

Una década de GeoRayos Web y App: CITEDEF al frente de la protección contra rayos

M. Gabriela Nicora^{1,2,3,4,*}, Daiana Baissac^{1,2}, Constanza Villagrán Asiares^{1,2,3}, M. Florencia Barle^{1,2,3}, Yasmin Velazquez^{1,2}, Lucia Pini^{1,2,3}, Lucas Bali^{5,6}, Juan Pallotta^{1,2,4}, Facundo Orte^{1,2,4}, Anabela Lusi^{1,2}, Raul D'Elia¹

¹ Centro de Investigaciones en Láseres y sus aplicaciones, Unidad de Investigación y Desarrollo Estratégico para la Defensa, CONICET. Villa Martelli, Argentina.

² CNRS – IRD – CONICET – UBA. Instituto Franco-Argentino para el Estudio del Clima y sus Impactos (IRL 3351FAECI). Buenos Aires, Argentina.

³ Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

⁴ Departamento en Láseres y Aplicaciones, Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la defensa. Villa Martelli, Argentina.

⁵ COE Data, Analytics & IA, YPF SA.

⁶ Universidad Nacional de San Martín

* Nicora, M. Gabriela, gabriela@blueplanet.com.ar

Resumen. Se ha demostrado que cambiar comportamientos y corregir conceptos erróneos, en este caso, sobre la protección contra rayos, requiere continuidad en el tiempo y trabajo interdisciplinario. El Proyecto GeoRayos (www.georayos.citedef.gob.ar) nació como un tema estratégico dentro del Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF), hace más de 10 años con el objetivo de proporcionar una herramienta tanto en la parte operativa de las alertas meteorológicas, como en la protección de las personas. En este contexto, presentamos la evolución de GeoRayos desde sus inicios, destacando la importancia que implicó la sinergia entre diferentes instituciones para alcanzar nuestros objetivos. Al día de hoy, contamos con una plataforma renovada que cuenta con una estructura diferenciada para el público en general y para los tomadores de decisiones, agregando información sobre protección contra rayos y redes sociales afines a este tema.

Keywords: Descargas eléctricas, WLLN, Tormenta, GeoRayos, Protección.

1 Introducción

Aunque la definición exacta de rayos y relámpagos se ha modificado con el avance continuo de las tecnologías de detección, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) los define como "una manifestación luminosa que acompaña a una descarga eléctrica repentina que se produce desde o dentro de una nube o, con menor frecuencia, desde estructuras elevadas en el suelo o montañas" (<https://cloudatlas.wmo.int/lightning.htm>). En este trabajo utilizaremos el término

"rayo" para referirnos a esta manifestación. Sin embargo, los rayos representan más que un fenómeno atmosférico, dado que en promedio, causan la muerte de 26 personas al año en Estados Unidos y aproximadamente 50 muertes al año en Argentina [1], [2].

Desde 2013, el Instituto de Investigación Científica y Técnica para la Defensa (CITEDEF) realiza un análisis sistemático de la actividad eléctrica atmosférica en Argentina. El estudio de los rayos se enmarcó dentro de la tesis doctoral de la Dra. Nicora: "Actividad eléctrica atmosférica en Sudamérica", la cual fue defendida en septiembre de 2014 (<https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/42231>). Uno de los objetivos de la misma fue estimar la tasa anual de muertes por rayos y detectar las regiones más vulnerables a este fenómeno [2]. Un evento trágico ocurrido en enero de 2014 en la ciudad costera de Villa Gesell, Buenos Aires, marcó un punto de inflexión en la concienciación sobre este peligro, en donde una tormenta, tuvo el resultado fatal de 4 víctimas y 22 heridos por rayos, lo que subrayó la urgencia de educar a la población sobre cómo actuar ante estos eventos.

En este contexto, y con el sudeste de Sudamérica identificado como una de las regiones con sistemas convectivos más intensos del mundo, surgió el proyecto GeoRayos. Este proyecto, de carácter interinstitucional e interdisciplinario, tiene como objetivo el estudio y la detección en tiempo real de rayos, así como el procesamiento de información para desarrollar herramientas que permitan prever eventos meteorológicos severos [3]. Entre estos fenómenos se incluyen tormentas eléctricas de gran escala, lluvias intensas, caída de granizo y tornados [4].

GeoRayos se presenta como una aplicación web y móvil, diseñada para proporcionar información en tiempo real sobre descargas eléctricas. Además, cumple con la importante misión de reducir los mitos sobre las tormentas eléctricas mediante la difusión de conocimientos científicos [5].

El objetivo de este artículo es presentar GeoRayos, describir sus características y funcionalidades, y destacar los logros alcanzados en estos 10 años de trabajo.

2 Historia de GeoRayos

Desde su lanzamiento hace diez años, los objetivos de GeoRayos han ido cambiando y evolucionando. Inicialmente, la plataforma se diseñó como una herramienta para pronosticadores, destinada a detectar eventos severos mediante la clasterización de descargas eléctricas y la evaluación de la tasa de aumento en cada uno de esos clústeres. Cuando la tasa de descargas aumentaba de forma abrupta, el fenómeno era denominado *Lightning Jump* (LJ) [6], [3]. El principal objetivo de GeoRayos en sus inicios era proporcionar pronósticos a corto plazo (*nowcasting*) para eventos meteorológicos severos. Para ello, se colaboró con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y se desarrolló el algoritmo GeoRayos (con el mismo nombre que la plataforma) para evaluar los LJ en la tasa de descargas eléctricas [7].

En 2016, se firmó un convenio con la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), que resultó en el cambio de nombre de la plataforma a AeroRayos. En este nuevo contexto, la plataforma comenzó a ser operativa para el monitoreo de la actividad eléctrica atmosférica en las cercanías de los aeropuertos. El algoritmo implementado incluía dos niveles de alerta para cada aeródromo: un primer nivel

(alerta) indicaba la proximidad de una tormenta eléctrica, detectando rayos a una distancia lejana del punto de interés; mientras que un segundo nivel (alarma) señalaba la llegada inminente de la tormenta, detectando rayos a una distancia más cercana [8], [9]. Además de la visualización en el portal web, las alertas se enviaban mediante correo electrónico y notificaciones en teléfonos móviles. La herramienta también registraba eventos y cantidades de descargas de rayos, permitiendo análisis posteriores con fines científicos y operativos.

En la Fig. 1, se observa una captura de pantalla de AeroRayos en donde se muestran los tres paneles que tenía la aplicación. El panel 1 corresponde con el mapa donde se geolocalizan las descargas eléctricas detectadas, en el panel 2 se muestra el estado de alerta y en el panel 3 las mediciones en tiempo real del campo eléctrico atmosférico como información extra enfocada a los tomadores de decisión.

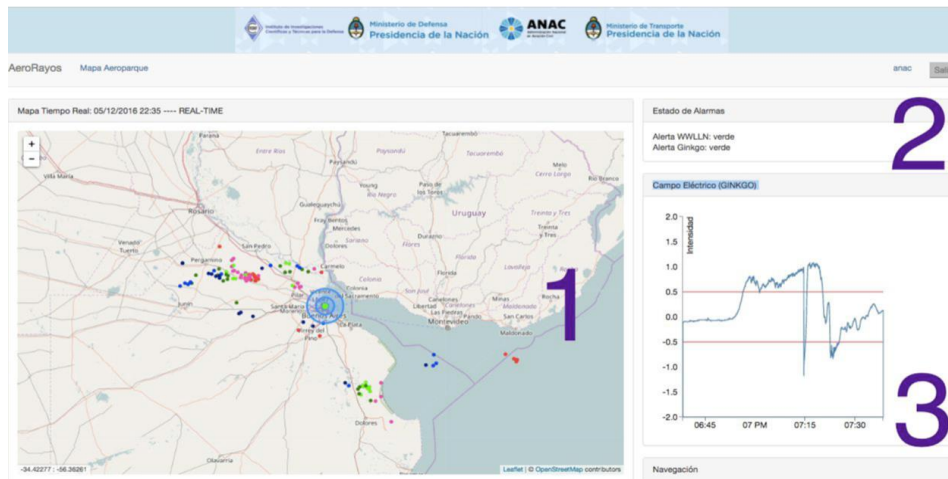


Fig. 1. Captura de pantalla de AeroRayos en donde se muestra los tres paneles que tenía la aplicación. En 1 se encuentra el mapa con la localización de las descargas eléctricas marcadas con puntos de colores sobre el mismo, en 2 se informa el estado de la alerta para el aeropuerto enfocado y en 3, se describe la medición del campo eléctrico atmosférico en tiempo real.

Para ver los logros de dicha aplicación de manera operativa, en la Fig. 2 se muestran las mejoras logradas con dicha aplicación para los tiempos de cierre de la actividad en Aeroparque por presencia de rayos. Estos fueron de 30 minutos antes de la tormenta y 20 minutos posteriores a la misma para la reapertura del mismo.

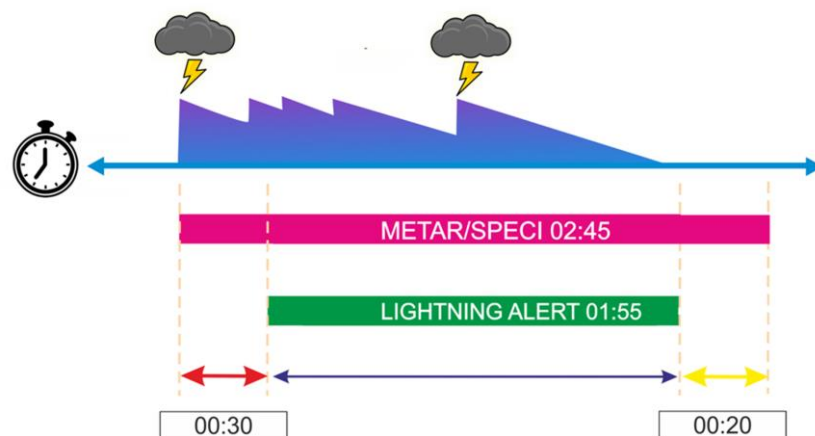


Fig. 2. Mejoras logradas con dicha aplicación en los tiempos de cierre de Aeroparque, que fueron de 30 minutos antes de la tormenta y 20 minutos en la reapertura del mismo.

En 2020, gracias a un convenio con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Austral, se rediseñó la arquitectura de la plataforma, cuyas características se presentan en la siguiente sección. En esta actualización, se diferenciaron los usuarios en dos perfiles: un usuario general y un usuario investigador/tomador de decisiones, este último con acceso a herramientas más específicas. Este cambio modificó el objetivo inicial de la plataforma, que pasó de ser una herramienta de *nowcasting* a una con un enfoque social y de investigación. La meta actual de GeoRayos es que cualquier persona, a través de la versión web o la aplicación móvil, pueda acceder a información en tiempo real sobre descargas eléctricas, contribuyendo así a la protección frente a tormentas severas [10].

En la Fig. 3 se presenta la nueva página <https://georayos.citedef.gob.ar/#/> en donde se muestra para el usuario general las descargas en la última hora utilizando una escala cromática, en donde los colores más cálidos muestran las descargas en los últimos minutos y los colores más fríos los más lejanos en tiempo (más cercanos a la última hora).

Para el perfil investigador, la plataforma ofrece la posibilidad de solicitar datos históricos y estudiar la evolución de tormentas. Varias instituciones, como Defensa Civil, el Servicio Nacional de Manejo del Fuego y Parques Nacionales, han reconocido la importancia de esta información para sus operaciones diarias. La mejora en la comprensión global de la actividad eléctrica atmosférica permite que tanto gobiernos como individuos tomen decisiones climáticas más informadas. GeoRayos facilita estudios meteorológicos y geofísicos, brindando acceso a visualizaciones de tormentas y rayos en marcos temporales específicos, lo que fomenta la colaboración científica y el análisis.

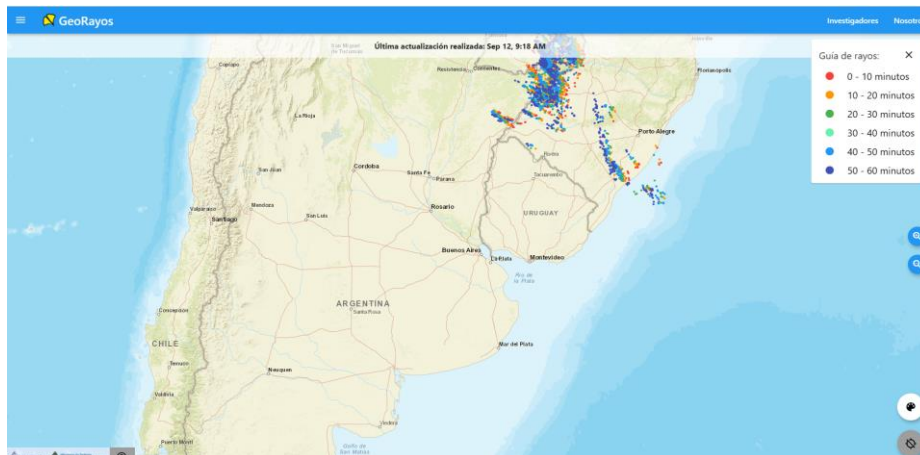


Fig. 3. Página pública de GeoRayos (<https://georayos.citedef.gob.ar>) en donde se muestra para el usuario general las descargas en la última hora. Se utiliza una escala cromática en donde los colores más cálidos muestran las descargas en los últimos minutos, mientras que los más fríos se observan los más cercanos a la última hora.

Además, GeoRayos apoya el monitoreo en tiempo real de descargas eléctricas, lo que permite a instituciones como Defensa Civil y el Servicio Nacional de Manejo del Fuego desplegar brigadas de forma eficiente, basándose en las condiciones en tiempo real. Actualmente, GeoRayos es utilizado por una amplia gama de instituciones, tanto gubernamentales como privadas. Para ayudar a esos tomadores de decisión también se presenta en formato App para celulares, lo cual facilita contar con la información en los móviles de los técnicos para ayudarlos en sus labores (Fig. 4).

3 Arquitectura de GeoRayos

El creciente conocimiento sobre la climatología de los rayos en Argentina ha evidenciado la necesidad de desarrollar una herramienta capaz de prever condiciones meteorológicas severas a corto plazo. La aplicación GeoRayos se compone de dos partes diferenciadas: una versión pública dirigida al público general, con énfasis en la protección, y una versión privada orientada a investigadores y tomadores de decisiones. El proceso de registro es sencillo y automático, lo que fomenta su adopción. En la actualidad, CITEDEF obtiene información sobre la detección de rayos a partir de los siguientes servicios y bases de datos:

1. **World Wide Lightning Location Network (WWLLN):** Gestionado por la Universidad de Washington, es capaz de producir mapas regulares de la actividad de rayos sobre la Tierra con su red de sensores de muy baja frecuencia (VLF). Este es un sistema de detección en tierra que comenzó en 2003 con 11 sensores y actualmente consta de 70 sensores instalados en todos los continentes e islas. En Argentina, hay cuatro antenas: una en Córdoba (FAMAF-UNC), dos

en la Patagonia (Universidad de la Patagonia en Trelew y en el Observatorio de la Patagonia Austral en Río Gallegos), y la más reciente en la División LIDAR perteneciente a CITEDEF (Villa Martelli), cerca de la ciudad de Buenos Aires. Esta base de datos solo es visible para estudios científicos y no para el público en general.

2. ***Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES)***: Es el satélite meteorológico geoestacionario operativo que proporciona una vista sobre las Américas. El *Geostationary Lightning Mapper (GLM)* de GOES-16 es el primer detector de rayos, operativo en órbita geoestacionaria. Los satélites GOES son operados por la NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). El GLM comenzó a operar en marzo de 2017 y ofrece una cobertura espacial uniforme de aproximadamente 10 km, permitiendo la detección total de rayos casi en la totalidad del continente americano. Estos datos se presentan tanto en la página pública (público en general) como en la privada (investigadores / tomadores de decisión) y son obtenidos desde el servidor público Amazon Web. Ambas bases de datos son utilizadas por los investigadores para poder hacer estudios y evaluaciones de la actividad eléctrica atmosférica (AEA) en el país.

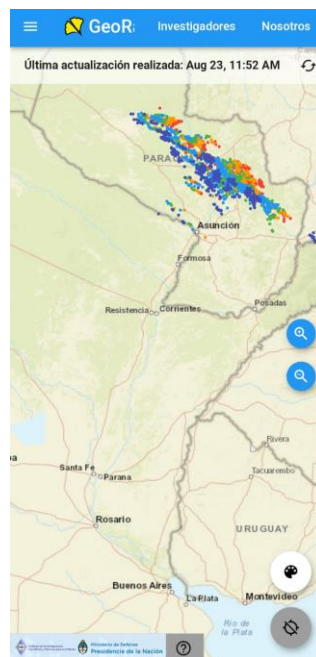


Fig. 4. GeoRayos en formato App para celulares, lo cual ayuda a tener la información en los móviles de los técnicos para ayudarlos a sus decisiones.

4 Estadísticas de trabajo y usuarios

Desde 2013, GeoRayos (conocido como AeroRayos durante los años 2016-2017) se ha mantenido operativa gracias a diversos proyectos y convenios. Entre ellos, se destacan el apoyo del Ministerio de Defensa a través del proyecto MINDEF - PIDDEF 07/18: Plataforma de Información de Riesgo Medioambiental, y la financiación de CITEDEF para el proyecto GeoRayos II WEB y GINKGO 03 NAC 040/19. Toda esta información está disponible en:

https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?id=54869&keywords=&datos_academicos=yes.

De los 196 usuarios registrados hasta el 22 de febrero de 2024, el 80% corresponde a usuarios generales y el 20% a investigadores y administradores (Fig. 5-izq.). Esto demuestra que la herramienta es ampliamente utilizada por el público en general. Es importante destacar que, para visualizar la información de la página pública, no es necesario registrarse, por lo que no se puede determinar con exactitud el número real de usuarios que la visitan.

Desde el punto de vista institucional, se cuenta con el registro de más de 10 instituciones científicas, gubernamentales y otras entidades que utilizan los datos de la plataforma para diversos fines (Fig. 5-der). El uso principal está relacionado con la gestión de incendios provocados por rayos y la protección civil. Además, los datos de GeoRayos han sido utilizados para la elaboración de más de cinco informes, y diferentes instituciones solicitan información diariamente a través de canales de comunicación, como el correo electrónico.

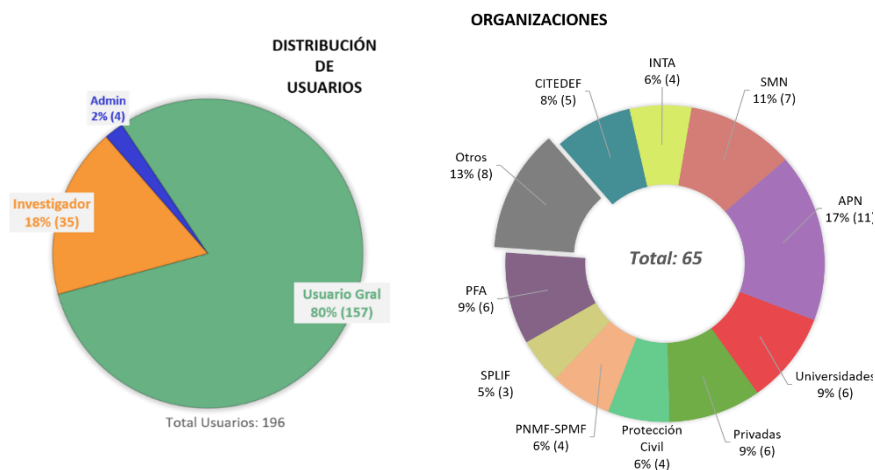


Fig. 5. Estadísticas de usuarios (izq.) e instituciones (der.) de GeoRayos a febrero 2024.

5 Conclusiones

Después de diez años de trabajo, la plataforma GeoRayos ha evolucionado tanto en sus objetivos como en sus interfaces, manteniendo siempre como meta principal presentar la Actividad Eléctrica Atmosférica (AEA) en Argentina a toda la comunidad. GeoRayos comenzó como un proyecto orientado al desarrollo de una herramienta de pronóstico basada en la observación de rayos, con el fin de anticipar condiciones meteorológicas severas. Hoy en día, la plataforma diferencia entre tipos de usuarios, permitiendo enfoques específicos según las necesidades.

El usuario general tiene acceso a la plataforma pública, diseñada con un objetivo social para la protección y el monitoreo de tormentas. Por otro lado, el usuario investigador accede a la plataforma privada, donde puede visualizar los datos para realizar estudios detallados de diferentes eventos meteorológicos y llevar a cabo análisis estadísticos de la AEA en diversas regiones del país. Ambas plataformas permiten la visualización de las descargas en tiempo real.

En países como Argentina, que carecen de una red nacional de detección de rayos o de información de radar que cubra todo el territorio, contar con una base de datos proveniente de una red global como la WWLLN, junto con datos en tiempo real de un satélite geoestacionario, convierte a GeoRayos en una herramienta poderosa. Esto permite a profesionales, investigadores, meteorólogos, geofísicos y otros especialistas utilizar una base de datos rica en información que abarca toda la región, con aplicaciones en seguridad, defensa, sistemas de alerta temprana y pronósticos de condiciones meteorológicas severas.

Es esencial seguir desarrollando herramientas basadas en tecnologías actuales, que abran oportunidades para promover el conocimiento y la concienciación sobre los impactos de los rayos en las personas [11],[12]. Un ejemplo exitoso de esta estrategia es la campaña nacional de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), que ha logrado reducir significativamente el número de muertes y lesiones causadas por rayos en Estados Unidos [11].

En cuanto a trabajos futuros, se espera continuar los esfuerzos de concientización del público en general, así como asistir a los tomadores de decisiones con datos precisos y en tiempo real, generando alertas que ayuden a prevenir fatalidades en Argentina.

Agradecimientos. Esta investigación fue apoyada por el Ministerio de Defensa a través de MINDEF PIDDEF 07/18: Plataforma de Información de Riesgo Medioambiental; y GeoRayos II y CITEDEF con el Proyecto GeoRayos II WEB y GINKGO 03 NAC 040/19, también con el proyecto de extensión con FCAG. Además, deseamos agradecer a la *World Wide Lightning Location Network* (<http://wwlln.net>), una colaboración entre más de 60 universidades e instituciones, por proporcionar los datos de ubicación de rayos utilizados en este documento. Y finalmente, agradecemos a las personas dedicadas en NOAA, NOAA, Asociación de Investigación Espacial de Universidades (USRA), la Universidad de Alabama en Huntsville, Lockheed Martin, y Harris Corporation, y a los miembros del equipo científico de GLM.

Referencias

1. Curran, E.B., Holle, R.L., López, R.E.: Lightning Casualties and Damages in the United States from 1959 to 1994. *Journal of Climate*. 1 de octubre de 2000;13(19):3448-64.
2. Nicora, M.G., Quel, E.J., Bürgesser R.E., Ávila, E.E.: Electric atmospheric activity in Argentina, a study for estimating the annual death rate by lightning. En: 2013 International Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA) [Internet]. 2013, p. 340-4. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6729213>
3. Nicora, M.G., Quel, E.J., Bali, J.L., Acquesta, A., Vidal, L., Burgesser, R.E., et al.: GeoRayos a new application for severe weather warning. En: 2015 International Symposium on Lightning Protection (XIII SIPDA) [Internet]. Balneario Camboriu: IEEE; 2015, p. 165-8. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7339300/>
4. Nicora, M.G., Ávila, E.E.: GeoRayos Project: Lightning warning in Argentina.
5. Cooper, M.A., Holle, R.L.: *Reducing Lightning Injuries Worldwide*. Cham: Springer International Publishing; 2019. Springer Natural Hazards. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-77563-0>
6. Schultz, C.J., Petersen, W.A., Carey, L.D.: Lightning and Severe Weather: A Comparison between Total and Cloud-to-Ground Lightning Trends. *Weather and Forecasting*. 1 de octubre de 2011;26(5):744-55.
7. Bali, J.L., Nicora, M.G., Avila, E., Saucedo, M., Bürgesser, R.E., Acquesta, A., et al.: GeoRayos: una plataforma para la confección de pronósticos a corto plazo de eventos meteorológicos severos. En 2016. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/58310>
8. Nicora, M.G., Sacco, M., Bali, J.L., D'Elia, R., Vasquez, P.M., Acquesta, A., et al.: AeroRayos first tool for risk assessment by electric activity at airports in Argentina. En: 2017 International Symposium on Lightning Protection (XIV SIPDA). 2017, p. 141-4. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8116914>
9. Rivaben, N., Nicora, M.G., Bali, J.L.: Análisis del sistema Aerorayos para la situación del 9 de Julio de 2017 en el Aeroparque "Jorge Newbery". Marzo de 2018; Disponible en: <http://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/728>
10. Nicora, M.G., Baissac, D., Falco, M., Barle, M.F., Delia, R., Villagran, C.: GeoRayos Web and App. Lightning protection in Argentina to Increase Awareness. En: 2021 35th International Conference on Lightning Protection (ICLP) and XVI International Symposium on Lightning Protection (SIPDA). Colombo, Sri Lanka: IEEE; 2021, p. 01-6. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9627417/>
11. Jensenius, J.S., Franklin, D.B.: NOAA's Efforts to Reduce Lightning Fatalities through Public Education and Awareness.
12. Zimmermann, C., Cooper, M.A., Holle, R.L.: Lightning safety guidelines. *Annals of Emergency Medicine*. 1 de junio de 2002;39(6):660-A1.