

LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA ATMOSFÉRICA EN ARGENTINA. ESTIMACION DE LA TASA DE MORTALIDAD ANUAL POR ACCIÓN DE CAIDAS DE RAYOS

M. Gabriela Nicora ^{a*}, Eduardo J. Quel ^a, Rodrigo E. Bürgesser^b, Eldo E. Ávila^b, Alejandro Rosales^c, Jacobo O. Salvador ^d, Raúl D'Elia^a,

^aCEILAP, UNIDEF (MINDEF - CONICET), UMI-IFAECI-CNRS 3351, -
Juan Bautista de La Salle 4397 - B1603ALO Villa Martelli, Argentina)

^bFaMAF, Universidad Nacional de Córdoba, IFEG-CONICET

^cUniversidad Nacional de la Patagonia SJB, Facultad de Ingeniería, Departamento de Física

^dCentro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (MINDEF-CONICET), Rio Gallegos, Argentina-

Recibido: 31/10/2013; aceptado: 17/11/2014

Disponer de información de la actividad eléctrica en el territorio nacional es un elemento fundamental para la vigilancia atmosférica. Tanto para aplicaciones de relevancia, en cuestiones de seguridad e infraestructura, así como variable meteorológica, los valores de días de tormenta en las diferentes regiones del país, son una herramienta simple y poderosa para poder evaluar la atmósfera y los futuros cambios en ella. Los objetivos del presente trabajo son realizar un estudio de la evolución de la eficiencia de detección de descargas eléctricas de la red global terrestre World Wide Lightning Location Network (WWLLN) dentro del territorio nacional, comparar los datos de dicha red con los datos suministrados por el SMN y, en función de la evaluación de dicha información, confeccionar los mapas isoceraúnicos de la República Argentina para el periodo 2005-2012. Estos datos se utilizan para estimar la tasa de mortalidad anual por un rayo en la región. La estimación se basa en un modelo propuesto por Gomes Chandima, y Ab Kadir [1]. Los resultados obtenidos podrían ayudar a fomentar conductas de protección en la población.

Palabras clave: electricidad atmosférica, WWLLN, rayos, muertes.

To have information of electrical activity in the country is a key element for atmospheric monitoring. In the fields of applications in security and infrastructure issues and weather variables, the values of stormy days in different regions of the country are a simple and powerful tool to evaluate the atmosphere and future changes. The objectives of this study are to conduct a study of the evolution of the efficiency of lightning detection global terrestrial network World Wide Lightning Location Network (WWLLN) within the country, comparing this data with the supplied by the SMN and, depending on the evaluation of that information, make isoceraunics maps of Argentina for the period 2005-2011. These data are used to estimate the annual death rate by lightning in the region. The estimation is based on a model proposed by Chandima Gomes, and AbKadir [1]. The obtained results could help to promote protective behaviors in the population

Keywords: atmospheric electricity, WWLLN, lightning, death.

*gabriela@blueplanet.com.ar

I. INTRODUCCIÓN

La actividad de los rayos se asocia a varios procesos atmosféricos y puede ser un parámetro importante para estudiar diferentes eventos climatológicos. Conocer la tasa de actividad eléctrica atmosférica también es relevante para la vida humana y las infraestructuras ya que estos eventos son capaces de causar importantes daños tanto materiales como en vidas humanas.

The World Wide Lightning Location Network (WWLLN) [2] es una red de suelo con observaciones a escala mundial a partir de 2004. La base de datos de WWLLN es ahora lo suficientemente extensa para poder realizar estudios sobre la variabilidad estacional, diurna y sinóptica de la actividad eléctrica atmosférica sobre la mayor parte del globo. La red WWLLN consta en la actualidad de aproximadamente 70 estaciones, las cuales reciben y procesan las ondas de radio de muy baja frecuencia (VLF) generadas por una descarga. Esta red utiliza la técnica del tiempo de llegada del grupo (TOGA) de las ondas esféricas para ubicar la posición de una descarga y tiene un error espacial de ~5 km y un error temporal menor a 10ms [3,4,5,6,7].

La Figura 1 muestra un mapa con la ubicación de las estaciones WWLLN según el orden cronológico de instalación. Como se puede observar, la red cuenta con cuatro estaciones instaladas en la Argentina, la más antigua en la ciudad de Córdoba (FAMAF), otras dos ubicadas en la Patagonia (Universidad de la Patagonia en Trelew y en el Observatorio de la Patagonia Austral (OAPA) en Río Gallegos), y la más reciente en la División LIDAR en Buenos Aires. A nuestro entender, estas estaciones, más las estaciones ubicadas en América del Sur, proporcionan una buena cobertura de todo el territorio argentino.

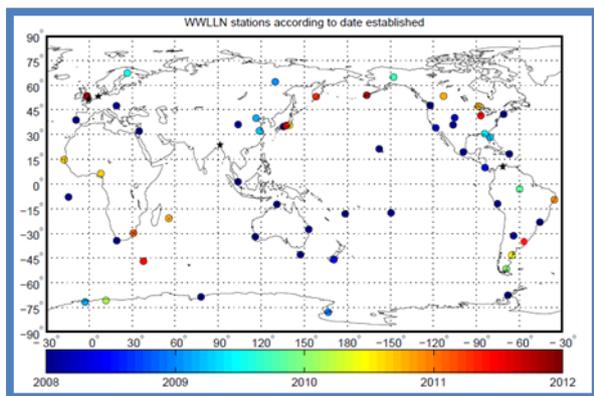


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la WWLLN

Los datos de descargas atmosféricas detectadas por WWLLN durante 2005-2012 se utilizan con el fin de hacer un análisis de la actividad cerámica en la Argentina.

Por otro lado, el número de muertes como consecuencia de los desastres naturales, especialmente por caídas de rayos, es una asignatura pendiente en la Argentina. Por lo tanto, las tasas anuales de mortalidad por acción de descargas eléctricas fueron estimados para las diferentes regiones del país en base a los datos

analizados de descargas eléctricas atmosféricas ya un modelo teórico propuesto por Gomes y AbKadir[1].

De acuerdo a la publicación Storm Data de la US National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) [8], de los desastres naturales (inundaciones, rayos, tornados y huracanes), los rayos son los eventos naturales que presentan la segunda mayor mortalidad en los Estados Unidos [10].

De acuerdo con Storm Data el promedio de muertes por año en USA, durante los años 1966 y 1995, fue de 85. La estadística de los últimos años de la República Argentina entre 2005 y 2010 es de 15 muertes por año, teniendo máximos de 17 muertes, según datos de DEIS [9]. Según modelos de diferentes autores, esta estadística pareciera estar subestimada ya que algunos modelos reportan valores más cercanos a 50 muertes por año [11].

Debido a las diferencias entre los valores reportados por el Ministerio de Salud de la República Argentina (DEIS) y trabajos previos [11], es que se comenzó a recopilar información en diferentes medios de prensa, y se utilizó un modelo de la cantidad de muertes por acción de rayos por provincia.

II. MÉTODOS

Mapas Isocerámicos

Los días de tormenta (Td) es el número medio anual de días con tormentas eléctricas en una región determinada. Los mapas isocerámicos muestran las regiones con el mismo valor de Td en un período determinado de tiempo. En base a los datos proporcionados por la WWLLN, un día de tormenta se definió como un día en el que la red detecta al menos un evento en un área determinada. El análisis se realizó mediante el uso de diferentes resoluciones espaciales para definir el tamaño del área que mejor coincida con los días de tormenta proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Cabe señalar que, aunque los métodos utilizados hasta el presente por el SMN son por medio de observadores, la comparación con los datos de la red WWLLN es factible ya que en ambos casos no se discrimina entre descargas nube-nube o nube-tierra. La ventaja que presenta trabajar con los datos globales obtenidos por la red WWLLN, es que se puede utilizar una grilla equiespaciada en todo el territorio, lo cual permite un mejor trabajo de interpolación de los promedios anuales. Debido a que cada una de las estaciones puede detectar ondas de VLF provenientes de varios miles de km, se puede determinar la actividad eléctrica de regiones remotas, no habitadas y hasta inaccesibles para el hombre.

Los datos de los días de tormenta obtenidos por observadores humanos en 15 estaciones del SMN fueron analizados: Ezeiza, Salta, Iguazú, Córdoba, Río Gallegos, Observatorio de Buenos Aires, Aeroparque, Bariloche, Posadas, Paso de los Libres, Tucumán, Laboulaye, Comodoro Rivadavia, Santa Rosa y Bahía Blanca. Se escogieron estas estaciones para asegurar la calidad de los datos de Td ya que todas estas estaciones

se encuentran dentro de aeropuertos nacionales o internacionales. El valor T_d , utilizando datos WWLLN, se calculó sobre una celda centrada en cada una de estas 15 estaciones para diferentes tamaños (Δlat y Δlon) (Figura 2). Los datos obtenidos se compararon con los datos SMN. Los resultados encontrados, en las 15 estaciones, sugieren que una celda de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ es la mejor resolución espacial para hacer los mapas isoceránicos sobre la base de los datos de rayos WWLLN.

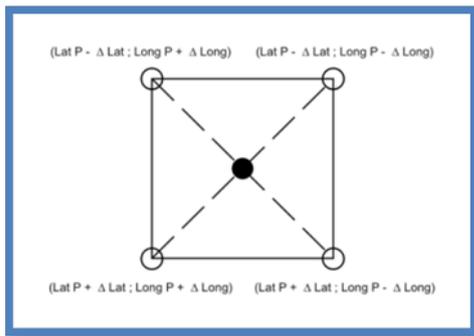


Figura 2. Celda.

La figura 3 muestra el número medio anual de días con tormentas eléctricas en Argentina en base a los datos WWLLN. La región noroeste del país muestra el mayor valor encontrado en el país con más de 130 días tormentas eléctricas al año. La región de la Patagonia (sur) presenta el menor número de días con tormenta.



Figura 3: Mapa Isoceránico (IRAM 2184-1/AEA 9305-1).

Con el fin de tener un panorama más claro de la distribución espacial de la actividad de rayos, el territorio argentino se dividió en cuatro regiones según el número de días de ocurrencia de tormentas eléctricas. La figura 4 muestra un mapa con las regiones con días de tormentas eléctricas según: $0 < T_d < 5$ (azul), $5 < T_d < 40$ (verde), $40 < T_d < 60$ (amarillo) y $T_d > 60$ (rojo).

Es posible observar tres regiones con valores de días de tormenta eléctrica substancialmente alto. Estas regiones son:

- Sub-región andina (región del noroeste). La actividad eléctrica está relacionada con la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), la orografía de la región y el jet de bajo nivel del sur (SALLJ).
- Región Mesopotamia (región noreste). La actividad eléctrica está relacionada con la ZCIT y SALLJ.
- Región central (región Centro). La actividad eléctrica está relacionada con orografía de la región y la interacción entre los sistemas frontales y las masas de aire húmedo inestable debido al calentamiento del suelo en la pampa semiárida.

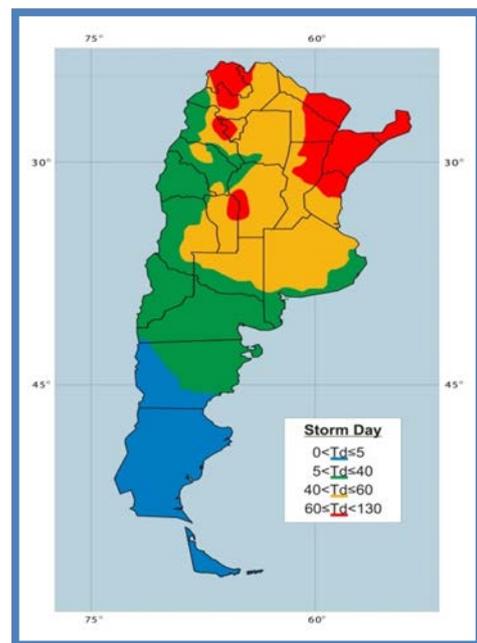


Figura 4: Distribución espacial de las regiones con igual valor de T_d .

Estudio de Descargas a Tierra

En general uno de los parámetros sobre descargas eléctricas atmosféricas más utilizados para el diseño de modelos de protección contra las mismas ha sido la densidad de descargas eléctricas atmosféricas a tierra. Este parámetro se define como el número de descargas eléctricas por unidad de tiempo y por unidad de área. Sin embargo, este parámetro no es fácil de medir. Por lo cual, se han hecho esfuerzos considerables para relacionar los días de tormenta con este parámetro.

Se han propuesto diferentes relaciones entre la densidad de descargas atmosféricas a suelo (N_g) y el número de días de tormenta, de las cuales la mayoría proponen una dependencia exponencial. Para el presente trabajo se utiliza la fórmula de Anderson [12]

$$N_g = 0.04 * Td^{1,25} \quad (1)$$

La (Ec. 1) fue elegida para calcular la densidad de descargas eléctricas atmosféricas a suelo, ya que es la utilizada por la norma IRAM 2184-1-1.

Modelo de la muerte por acción de descargas eléctricas atmosféricas a tierra

El estudio del número de víctimas por desastres naturales es uno de los temas pendientes en el país, especialmente el relacionado a las muertes por acción de rayos. Para hacer este estudio se tomaron los datos del Ministerio de Salud "Cantidad de defunciones causadas por rayo (Cód. CIE 10 X33). Este dato excluye fuego causado por rayo (X00-X09) y traumatismo por caída de árbol u otro objeto causada por rayo (W20.-) Por jurisdicción de ocurrencia Años 2005-2011". [9]

Diferentes estudios han analizado la tasa de mortalidad causada por un rayo [13,10, 11].Gomes y Ab Kadir [1] propusieron una relación entre el número de muertes y un factor demográfico, la cual se presenta en la siguiente ecuación:

$$\sigma = \beta (ANg)^\alpha DF \quad (2)$$

Dónde:

- σ número anual de muertes en una región determinada
- N_g =Tasa de descarga(km⁻² año⁻¹)
- A = área de trabajo (Km²)
- DF = Factor demográfico
- α y β parámetros constantes

Se define al Factor Demográfico (DF) como la relación entre la densidad de población (PD), y la Fracción de Población urbana (UF) según la ecuación

$$DF = \frac{PD}{UF} \quad (3)$$

Podemos observar que el número de muertes no sólo depende de la cantidad de descargas a suelo, sino que también tiene en cuenta la fracción de la población urbana.

Tomando el logaritmo natural en ambos términos de la Ecuación (3), la misma se puede expresar como

$$\ln \left[\frac{\sigma}{DF} \right] = \alpha \ln(A N_g) + \ln \beta \quad (4)$$

Mediante el uso de datos estadísticos del número anual de muertes encada provincia (estado) de Argentina y Brasil, se estimaron los parámetros α y β .

Las estadísticas de la población de ambos países se tomaron a partir de datos oficiales publicados por el Censo Nacional de Argentina y Brasil. Las cifras anuales de mortalidad para cada provincia fueron

reportadas por el Ministerio de Salud de Argentina. En el caso de cada uno de los estados de Brasil, los datos fueron obtenidos del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) de Brasil [14]. El valor del área de trabajo se tomó como el área correspondiente a cada provincia (estado).

Los valores de N_g para Argentina se calcularon por medio de la ecuación (1) utilizando los datos de la WWLLN. En cambio los datos de N_g para Brasil se tomaron de la norma ABNT NBR 5419, (2001) [15].

La Figura 5 muestra la relación entre $\ln(\sigma / DF)$ y $\ln(A N_g)$ con la mejor regresión lineal, que se representa por medio de la línea roja.

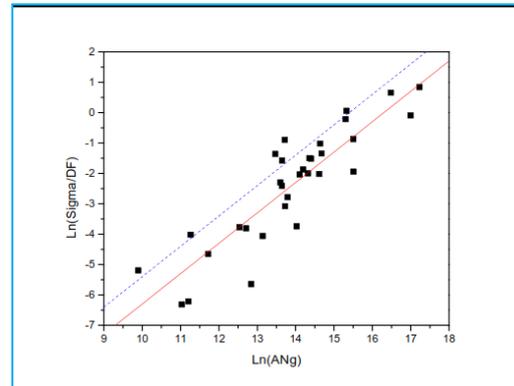


Figura 5 Correlación entre variables para el cálculo de α y β .

La constante α se relaciona con el método para determinar los valores de N_g , mientras que el parámetro β se asocia con el número de muertes registradas.

Los parámetros que mejor realizan el ajuste son:

$$\beta = e^{-16 \pm 1}$$

$$\alpha = (1.0 \pm 0.1)$$

$$R^2 = 0.7786$$

Con los valores pronosticados por el modelo, se clasificaron las provincias argentinas de acuerdo al riesgo de muerte por acción de una descarga a tierra y se preparó un mapa de vulnerabilidad. La Figura 6 muestra las diferentes regiones en función de su vulnerabilidad de muerte por acción de una descarga.

Para la clasificación de las provincias por su vulnerabilidad se tomó la cantidad de muertes por provincia como una distribución normal. Se realizó el estudio por cuartiles de los valores, el cual divide la distribución en cuatro bloques, siendo el valor del cuartil 0.5 correspondiente a la mediana de la distribución. Así que las provincias con valores de muertes entre el 0 y 0.25 (Primer cuartil) se clasificaron como de baja vulnerabilidad, entre 0.25 y 0.5 (Segundo cuartil) moderada, entre 0.5 y 0.75 (Tercer cuartil) alta y 0.75 muy alta.



Figura 6 Mapa de Vulnerabilidad..

Este modelo se calculó como modelo de mínimo y el espíritu del trabajo no es tener el valor exacto, sino poder conocer áreas de mayor vulnerabilidad de la población a las descargas eléctricas.

El mapa de vulnerabilidad muestra alguna diferencia significativa con el mapa isocerámico (Figura 4). Algunas regiones con baja actividad eléctrica muestran un alto riesgo, mientras que otras con alto nivel de días de tormenta muestran una menor vulnerabilidad. Esto demuestra la importancia de la fracción de la población urbana en el modelo.

III. CONCLUSIONES

Este estudio demuestra la viabilidad de utilizar los eventos detectados por la WWLLN para evaluar la actividad eléctrica en el territorio argentino.

El uso del modelo teórico presentado por Chadima y AbKadir[1] sobre Argentina y Brasil permite discriminar regiones con diferentes niveles de riesgo de muerte por descargas a suelo e identificar las regiones más vulnerables para promover conductas de protección en la población.

A pesar de que las constantes del modelo obtenidas con nuestro modelo difieren con las obtenidas por Gomes y al Kadir $\alpha=0,6$ y $\beta=1,7 \times 10^{-5}$, es importante resaltar que aunque los valores totales de defunciones varían el mapa de vulnerabilidad se mantiene igual.

A pesar de que Argentina no cuenta con información estadística confiable sobre las muertes por caídas de rayos a tierra, la búsqueda en los medios masivos de comunicación muestra que la mayoría de estas muertes

podrían ser evitables y en general están relacionadas con desconocimiento de medidas de protección por parte de la población.

Esperamos que este trabajo contribuya a mejorar el conocimiento sobre la actividad eléctrica en Argentina, para así ayudar a promover conductas de protección en la población.

IV. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer World Wide Lightning Location Network (<http://wwlln.net>), y a la colaboración entre más de 70 universidades e instituciones, para proporcionar los datos de localización de rayos utilizados en este trabajo. Además, los autores desean agradecer el Servicio Meteorológico Nacional por proporcionar los datos de días de tormenta, y la Dirección de Estadísticas e Información en Salud (DEIS) [9] para proporcionar la muerte a partir de datos de rayos, a Patricio Ballesteros para de su ayuda en el diseño de los gráficos y el Ing. Juan Carlos Arcioni por su apoyo en este tema.

III. REFERENCIAS

1. Chandima Gomes, M.Z.A. AbKadir, "A theoretical approach to estimate the annual lightning hazards on human beings", Atmospheric Research, Volume 101, Issue 3, August 2011, Pages 719-725,
2. <http://wwlln.net>
3. Dowden Richard L, Brundell James B, and Rodger Craig J. Vlf lightning location by time of group arrival (toga) at multiple sites. Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics, 64:817 – 830, n.d, 2002
4. R. L. Dowden, R. H. Holzworth, C. J. Rodger, J. Lichtenberger, N. R. Thomson, A. R. Jacobson, E. Lay, J. B. Brundell, T. J. Lyons, and S. O. Keefe. World-wide lightning location using vlf propagation in the earth-ionosphere waveguide. IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION MAGAZINE, 50(5):40 – 60, 2008.
5. E. H. Lay, R. H. Holzworth, C. J. Rodger, J. N. Thomas, O. Pinto, and R. L. Dowden. Wlll global lightning detection system: Regional validation study in brazil (doi 10.1029/2003gl018882). GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, 31:L03102, 2004.
6. C. J. Rodger, J. B. Brundell, and R. L. Dowden. Location accuracy of vlf world-wide lightning location (wlll) network: Post-algorithm upgrade. ANNALES GEOPHYSICAE, 23(2):277 – 290, 2005.
7. R. Jacobson, R. Holzworth, J. Harlin, R. Dowden, and E. Lay. Performance assessment of the world wide lightning location network (wwlln), using the los alamos sferic array (lasa) as ground truth. JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY, 23(8):1082 – 1092, 2006.
8. <http://www.ncdc.noaa.gov/stormevents/>
9. <http://www.deis.gov.ar/>
10. López, Raúl E., and Ronald L. Holle. 1998. "Changes in the Number of Lightning Deaths in the United States during the Twentieth Century." Journal Of Climate 11, no. 8: 2070..

11. Cardoso, I; Pinto Jr; Pinto R.C; Holle R. A new approach estimate the annual number of global lightning fatalities. ICAE, 2011, Rio de Janeiro, Brasil
12. Arcioni, J.C.: La actividad eléctrica atmosférica media anual ("AEAMA") en la Argentina, Ingeniería Eléctrica, Pages. 130-139, 2006.
13. López, R. E., &Holle, R. L, " Fluctuations of lightning casualties in the United States: 1959-1990". Journal of climate, 9(3),1996, Pages 608-615.
14. <http://www.inpe.br>
15. <http://www.comservicefire.com.br/docs/Para-raios/NBR%205419%20-%20Para-raios.pdf>