



AMA  
Agencia de Medio Ambiente

ARTÍCULO

CUB@: MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

Sitio de la revista: <http://cmad.ama.cu> Cu-ID: <https://cu-id.com/1961/v22n43e01>



# ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA INTENSIDAD DE DESCARGAS ELÉCTRICAS EN ZONAS INDUSTRIALES DE MARIEL, LA HABANA Y MATANZAS

## PRELIMINARY ANALYSIS OF THE INTENSITY OF LIGHTNING IN INDUSTRIAL ZONES OF MARIEL, HAVANA AND MATANZAS

YUNIOR JAVIER GAILES SIERRA<sup>1</sup>, CARLOS MANUEL GONZÁLEZ RAMÍREZ<sup>2</sup>

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

E-mail: [yuniorjaviergailessierra@gmail.com](mailto:yuniorjaviergailessierra@gmail.com)

<sup>2</sup>Centro de Pronósticos del Tiempo, Instituto de Meteorología, Loma de Casablanca, Regla, La Habana, Cuba, Apdo. 17032, C.P. 11700, Habana 17

Palabras Claves:	Resumen
actividad eléctrica tormentas eléctricas intensidad de descargas eléctrica contaminación atmosférica	En la actualidad el estudio de la actividad eléctrica ha ganado gran interés en Cuba. De ahí que en la presente investigación se realiza un análisis preliminar de la intensidad de descargas eléctricas, en el período 2018-2022 en zonas industriales de gran interés correspondientes a la región de La Habana-Artemisa-Mayabeque. El objetivo del trabajo fue determinar el comportamiento de la intensidad, así como su relación con la conductividad que puedan generar las concentraciones de aerosoles cerca de la superficie. Para el desarrollo de trabajo se utilizaron datos de descargas eléctricas obtenidos de la estación receptora de descargas Earth Network, ubicada en Casablanca, La Habana. También fueron utilizados datos de partículas PM 2.5 y CO <sub>2</sub> , de mediciones realizadas en estas instalaciones. Para el procesamiento de datos se utilizaron algoritmos de programación en C++, así como se determinó la correlación de Pearson entre la intensidad y la concentración de contaminantes. El análisis de los resultados permitió determinar una tendencia creciente de los días con tormentas en los meses de enero, abril y noviembre para el período poco lluvioso, mientras que julio, agosto y octubre para el período lluvioso. En el caso de la intensidad los meses de junio, julio agosto y septiembre fueron los que mayor intensidad mostraron con valores que oscilaron entre 45 y 135 kA. Se observó una cierta correlación entre los aerosoles específicamente partículas PM <sub>2.5</sub> y concentraciones de CO <sub>2</sub> , en la región de estudio sobre todo en los meses que mostraron tendencia creciente en la actividad eléctrica.
Keywords:	Abstract
lightning thunderstorms intensity of lightning atmospheric pollution	At present, the study of lightning in has gained great interest in Cuba. Hence, in the present investigation, a preliminary analysis of the intensity of lightning is carried out, in the period 2018-2022 in industrial zones of great interest corresponding to the Havana-Artemisa-Mayabeque region. The objective of the work was to determine the behavior of the intensity, as well as its relationship with the conductivity that can be generated by the concentrations of aerosols near the surface. For the development of work, lightning data obtained from the Earth Network discharge receiving station, located in Casablanca, Havana, were used. PM 2.5 and CO <sub>2</sub> particle data from measurements made at these facilities were also used. For data processing, programming algorithms in C++ were used, as well as the Pearson correlation between intensity and concentration of pollutants was determined. The analysis of the results allowed determining a growing trend of the days with storms in the months of January, April and November for the dry season, while July, August and October for the rainy season. In the case of intensity, the months of June, July, August and September were the ones that showed the greatest intensity with values that ranged between 45 and 135 kA. A certain correlation was observed between aerosols, specifically PM <sub>2.5</sub> particles, and CO <sub>2</sub> concentrations, in the study region, especially in the months that showed an increasing trend in lightning.

Recibido: 26 de septiembre de 2022

Aceptado: 28 de noviembre de 2022

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

## 1. Introducción

Las tormentas eléctricas son consideradas unos de los eventos atmosféricos más peligrosos, además de generar un deterioro en las condiciones del tiempo que a su vez puedan producir la ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos que generalmente tienen asociados. Igualmente se consideran la principal causa de muerte por fenómenos atmosféricos en algunos países, como es el caso de Cuba, donde generalmente mueren 65 personas anualmente, (Valderá & García, 2018). Su génesis está relacionada principalmente con las diferencias de temperaturas que rompen la estabilidad en cierto punto de la troposfera, lo que provoca la formación de nubes de gran desarrollo vertical, en especial las de tipo cumulonimbos, que son consideradas como la nube madre, (Martínez et al., (2004); Aguilar et al., (2005 a).

Según el vocabulario internacional de la OMM, 1992; una tormenta eléctrica es definida como una descarga brusca de electricidad que se manifiesta por un resplandor breve (relámpago) y por un ruido seco o un estruendo sordo (trueno); suelen estar acompañadas de precipitación en forma de chubascos, lluvia, hielo granulado o granizo y en ocasiones de nieve.

Sobre las causas de su origen, se han desarrollado estudios que demuestran el papel que juegan los hidrometeoros dentro de la nube de tormenta, que a su vez dependen de ciertas peculiaridades, ya sean las condiciones de la atmósfera en un momento determinado, la distribución espacial y temporal de la misma, así como evolución de la intensidad y severidad en la que se desarrolla este fenómeno (Halder, 2021).

En este sentido se han llevado a cabo disímiles investigaciones dentro de las que se pueden mencionar los realizados por, Brook et al., 1993; Ludlam, 1980 y Houze, 1989; Martín, que demostraron los mecanismos primarios para su génesis. Otros trabajos se han dirigido al análisis de la intensidad como los desarrollados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts Veliz et al., (2019), obteniendo que el incremento de la temperatura global que está experimentando el sistema climático, genera una mayor energía disponible en el mismo y a su vez una mayor convección, por lo que se ha constatado que las tormentas son cada vez más intensas.

Si relacionamos este aumento de la energía en la atmósfera con el incremento de la conductividad y condiciones de la estratificación atmosférica en las capas baja de la troposfera (Fig. 1.1), se estimularía la captura de iones por los aerosoles cercanos a la superficie de la tierra los que hacen aumentar fuertemente el campo eléctrico llegándose a medir en condiciones de fuerte contaminación valores de campo eléctrico del orden de 500 v/m entre la carga espacial positiva y la tierra, resultados que fueron obtenidos por (Martín et. al 1992).

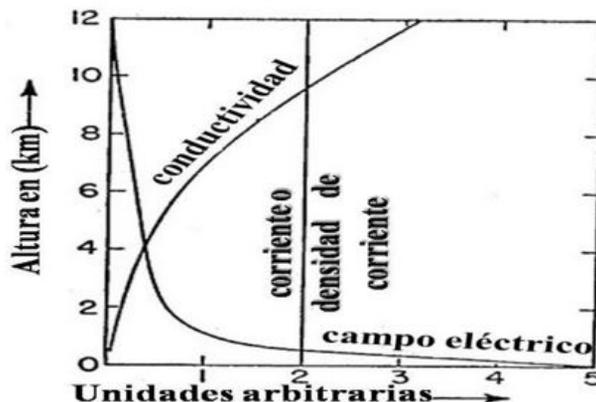


Figura 1.1. Propiedades eléctricas de la atmósfera bajo condiciones de estabilidad, (Charles et. al 1985). Traducido por el autor.

Se ha observado también que la mayor intensidad está relacionada con las nubes convectivas que poseen gran desarrollo por encima del nivel de congelación, ya que la existencia de ciertos tipos de elementos sólidos contribuye de forma significativa a la electrificación de la nube (Martín et al,1992).

Estos estudios son de suma importancia debido al impacto que puede tener sobre las actividades socioeconómicas, así como el riesgo que por sí misma puede entrañar, ya que los rayos son también responsables de un gran número de incendios forestales, además del daño que generan sobre líneas de conducción eléctrica, instalaciones industriales y para la generación de energía renovable y el suministro de agua a la población.

A pesar del desarrollo de estos trabajos en Cuba y el mundo, aún existen líneas de investigación que carecen de información, como es el caso de la relación entre la intensidad de las descargas eléctricas con la contaminación atmosférica, lo que ayudaría a mitigar daños que puedan generar a pesar de ser imposible erradicar la ocurrencia de este fenómeno natural.

De ahí el **objetivo general** del trabajo es analizar la intensidad de descargas eléctricas y su posible relación con las concentraciones de aerosoles que pueden aportar mayor conductividad cerca de la superficie en la franja norte de Artemisa-La Habana-Mayabeque.

## 2. Materiales y métodos

La zona de estudio corresponde con la Zona Especial de Desarrollo Mariel en la provincia Artemisa; refinería Níco López en La Habana; planta ENERGAS. SA, en Boca de Jaruco, Mayabeque; a la franja norte de Artemisa-La Habana-Mayabeque; planta ENERGAS. SA Puerto Escondido, Mayabeque; Zona Industrial de Matanzas. (Fig. 2.1).

## 2.1 Caracterización climática de las zonas de estudio.

Posee un clima tropical que es templado debido a la posición de la isla dentro del cinturón de los vientos alisios y por las cálidas corrientes marinas. Las corrientes del Golfo causan una gran influencia oceánica que se acentúa en las costas de esta región. Las precipitaciones son abundantes en octubre y septiembre y bastante escasas entre marzo y abril. Las temperaturas medias se comportan cercanas a los 25°C, la humedad relativa es generalmente alta, con valores que oscilan entre el 75% y el 95%; por su posición geográfica se impone la presencia de las brisas marinas en el litoral norte, la confluencia de las mismas, unido al calentamiento diurno puede dar lugar a la ocurrencia de tormentas eléctricas en localidades del interior durante la tarde. En la temporada de junio a noviembre puede verse afectada por influencia de ciclones tropicales.

El estudio de la densidad de descargas eléctricas, pese al gran desarrollo científico-tecnológico en la actualidad, sigue siendo un tema joven aún, pero de gran interés para la meteorología y el país en general, debido al impacto y a las consecuencias que estas pueden ocasionar, se escoge esta zona para tomar provecho de las características físicas y geográficas de esta región, además del desarrollo meteorológico alcanzado en esta provincia, considerando que los resultados que aquí se obtengan servirían como base para estudios futuros en otras regiones del país.

## 2.2 Datos utilizados

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron los datos obtenidos con la estación receptora de descargas eléctricas *Earth Networks* (Figura 2.2) ubicada en el Instituto de Meteorología Casablanca, la que ayudará a dar respuestas a la hipótesis de este trabajo.

Los datos obtenidos de la dirección web <https://sfericmaps.enterprise.earthnetworks.com/maps> en formato CSV durante el período 2018-2022.

Se analizó el material particulado PM2.5 y PM10, en los meses que mostraron tendencia creciente en los días con tormentas eléctricas como fue enero y agosto del 2022. Estos datos fueron obtenidos de las mediciones que han desarrollado especialistas de la Empresa GAMMA en la región de estudio.

Se analizaron datos de estabilidad atmosférica, extraídos de <https://www.ready.noaa.gov/READYmetus.php> para verificar la presencia de capas de inversión y como consecuencia su relación con la dispersión de contaminantes.

## 2.3 Procesamiento de los datos

Para el procesamiento de los datos se utilizaron algoritmos de programación de C++ que permitieron extraer las descargas eléctricas ocurridas en la Habana para cada



Figura 2.1. Zonas de estudio.

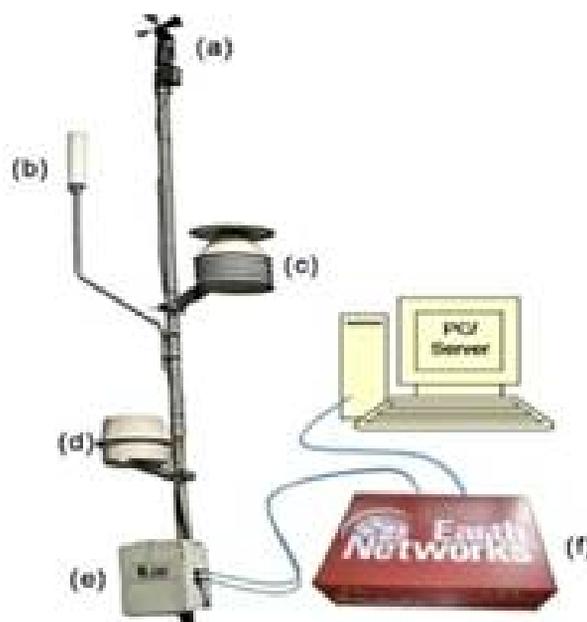


Figura 2.2. Earth Networks, detector total de rayos e instrumentos meteorológico. a) Sensor de velocidad y dirección del viento, b) sensor integrado de detección de rayos en la nube (IC) y de nube a tierra (CG), c) refugio el sensor, d) lluvia Gauge, e) Caja de Control remoto de descargas, f) Dispositivo de Red, Midya, 2018.

uno de los meses analizados. Fue utilizado el compilador de Windows CodeBlocks (Fig. 2.4)

## 2.4 Análisis de correlación

Para determinar la relación existente entre la intensidad de la descarga y la concentración de contaminantes, se utilizó la correlación lineal de Pearson, que se muestra en la ecuación 2.1. En dicha expresión los valores de (x) corresponden a los datos de intensidad, (y) con los contaminantes y (n) al tamaño de la muestra.

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

Se emplea la correlación, ya que esta expresa un grado de dependencia entre las variables de estudio. La correlación lineal intenta aproximar esta dependencia a una recta en la que cuanto más se acerque la nube de puntos, más significativa será dicha correlación.

En dependencia de la pendiente de la recta a la que se aproximen los puntos, la correlación lineal puede ser:

- Positiva o directa (si la pendiente es mayor que cero)
- Negativa o inversa (si la pendiente es menor que cero)

### 3. Discusión de los resultados

Para el análisis de la intensidad fue necesario realizar una clasificación de la misma, basándose en datos estadísticos de amperaje [tabla 3.1](#). De esta forma se obtuvo la siguiente clasificación, que es la primera de su tipo en Cuba y que será ajustada en próximos trabajos:

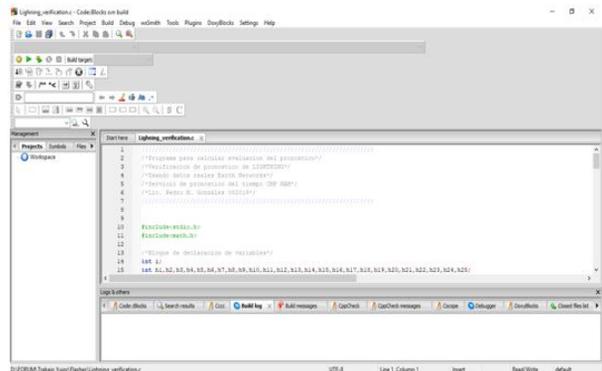
**Tabla 3.1.** Clasificación de la intensidad de descargas eléctricas.

Clasificación	Intensidad en kiloamperes (kA)
Débiles	≤ 50
Moderadas	50 - 100
Fuertes	≥ 100

#### 3.1 Comportamiento de los días con tormentas en la región de estudio. (Zonas Industriales de Mariel, La Habana y Matanzas).

Antes de comenzar el estudio de la intensidad, se determinaron los días con tormenta y la tendencia que han experimentado en la serie de datos. Los datos se dividieron en periodo poco lluvioso (PPLL) ([Fig.3.1 a, b, c](#)) y periodo lluvioso (PLL) ([Fig.3.1 d, e, f](#)), debido a la variabilidad de los sistemas que intervienen en las condiciones meteorológicas de la región. Obteniéndose para el caso del PPLL, que en el periodo analizado existió una tendencia creciente en los meses de enero, marzo, abril y noviembre con un promedio aproximado a los 4 días, como muestra la ([Fig.3.1 a, b, c](#)). La tendencia más significativa se encontró en el mes de enero y diciembre, en las tres regiones estudiadas estos resultados están en correspondencia con el incremento de la temperatura media del aire, como resultado de la disminución de masas de aire frías en la región de estudio.

Para el caso del periodo lluvioso ([Fig.3.1 d, e, f](#)), de igual manera la tendencia creciente en los días con tormentas no fue observada en todos los meses, si no que se concentró en junio, julio, agosto y octubre con un promedio de 18 días aproximadamente. Los mayores crecimientos fueron observados hacia la región de Matanzas. Estos resultados



**Figura 2.3.** Ambiente de trabajo CodeBlocks utilizado para analizar las descargas eléctricas.

están en correspondencia con otros estudios desarrollados por [García et al., 2018](#). En el resto de los meses, aunque no se muestra una tendencia creciente de la actividad, si se puede observar una cifra significativa de días con tormenta, respondiendo a esto a las condiciones propias del período.

#### 3.2 Comportamiento mensual de la intensidad de descargas atendiendo a la clasificación realizada.

Los gráficos de la [Fig. \(3.2\)](#) muestran el comportamiento mensual en el período de estudio de la intensidad de descargas atendiendo a la clasificación que se presenta en la ([Tabla 3.1](#)) como parte del trabajo.

El análisis de la Zona Industrial Mariel [[Fig. 3.2\(a, b, c\)](#)] mostró que la mayor concentración de la actividad se correspondía a descargas con amperajes inferiores a 50 (kA), llegando a alcanzar picos de aproximadamente 3250 flashes débiles, en cuanto al resto de las clasificaciones se observan entre 2 y hasta 10 descargas moderadas y fuertes respectivamente para algunos meses. Los meses de mayor actividad se corresponden con julio agosto y septiembre, mientras que las mayores intensidades son notorias en los meses de abril, junio y agosto y que están relacionados con los procesos típicos que se generan en estos meses, en el caso de abril y junio, aun la troposfera media y alta está lo suficientemente fría y los niveles bajos más calientes por lo que se generan fuertes corrientes ascendentes que llegan a desencadenar potentes cumulonimbos, resultados estos que concuerdan con los descrito por ([Pozo et al., 2004](#)). Para el mes de agosto sucede similar a lo descrito con anterioridad, sin embargo, el distintivo en este mes, está relacionado con la presencia de bajas frías superiores que garantizan aire frío en los niveles más altos de la troposfera

Para la Zona Industrial de la Habana [[Fig. 3.2\(d, e, f\)](#)] se obtuvo que el comportamiento fue similar, notándose actividad en todo el rango de la clasificación para el mes de septiembre, siendo este el mes de mayor intensidad en esta

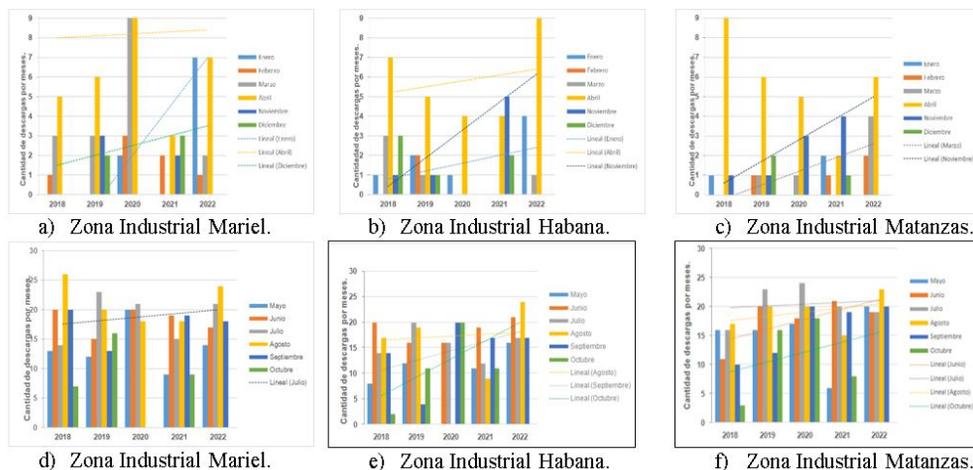


Figura 3.1. Comportamiento de los días con tormenta 2018-2020 (a , b , c) período poco lluvioso; (d, e, f) período lluvioso.

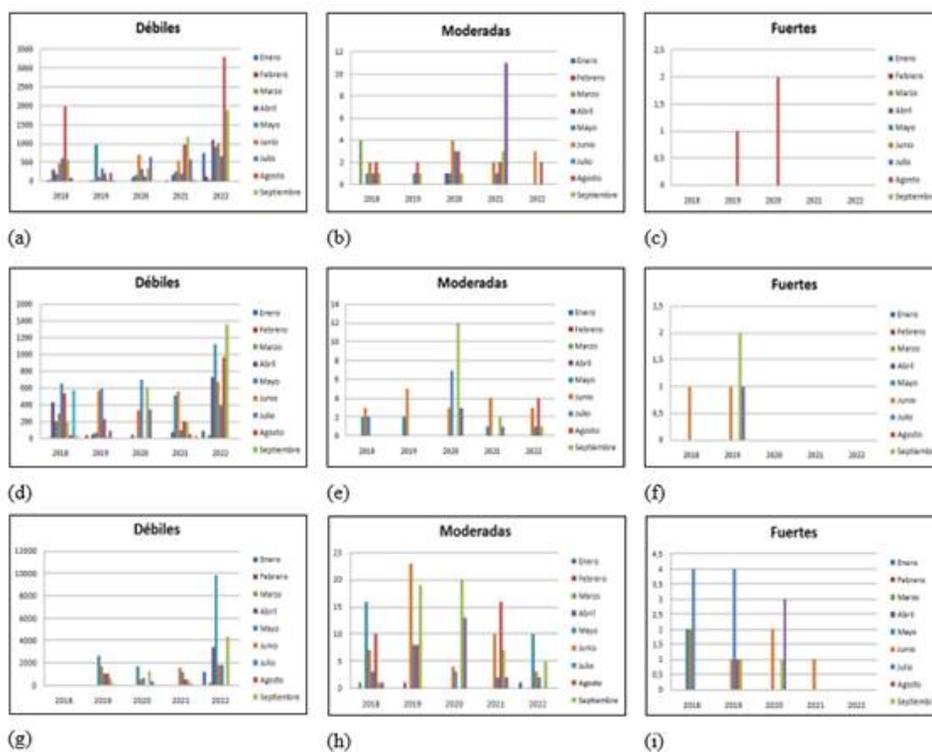


Figura 3.2. Comportamiento mensual de la intensidad de descargas en la Zona Industrial de La Habana de acuerdo a la clasificación realizada.

región, con valores máximos de 1350, 12 y 2 para descargas débiles moderadas y fuertes respectivamente, coincidiendo con el mes de mayor intensidad para cada uno de los casos.

En el caso de la Zona Industrial de Matanzas [Fig. 3.2(g, h, i)] no difiere significativamente de los resultados obtenidos en el resto de las regiones, siendo relevante el mes de julio con los valores más altos de acuerdo al rango utilizado. La actividad más significativa como en el resto de las regiones se reflejó en descargas de amperajes ínfimos a 50 (kA). En esta zona es relevante además como ha ido

disminuyendo la actividad eléctrica con amperajes superiores a los 100 (kA). Llegando a no registrarse descargas de esta clasificación en los últimos años.

### 3.3 Comportamiento anual de la intensidad de descargas eléctricas.

El comportamiento anual de la intensidad de descargas muestra, como la mayor densidad de la actividad eléctrica se encuentra marcada por amperajes inferiores a 50 (kA), siendo esta la más relevante, como muestran los gráficos de

la (Fig. 3.3). Se registran flashes con estas características en todos los años del periodo de estudio, no así para la actividad moderada y fuerte. Los años que muestran mayores actividades eléctricas son 2021 y 2022 mientras que los de mayor intensidad son 2018, 2019 y 2020.

La actividad eléctrica más notable se corresponde con la zona industrial de la Habana [Fig.3.3 (a)] teniendo en cuenta la cantidad total de descargas en los períodos, llegando a alcanzar cifras superiores a 5000 flashes.

La mayor intensidad se observó en la zona industrial de Matanzas [Fig.3.3 (c)], registrándose la mayor cantidad de descargas, superiores a 100 (kA). También es notable el incremento de la actividad eléctrica clasificada como débil, superando los 1000 flashes para cada región en cada uno de los años analizados, exceptuando 2018 en la zona industrial de Matanzas, donde fue más significativa la actividad eléctrica moderada y fuerte. De acuerdo a la clasificación utilizada, solo muestra tendencia creciente en el período, la actividad eléctrica débil.

### 3.4 Relación entre el material particulado PM 2.5 y PM 10 con la cantidad de rayos.

En el trabajo se presentan los resultados para el mes de enero y agosto [Fig. 3.4 (a, b)], considerando que mostraron un incremento tanto en los días con tormentas como en la intensidad. En este sentido se aprecia que los días con mayor actividad de rayos coinciden con días en los que las concentraciones de PM2.5 y PM10, fueron elevadas figura 3.4, resultados que fueron similares a los encontrados

por Kar et al., 2014 en la región de Taipéi de China y el trabajo de Gharaylou et al., 2021 en Teherán.

Sin embargo, es válido decir que días con elevada concentración de aerosoles, no significa que se produzcan rayos, estos a su vez dependen de que las condiciones meteorológicas sean favorables para ellos, muestra de esto es lo ocurrido los primeros cinco días del mes de enero 2022 [Fig. 3.4 (a)], donde se aprecia un máximo de aerosoles, sin embargo, las condiciones meteorológicas no eran favorables para la ocurrencia de tormentas eléctricas. Desde que fue instalada la estación detectora de rayos en Casablanca, es primera vez que se desarrolla una relación de este tipo.

Los resultados descritos con anterioridad guardan relación con la estratificación atmosférica. En el caso del mes de enero, se observa un pico de contaminación que coincide con gran actividad eléctrica el día 17, la (Fig. 3.5 (a)) muestra el sondeo correspondiente con las 12:00 UTC, mostrando condiciones de estabilidad atmosférica correspondientes a una inversión por subsidencia próxima a la superficie entre 950-700 hPa.

El estudio de Carrasco, (2018) muestra elementos que relacionan las condiciones de la atmósfera en presencia de aerosoles y la estabilidad atmosférica. En este sentido cabe resaltar la relación entre las concentraciones de material particulado y condiciones meteorológicas, que favorecieron la actividad eléctrica.

La segunda imagen (Fig. 3.5 (b)) muestra el sondeo del día 31 de agosto de 2022. Analizando los resultados

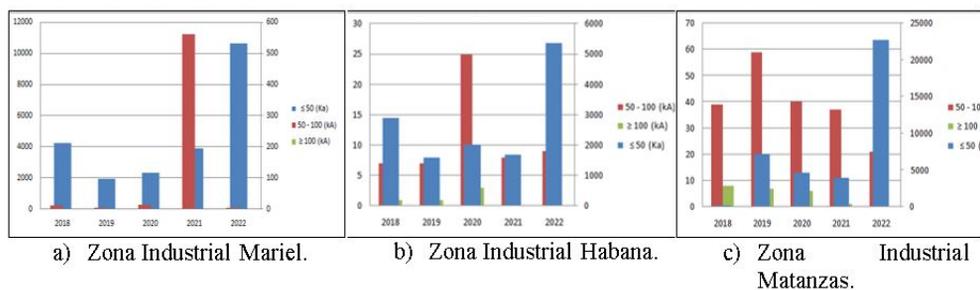


Figura 3.3. Comportamiento anual de la intensidad de descargas eléctricas en la región de estudio.

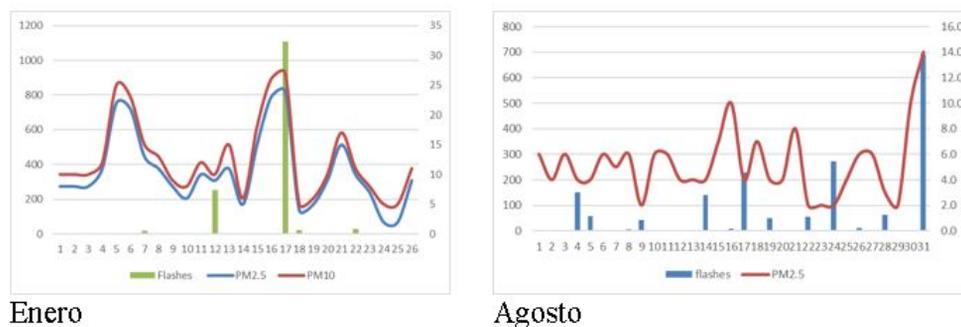


Figura 3.4. Total de rayos y concentraciones de partículas PM 2.5 y PM 10.

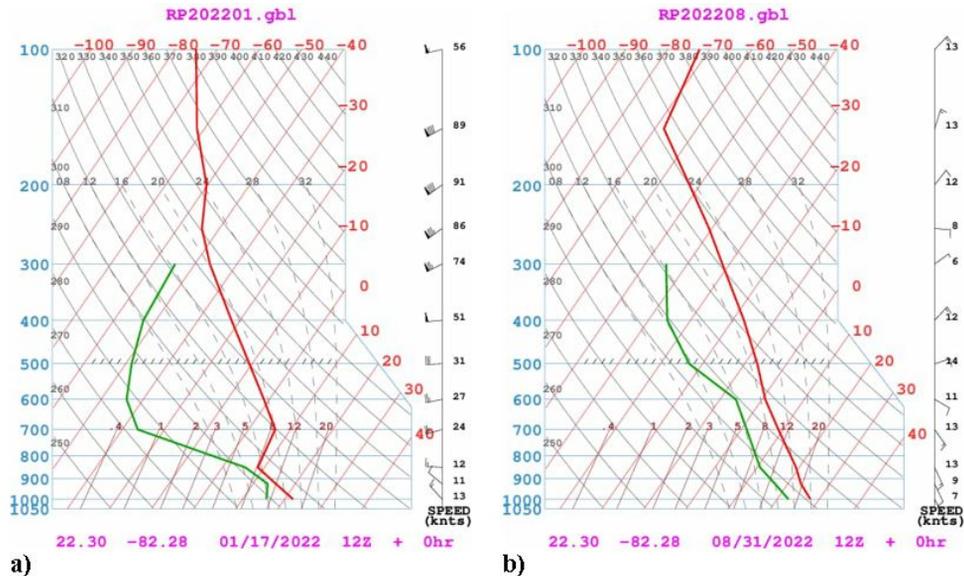


Figura 3.5. Sondeos correspondientes a los días 17 de enero y 31 de agosto del 2022.

obtenidos en el **epígrafe 3.4**, en correspondencia con el diagrama termodinámico, se observa a una mayor altura la inversión por subsidencia ubicada por encima de los 600 hPa, coincidiendo en este caso con la isoterma 0°C, condiciones que son típicas de esa época del año.

Este comportamiento favorece un mayor crecimiento de las nubes convectivas, tal como describe (Martín et. al 1992), quien expone que las nubes con desarrollo vertical por encima del nivel de congelación (isoterma 0°C) son las que producen actividad eléctrica más significativas. Además, se observa nuevamente la coincidencia de un pico de máxima actividad eléctrica y concentraciones de aerosoles.

Por lo antes expresado se puede concluir que, en la región de estudio, bajo condiciones de elevadas concentraciones de material particulado en escenarios meteorológicos favorables para la actividad eléctrica, esta última se incrementa de manera significativa.

#### 4. Conclusiones

- En el área de estudio se han incrementado los días con tormentas, sobre todo en los meses de enero, marzo, abril y noviembre en el PPLL con un promedio entre 7 y 9 días, mientras que para el PLL muestran tendencia creciente junio, julio, agosto y octubre con aproximados entre 20 y 25 días de actividad.
- Los meses de mayor intensidad fueron junio, julio, agosto y septiembre con valores entre 45 y 135 kA.
- Las descargas entre 0-50 kA (débiles) se incrementaron en el periodo analizado, mientras que las de 50-100 (moderadas) y superiores a 100 kA (fuertes), mostraron una tendencia a la disminución.

- La zona industrial de Matanzas fue la que mayor crecimiento de intensidad mostró en el periodo analizado.
- Se observó que en los días que se producen tormentas eléctricas y existen altas concentraciones de material particulado PM 2.5 y PM 10, se incrementó la frecuencia de rayos.

#### 5. Recomendaciones

- Extender el estudio a otras regiones industriales del país.
- Relacionar el comportamiento de la intensidad con las concentraciones de dióxido de azufre, ozono y óxido de nitrógeno.
- Comparar los resultados obtenidos por Álvarez et. al, 2021 sobre la tendencia de días con tormentas.
- Profundizar en el estudio de las clasificaciones por intensidades por descargas eléctricas.

#### 6. Bibliografía

- Aguilar, Naranjo L., Carnesoltas M. (2005 a). Informe de Resultado Científico. Creación de un Sistema Experto de condiciones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas para el periodo poco lluvioso en Cuba, del proyecto “Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de Tormentas Locales Severas en Cuba. Un esquema para su predicción. Instituto de Meteorología. 35 pp.
- Brooks, H. E., C. A. Doswell III, and L. J. Wicker, 1993: STORMTIPE: A forecasting experiment using a three-dimensional cloud model. *Wea. Forecasting*, 8, 352-362.

- Carrasco Carrasco, P. D. (2018). Efecto de la estratificación atmosférica en la distribución vertical de aerosoles segregados por tamaño en la atmósfera de Santiago.
- Escudero, L.Á., Montejó, I. F., & Morales, R.Á. (2006). Análisis de la tendencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, de tormenta con lluvia y de días con tormenta para el territorio cubano. *Revista Cubana de Meteorología*, 2006, vol.13, no 1.
- 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.
- Gharaylou, M., Sadr, D. P., Aliakbaridokhti, A., & Mahmoudian, A. (2021). Investigation of the relationship between air pollution and lightning during thunderstorm events of the years 2009-2013 in Tehran.
- Halder, M., Mukhopadhyay, P., Halder, S., Kanase, R., & Pawar, S. (2021, December). A Lightning and Hail Storm prediction system using WRF at Cloud resolving scale. In *AGU Fall Meeting Abstracts* (Vol. 2021, pp. A45V-2152).
- Houze, R. A., Jr., 1993. *Cloud Dynamics*. International Geophysics Series. Vol. 53., 573 pp. Academic Press.
- Kar, S. K., & Liou, Y. A. (2014, September). Analysis of cloud-to-ground lightning and its relation with surface pollutants over Taipei, Taiwan. In *Annales Geophysicae* (Vol. 32, No. 9, pp. 1085-1092). Copernicus GmbH.
- Kummerow, C., Barnes, W., Kozu, T., Shiue, J., & Simpson, J. (1998). The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 15(3), 809-817.
- Ludlam, F.H. 1980. *Clouds and storms: The behavior and effect of water in the atmosphere*. Pennsylvania State University Press.
- Martin, D., Georgescu, N., Radu, A., & Cojocaru, G. (1992). Electronic measurement system for pulse generators supplying industrial pollution abatement electro-filters.
- Midya, S. K., Pal, S., Dutta, R., Gole, P. K., Saha, U., Chattopadhyay, G., & Hazra, S. (2018). Preliminary results from the total lightning detector-cum-mini weather station installed at the Calcutta University. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-13.
- Pozo, D. R., Martínez, D., Marín, J. C., Borrajero, I., & Bezanilla, A. (2004). Estudio de la influencia de la cizalladura vertical del viento en los altos niveles en la formación y desarrollo de una tormenta ocurrida el día 21 de julio de 2001 en Nuevitas, Camagüey. *Revista Cubana de Meteorología*, 11(2).
- OMM (1992): *Vocabulario Meteorológico Mundial* (1992). OMM No. 182, 784 pp.
- Oficina Nacional de Estadística e Información (ONE) (20/06/2019): [www.one.cu](http://www.one.cu)
- Valderá N. & García E. A. (2013). Comportamiento de las muertes por fulguración ocurridas en Cuba durante el periodo 1987 - 2012 [Artículo]. *Memorias del VII Congreso Cubano de Meteorología, La Habana Cuba*. [https://www.researchgate.net/328365232\\_Comportamiento\\_de\\_las\\_muertes\\_por\\_fulguracion\\_ocurridas\\_en\\_Cuba\\_durante\\_el\\_periodo\\_1987-2012](https://www.researchgate.net/328365232_Comportamiento_de_las_muertes_por_fulguracion_ocurridas_en_Cuba_durante_el_periodo_1987-2012).
- Véliz, K. D., Kaufmann, R. K., Cleveland, C. J., & Stoner, A. M. (2017). The effect of climate change on electricity expenditures in Massachusetts. *Energy Policy*, 106, 1-11.
- Sverre Petterssen, PH. D. (1968). *Introducción a la Meteorología*. 156-157pp

**Conflicto de interés.** Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

**Contribución de autoría: Concepción de la idea:** Yuniór Javier Gailes Sierra y Carlos Manuel González Ramírez. **Manejo de los datos:** Yuniór Javier Gailes Sierra. **Análisis de los datos:** Yuniór Javier Gailes Sierra y Carlos Manuel González Ramírez. **Investigación:** Yuniór Javier Gailes Sierra y Carlos Manuel González Ramírez. **Metodología:** Carlos Manuel González Ramírez. **Supervisión:** Carlos Manuel González Ramírez. **Validación de los resultados:** Carlos Manuel González Ramírez