver **Tabla 4**) con un máximo de correlación para la estación Guantánamo (78368) y un coeficiente de Pearson (r) de solo 0.36.

El por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 26 C (F-T-26) (ver **Tabla 5**) muestra solo 4 series crecientes significativas o alta-

mente significativas, 4 homogéneas, 5 donde no pudo arribarse a conclusiones y una decreciente altamente significativa que al igual que para la temperatura media ocurre para la estación de Jamal (78356) en la provincia Guantánamo. El punto de cambio allí donde pudo ser evaluado estaba alrededor del 2008. Este comportamiento difiere bastante del de las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y solo coinciden en carácter creciente las series de la estación de San Juan y Martínez (78314).

La correlación entre las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (PWWW1) y por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 26 °C (F-T-26) se muestra en la **Tabla 6**. Aquí se observa que las correlaciones son muy malas con un máximo de coeficiente de Pearson de 0.35 para la estación de Guantánamo (78368).

El análisis de homogeneidad de las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C (F-T-30) (ver **Tabla 7**) muestran 7 series crecientes, 5 homo-

**Tabla 2.** Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta clasificadas a partir del código de estado de tiempo presente y pasado (PWWW1), para las 14 estaciones en estudio en el periodo 1989 - 2016.

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78310	Abrupta	Homogéneo	
78312	Fluctuante	Homogéneo	
78313	Baja-alta-media	Homogéneo	
78314	Abrupta pronunciada	Creciente altamente significativo	2000
78315	Creciente en escalera	Creciente altamente significativo	2001
78316	Fluctuante	Homogéneo	
78329	Creciente	Creciente significativo	
78330	Fluctuante	Homogéneo	
78355	Abrupta	Creciente significativo	
78356	Creciente en escalera pronunciada	Creciente altamente significativo	
78358	Fluctuante	Homogéneo	
78363	Abrupta	Creciente altamente significativo	2001
78365	Creciente	Creciente altamente significativo	1998
78368	Creciente	Creciente altamente significativo	1997

**Tabla 3.** Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual de temperatura media del aire en superficie (Tmed), para las 14 estaciones en estudio en el periodo 1989 - 2016.

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78310	Creciente		
78312	Medio-bajo-alto		
78313	Abrupta		
78314	Abrupta		
78315	Fluctuante	Homogéneo	
78316	Fluctuante		
78329	Abrupta	Homogéneo	
78330	Fluctuante		
78355	Creciente		
78356	Decreciente	Decreciente altamente significativo	1993
78358	Fluctuante	Homogéneo	
78363	Fluctuante		
78365	Fluctuante		
78368	Creciente	Creciente significativo	2012

**Tabla 4.** Análisis de la relación entre series interanuales de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (PWWW1) y temperatura media (Tmed) para las 14 estaciones en estudio.

PWWW1-Tmed	R	Error
78310	-0.06	1.46
78312	0.17	1.36
78313	-0.14	2.44
78314	0.18	3.07
78315	-0.09	2.48
78316	0.01	1.56
78329	0.22	0.82
78330	-0.08	1.25
78355	0.32	1.51
78356	-0.03	1.26
78358	-0.06	1.98
78363	0.27	1.22
78365	-0.01	1.16
78368	0.36	1.40

**Tabla 5.** Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 26 °C (F-T-26), para las 14 estaciones en estudio, en el periodo 1989 - 2016.

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78310	Creciente	Creciente altamente significativa	
78312	Creciente	Creciente significativa	2010
78313	Creciente	Creciente significativa	2006
78314	Creciente	Creciente altamente significativa	2008
78315	Fluctuante	Homogéneo	
78316	Fluctuante		
78329	Fluctuante	Homogéneo	
78330	Fluctuante		
78355	Fluctuante		
78356	Decreciente en escalera	Decreciente altamente significativa	
78358	Fluctuante	Homogéneo	
78363	Fluctuante	Homogéneo	
78365	Fluctuante		
78368	Fluctuante		

génez y 2 a las que no se puede arribar a conclusiones por lo que en general su comportamiento es más parecido al de las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta; así coinciden en el carácter creciente ya sea altamente significativo o significativo las series de las estaciones San Juan y Martínez (78314), Camaguey (78355), Jamal (356), Contramaestre (363) y Guantánamo (78368). El punto de cambio solo pudo ser evaluado para las estaciones de Jamal (78356) que se alcanza en el 2001 y en Contramaestre (363) y San Juan y Martínez (78314) que coinciden en el 2008.

Los resultados de la correlación entre las series de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (PWWW1) y por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C (F-T-26) (ver [Tabla 8](#)) también muestra valores del coeficiente de Pearson muy bajos. El máximo de coeficiente de correlación es de 0.36 pero con signo menos, para la

estación de Guantánamo (78368), lo que implica una relación inversa.

En general se observa que la relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a la temperaturas no es buena y el comportamiento de la marcha interanual de las temperaturas no explica el crecimiento de la actividad de tormentas, por lo que sería necesario explorar otras variables como el contenido de aerosoles o temperaturas en niveles verticales de la atmósfera.

En general se observa que la relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a la temperaturas, a diferencia de para la estación Casablanca ([Álvarez-Escudero et al., 2019](#)), no es buena y el comportamiento de la marcha interanual de las temperaturas no explica el crecimiento de la actividad de tormentas, por lo que sería necesario explorar otras variables como el contenido de aerosoles o temperaturas en niveles verticales de la atmósfera.

**Tabla 6.** Análisis de la relación entre series interanuales de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (PWWW1) y el por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 26 °C (F-T-26) para las 14 estaciones en estudio.

PWWW1- F-T-26	R	Error
78310	-0.19	1.44
78312	0.03	1.38
78313	-0.01	2.47
78314	0.26	3.01
78315	-0.08	2.48
78316	-0.15	1.54
78329	0.11	0.84
78330	-0.12	1.24
78355	0.20	1.56
78356	0.01	1.26
78358	-0.15	1.95
78363	0.09	1.27
78365	-0.09	1.16
78368	0.35	1.41

**Tabla 7.** Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C (F-T-30), para las 14 estaciones en estudio, en el periodo 1989 - 2016.

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78310	Fluctuante	Homogéneo	
78312	Fluctuante	Homogéneo	
78313	Creciente	Creciente altamente significativa	
78314	Abrupta	Creciente altamente significativa	2008
78315	Fluctuante	Homogéneo	
78316	Creciente	Creciente altamente significativa	
78329	Fluctuante	Homogéneo	
78330	Fluctuante	Homogéneo	
78355	Creciente	Creciente significativa	
78356	Creciente en escalera	Creciente altamente significativa	2001
78358	Fluctuante		
78363	Creciente en escalera	Creciente altamente significativa	2008
78365	Fluctuante		
78368	Creciente	Creciente significativa	

**Tabla 8.** Análisis de la relación entre series interanuales de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (PWWW1) y el por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 °C (F-T-30) para las 14 estaciones en estudio.

PWWW1- F-T-30	R	Error
78310	-0.36	1.37
78312	0.03	1.38
78313	-0.23	2.40
78314	0.25	3.02
78315	0.10	2.48
78316	-0.09	1.55
78329	0.14	0.83
78330	-0.02	1.25
78355	0.19	1.56
78356	0.10	1.25
78358	-0.14	1.96
78363	0.29	1.22
78365	0.09	1.16
78368	0.33	1.42



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de las marchas interanuales de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta muestra que en el 60 % de las estaciones en estudio hay un indicativo de la creciente actividad de tormentas.

La relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a la temperaturas no explica el crecimiento de la actividad del fenómeno.

De las tres variables asociadas a la temperatura la que mejor coincide con la ocurrencia de tormentas en el carácter creciente de sus marchas interanuales es el por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30°C.

Se recomienda realizar estudios de relación de marchas interanuales con otras variables asociadas a la formación de 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>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-Montejo, I., Peláez-Chávez, J. C. 2019. "Relación entre el crecimiento de tormentas, la temperatura y los aerosoles para la estación Casablanca". *Revista Cubana de Meteorología*, 25(3): 404-411, ISSN: 2664-0880, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/486/756>
- 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.
- DeRubertis, D. 2006. "Recent Trends in Four Common Stability Indices Derived from U.S. Radiosonde Observations". *Journal of Climate*, 19: 309-323.
- 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](https://doi.org/10.1007/s13143-015-0087-0)
- 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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/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](https://doi.org/10.3390/atmos8020026)

*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)

**Conflicto de intereses:** Los autores declaran no tener conflicto de intereses

**Contribución de los autores:** Concepción de la idea: **Lourdes Álvarez Escudero**. Manejo de los datos: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Análisis de los datos: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Investigación: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Metodología: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Software: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Supervisión: **Lourdes Álvarez Escudero** e **Israel Borrajero Montejo**. Validación de los resultados: **Lourdes Álvarez Escudero** e **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/)