

Valores de fondo de radiación ambiental Gamma en el Sector Oeste Recinto Universitario Rubén Darío de UNAN-Managua, Nicaragua.

Gamma radiation background rate values in the West Sector of the Recinto Universitario Rubén Darío of UNAN-Managua, Nicaragua.

Jorge Luis Gómez Tórrez

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Nicaragua

jorge.gomez@unan.edu.ni.

<https://orcid.org/0009-0000-9394-8607>

Francisco Javier Espinoza

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Nicaragua

francisco.espinoza@unan.edu.ni.

<https://orcid.org/0009-0003-9044-4587>

Eduardo Tirado-Bueno

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Departamento de Ciencia y
Tecnología del Espacio.

Puebla Mexico

etirado@inaoe.mx.

<https://orcid.org/0000-0001-8462-8345>

Fernando José López González

Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Nicaragua.

flopez@unan.edu.ni.

<https://orcid.org/0000-0002-3777-4240>

José Ignacio Díaz López

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Nicaragua.

jdiaz@unan.edu.ni.

<https://orcid.org/0000-0002-9719-0271>

Yasser Alberto Meynard Valverde

<https://orcid.org/0000-0002-1243-9905>

Carlos Alberto Orozco Cano

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Nicaragua

corozco@unan.edu.ni.

<https://orcid.org/0009-0009-5709-884X>

Resumen

La radiación se encuentra presente en espacio ultraterrestre producto de actividad solar y eventos astronómicos de alta energía, en la superficie e interior de la tierra con materiales radioactivos, esta radiación se filtra por las capas de la tierra alcanzando la superficie por las fallas geológicas, generando radiación natural de fondo ambiental gamma, la cual difiere según las latitudes, actividades solares, eventos energéticos del espacio y características geológicas, en esta investigación se realizó el mapeo de la tasa

de dosis equivalente ambiental de fondo gamma en el sector Oeste de Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la UNAN-Managua, durante el proceso se contó con la participación de estudiantes de la carrera de física con mención en física médica, lo que permitió fortalecer sus capacidades de investigación como pilar de una formación integral acorde al modelo educativo de la universidad, se realizaron mediciones in-situ en 213 puntos con una distancia aproximada de 10 metros entre cada punto entre los meses de octubre y noviembre del año 2024, luego de obtener un valor pico de $1.37 \mu\text{Sv/h}$ se evaluó la actividad solar vinculadas al día y horario de la medición, no encontrándose evidencia de una correlación con la actividad solar, en cambio se aprecia aumento de valores cercanos la falla comprobada Zogaib, presentándose la conjetura de una posible contribución atribuida a factores geológico, este estudio brinda las bases sobre el conocimiento de tasa de dosis ambiental para Managua, lo cual es útil para autoridades desde una perspectiva de gestión de riesgo.

Palabras clave: Dosis ambiental, modelo educativo, actividad solar, falla geológica, dosis ambiental.

Abstract

Radiation is present in outer space—resulting from solar activity and high-energy astronomical events—as well as within the Earth's crust and on its surface due to radioactive materials; this radiation filters through the Earth's layers and reaches the surface via geological faults, generating natural environmental gamma background radiation. This radiation level varies based on latitude, solar activity, energetic space events, and geological characteristics. This research involved mapping the ambient gamma background equivalent dose rate in the western sector of the Rubén Darío University Campus (RURD) at UNAN-Managua. The process engaged physics students specializing in medical physics, thereby strengthening their research capabilities—a key pillar of the comprehensive education aligned with the university's educational model. In-situ measurements were taken at 213 points, spaced approximately 10 meters apart, during October and November 2024. After recording a peak value of $1.37 \mu\text{Sv/h}$, the team evaluated solar activity corresponding to the time and date of the measurement but found no evidence of a correlation; instead, an increase in values was observed near the

confirmed Zogaib fault, suggesting a possible contribution from geological factors. This study establishes a baseline for understanding ambient dose rates in Managua, providing useful information for authorities regarding risk management.

Keywords: Environmental dose, educational model, solar activity, geological fault, environmental dose.

Introducción

Los seres humanos están constantemente expuestos a diferentes formas de radiación. Desde el origen del universo, la radiación natural ha estado presente e interactúa de forma continua con los organismos vivos. A pesar de que la radiación es un componente esencial para la vida en la Tierra, también puede representar un riesgo significativo bajo ciertas condiciones. Nuestro planeta es impactado de manera constante por partículas provenientes del espacio, cuya detección y estudio permiten conocer aspectos fundamentales sobre los orígenes del universo.

Una fuente primordial de radiación es el Sol, la estrella del sistema solar, que emite radiación a lo largo de todo el espectro electromagnético como resultado de las reacciones termonucleares que ocurren en su núcleo compuesto principalmente por hidrógeno y helio.

La magnetósfera protege de la erosión de nuestra atmósfera causada por el viento solar, la erosión y la radiación de partículas de las eyecciones de masa coronal (nubes masivas de plasma solar energético y magnetizado y radiación) y los rayos cósmicos del espacio profundo (Buis, 2021), los cuales entran en interacción con diferentes núcleos atmosféricos generando una cascada de partículas secundarias debida a una desintegración nuclear del rayo cósmico primario, esta cascada se divide en 3 componentes, electromagnética, muónica y hadrónica, continuación en Tabla 1 se detallan algunos valores de flujos de rayos cósmicos.

Tabla 1

Composición de los rayos cósmicos galácticos primarios en latitudes altas

Flujo de partículas verticales ≥ 1.3 GV		
Número atómico	Mínimo Solar	Máximo Solar
$m^{-2}sr^{-1}s^{-1}$		
1	200	800
2	300	120
3-5	6	2
6-9	16	6
10-20	6	2
20 o mas	2	1

Nota: Donde Los valores son para el área continental de Estados Unidos. Volt es una unidad de rigidez magnética, una cantidad relacionada con la desviación de una partícula cargada de su trayectoria recta por el campo magnético de la Tierra; dicha desviación depende del momento de la partícula. 1,3 GV corresponde a energías cinéticas de 0,66 GeV para protones y cerca de 1,3 GeV para las partículas más pesadas (Webber, 1967)

El conjunto de datos OMNI de Baja Resolución (LRO) es principalmente una compilación, desde 1963 hasta la actualidad, de datos promediados por hora del campo magnético del viento solar cercano a la Tierra y de los parámetros del plasma, obtenidos por varias naves espaciales en órbitas geocéntricas o L1 (punto de Lagrange) (National Aeronautics and Space Administration,).

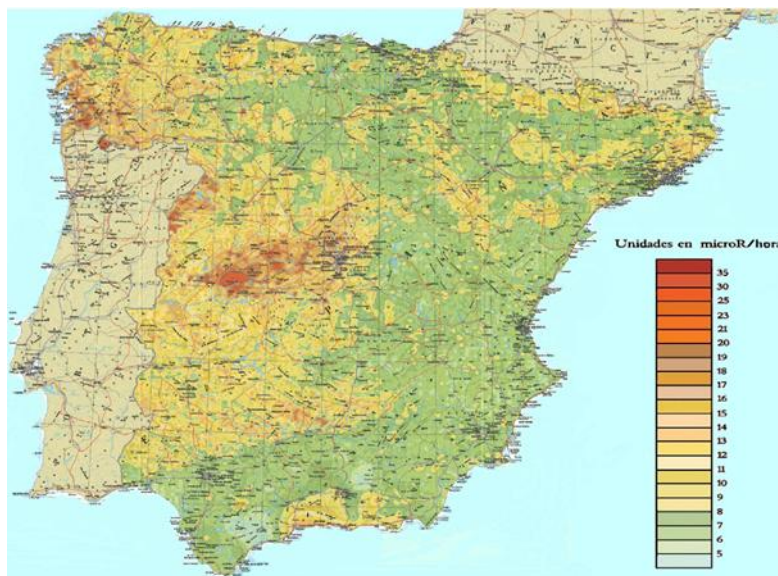
La oportunidad de vincular en el proceso de investigación de tipo básica a estudiantes de la carrera de física con mención en física médica, quienes recibieron capacitaciones para participar en la recolección de datos de radiación en el área de

estudio, en concordancia con los de la Estrategia Nacional de Educación en todas sus Modalidades "Bendiciones y Victorias"2024-2026"; 1 Educación para la vida ,10 Ciencias y 11 Investigación e Innovación." (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN), 2024), esta iniciativa promueve la vinculación de los estudiantes con los espacios de la universidad, el reconocimiento de sus áreas en función del fortalecimiento de la identidad institucional y sentido de pertinencia institucional y comunitario.

A la fecha, en Nicaragua no se ha realizado la publicación de mapas de radiación de fondo en tasa de dosis equivalente ambiental gamma, por lo tanto, se desconocen los valores en el territorio nacional, pero si se han realizado en otros países como el caso de España como se aprecia en la Ffigura 1, donde se han documentados valores de radiación natural de fondo por parte del Consejo de Seguridad Nuclear de España el cual publica el siguiente mapa.

Figura 1

Mapa de radiación natural gamma en España.



Nota: Tomado del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) España
<https://www.csn.es/mapa-de-radiacion-gamma-natural-marna-mapa>

"La radiación gamma ambiental es una de las principales fuentes de exposición a la radiación ionizante a la que contribuyen los elementos radiactivos naturales que contiene la corteza terrestre y en menor medida, la radiación cósmica" (Consejo de Seguridad Nuclear, 2025). Es importante considerar que la tierra no sólo recibe radiación proveniente del espacio sumado a esto existe, radiación gamma de fondo ambiental la cual tiene su origen en el interior de la tierra, por tanto, es necesario conocer los valores naturales base en el ambiente, por diversos motivos entre ellos, el garantizar que no se expone a personas de forma permanente en una zona, al darse un evento accidental o de terrorismo que involucre fuentes de radiación se debe conocer la cantidad inicial para tener cuantificada la magnitud del evento, otra razón no menos importante es el extravío de una fuente de radiación, teniendo valores base, se puede conocer su ubicación por la variación de la radiación en el sitio consecuente con lo mencionado por el CSN.

La concentración de elementos radiactivos en los suelos y rocas presentan marcadas variaciones que dependen de la geología: la dosis media en España debida a la radiación gamma terrestre es de 0.48 mSv/a siendo Murcia la provincia con fondo más bajo (0.39 mSv/a) y Pontevedra la más expuesta (1.45 mSv/a).

Por otro lado, algunos materiales de construcción también contienen radionúclidos de origen natural que emiten radiación gamma que exponen a las personas que se encuentran dentro los edificios. La Directiva 2013/59/Euratom establece un nivel de referencia de 1 mSv/a (sobre el nivel del fondo de radiación natural) para la dosis que recibimos en ambientes cerrados procedente de los materiales de construcción (Consejo de Seguridad Nuclear, 2025).

Los radionucleidos de origen natural contenidos en los materiales de proceso o liberados por ellos pueden suponer un riesgo para los trabajadores, el público o el medio ambiente. Estos elementos radiactivos presentes en los minerales y menas que se encuentran originalmente en el medio ambiente se conocen comúnmente como NORM (material radiactivo de origen natural). Algunos materiales NORM requieren control y regulación de la radiación.

Los procesos más frecuentemente asociados con el procesamiento de NORM con concentraciones elevadas de materiales radiactivos incluyen la minería y molienda de

minerales metalíferos y no metálicos, la producción de carbón, petróleo y gas, la extracción y purificación de agua, la generación de energía geotérmica y la producción de minerales industriales, incluidos fosfato, arcilla y materiales de construcción. El tipo y la cantidad de materiales radiactivos varían considerablemente de un proceso industrial a otro (Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA), s.f.).

La radiación presente de forma natural en el planeta tierra no solo es debido a factores externos, la tierra cuenta con material radiactivo el cual en ciertas ocasiones es aprovechado para el desarrollo y sustento energético de humanidad. Esta radiación se puede presentar en forma gaseosa como es el Radón y el Torio los cuales pueden interactuar con el ser humano afectando negativamente la salud. Es importante resaltar que el gas radón (^{222}Rn) se presenta en forma de radiación alfa, este gas está presente en fallas geológicas, ya que el gas surge desde el interior de la tierra y avanza a través de la falla como muestra la Figura 2.

Figura 2

Representación flujo de gas radón a travesando falla geológica.



Nota: Imagen creada por OpenAI, 2025

Evaluar los valores de tasa de radiación de fondo ambiental gamma en el sector Oeste de Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua (UNAN-Managua), para su posterior comparación con actividad solar presente en el periodo de medición. Este aporte es esencial en la construcción del conocimiento sobre los valores de radiación de fondo presentes en el ambiente universitario, además de ser generador de una base para la continuidad de este tipo estudio en el territorio nacional y a que es precursor en Nicaragua, el iniciar a registrar estos valores permite obtener información de referencia que permite fortalecer la gestión comunitaria desde una visión de protección radiológica y gestión de riesgo, garantizando

Materiales y métodos

La Figura 3 muestra el área estudio correspondiente al sector, Oeste del Recinto Universitario Rubén Darío (RURD) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua UNAN-Managua.

Figura 3

Ubicación de la zona de estudio.



Nota: Elaboración propia.

Para la realización de las mediciones se contó con el apoyo valioso de estudiantes de primer año de la carrera de física con mención en física medica del área de conocimiento de ciencias básicas y tecnología de la UNAN-Managua, a continuación se detallan sus nombres Kelyn Brighet Ortiz Carrion, Cortez Lopez Jeffry Jose, Brittany Bellzabeth Urbina Ordoñez, Marissa Alejandra Reyes González, Milagros De Los Angeles Rodriguez Fariñas, Julio Cesar Mendoza Cruz, Yanuskia Gimena Cantillano Gómez, Silena Nohemi Soza Silva, Harlinthon Ossiel Robleto López.

Se resalta el aporte de los estudiantes porque la investigación también toma en cuenta como uno de su proceso la inclusión de estudiantes en el desarrollo científico del país valorando que el modelo educativo integral de la UNAN, institución que en su política y estrategia de calidad resalta lo siguiente:

...La calidad y pertinencia de los procesos de formación, investigación y extensión universitaria, una oferta educativa que responda a las necesidades del

país, el perfeccionamiento del talento humano, asegurar una educación para la vida, con compromiso y conciencia para el pueblo, el fortalecimiento del modelo educativo centrado en la persona, la familia y la comunidad, la generación de conocimiento y la extensión del conocimiento a la comunidad... (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua., 2024, pág. 13)

El estudio se realizó durante los meses de octubre a noviembre del año 2024 con un enfoque cuantitativo de tipo descriptivo debido a que se procedió a la medición de radiación de fondo gamma ambiental in situ en el costado Oeste de la UNAN-Managua para posteriormente realizar análisis estadístico. Los equipos utilizados para la etapa de recolección de datos fueron cinta métrica, teléfono celular para toma de coordenadas GPS y medidor de radiación.

El medidor de radiación utilizado es un equipo tipo Geiger Muller un contador Geiger está compuesto principalmente por una cámara cerrada que contiene gas y la visualización de los datos que registra. Cuando la radiación incide en esta cámara, interactúa con el gas en su interior, provocando la liberación de electrones de los átomos y formando pares iónicos. En el centro del tubo hay un alambre que atrae esos electrones, generando más pares iónicos y permitiendo que una corriente eléctrica fluya por el cable. Esta corriente es detectada y transformada en una señal que se muestra como un valor numérico en una pantalla digital, el equipo muestra los valores de radiación gamma en $\mu\text{Sv/h}$, el medidor de radiación utilizado en esta investigación cuenta con certificado de calibración NIC/2025/03 emitido por Laboratorio de Calibración Dosimétrica (LCD), perteneciente al Centro de Investigación de Radiaciones y Metrología (CIF-RAM) de UNAN-Managua.

Las mediciones de tasas de dosis ambiental de radiación gamma se realizaron aproximadamente cada 10 metros como muestra la Figura 4, se georreferenció cada punto de medición, se realizó la medición a una altura de aproximada de un metro sobre el suelo, en 213 puntos aproximadamente a 10 metros de distancia cada uno en el sector Oeste del RURD-UNAN-Managua.

Figura 4

Mediciones *in-situ* de tasas de dosis ambiental de radiación gamma.



Nota: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar el análisis estadístico descriptivo de los datos utilizando el programa InfoStat, posterior se diseñó del mapa utilizando QGIS realizando una interpolación kriging "Este tipo de superficie interpolada a menudo se denomina superficie estadística" (QGIS project, 2025), lo cual permite obtener una distribución en toda la zona de estudio tomando en cuenta la alta densidad de puntos muestreados, ordenados los datos de tasa de dosis de radiación ambiental gamma, se procedió hacer el análisis de la posible influencia del espacio ultraterrestre observando la actividad solar por medio del conjunto de datos OMNI.

Posterior a la recolección de datos de OMNI provenientes de WIND, la cual es una misión de la NASA compuesta de una sonda espacial de rotación estabilizada lanzada el 1 de noviembre de 1994 y ubicada en una órbita de halo alrededor del punto de Lagrange L1 en la línea Sol-Tierra, se ejecutó el programa Python para la construcción de gráficos.

Resultados y discusión

Una vez culminado el proceso de medición, se procedió al análisis de los 213 puntos de medición del sector oeste de los cuales 212 puntos no superan los $0.37 \mu\text{Sv/h}$, pero se tiene un registro el 14 de octubre a las 2:06 P.M hora de Nicaragua de $1.37 \mu\text{Sv/h}$ como se muestra en la Figura 5 el cual es aproximadamente 3,7 veces mayor al registro más alto. Esto es un valor anómalo que no se presenta de forma constante en la zona durante el proceso de medición, e incluso se volvió a registrar el punto encontrando valores que no superan el segundo valor más alto medido.

Figura 5

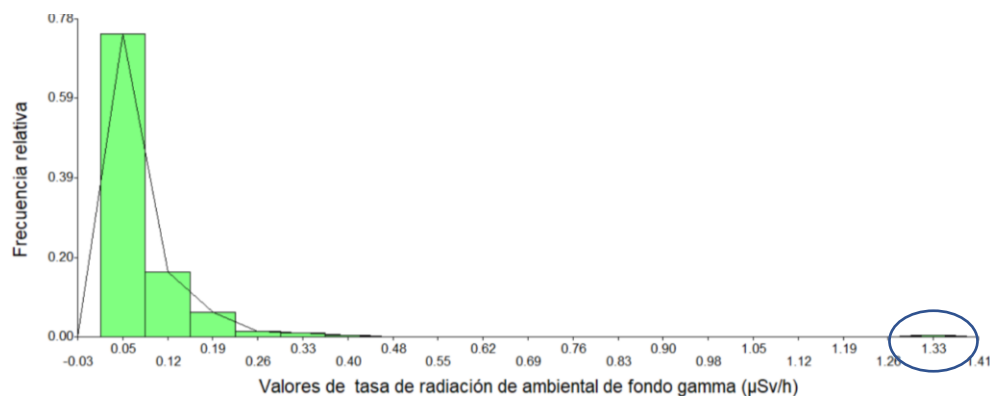
Dispersión de valores de Tasa de radiación gamma de fondo



Los datos de radiación ambiental de fondo gamma muestran una mediana de 0.05 $\mu\text{Sv/h}$. Se analizó la mediana debido a que se ajusta mejor los datos dado que se cuenta con un valor anómalo registrado como se muestra en el histograma de la Figura 6. El valor mínimo es de 0,01 $\mu\text{Sv/h}$ que se repitió en 19 ocasiones mientras que la moda es de 0,02 $\mu\text{Sv/h}$ con un total de 31 registros presentados en la Figura 6 elaborada con InfoStat.

Figura 6

Frecuencia relativa de tasa de radiación ambiental de fondo gamma



Nota: Elaboración propia.

Al utilizar el programa de sistema de información geográfica QGIS versión 3.63.3, se logró representar los valores medidos de la tasa de dosis ambiental, en el cual se anexó la falla comprobada Zogaib y un líneamiento geológico como se muestra en la Figura 7. La falla ha sido estudiada debido a la sismicidad de Managua uno de esos estudios realizado en 2019, como se muestra a continuación:

El área de la UNAN-Managua corresponde a una zona de alta peligrosidad sísmica por localizarse al oeste una falla geológica activa, conocida como la Falla Zogaib, la cual tiene una longitud de 2.7 km y orientación norte-sur, y representa un peligro sísmico para la Ciudad Capital, que históricamente ha sido devastada por terremotos de magnitud moderada (Ms 6-6.2) (Xochilt Esther Zambrana Areas, 2019, págs. 84-93)

En la Figura 7, se observa que los mayores valores de tasa de dosis de radiación se encuentran cerca de la falla Zogaib con valores de 0,18 $\mu\text{Sv/h}$ hasta los 0.37 $\mu\text{Sv/h}$. En el resto del mapa los valores permanecen con pocas variaciones ubicando el 94.4% de las mediciones en valores iguales o inferiores a 0,17 $\mu\text{Sv/h}$, exceptuando el valor de 1.37 $\mu\text{Sv/h}$.

Figura 7

Mapa de tasa de radiación ambiental de fondo gamma.



Nota: Elaboración propia.

Durante el año 2019 y el año 2020 se realizaron mediciones con Thermoluminescent Dosimeters (TLD), en LAF-RAM (nombre anterior de CIF-RAM) a una distancia aproximada de 180 metros lineales de donde se registró el valor pico de $1.37 \mu\text{Sv/h}$. Dicho estudio concluye diciendo "con TLD, el promedio de dosis ambiental equivalente en LAF.-RAM entre 2019 y 2020 fue de $0,60 \text{ mSv/a}$ " (Mendoza et al., 2021). Esto equivale a $0,07 \mu\text{Sv/h}$ reportado entre esos años, excluyendo el valor anómalo, con los otros 212 datos se tienen un promedio de $0,07 \mu\text{Sv/h}$. En concordancia con lo reportado para los años 2019 y 2020, lo anterior hizo considerar fuentes externas de radiación.

La radiación detectable en la Tierra tiene un origen tanto en el interior de nuestro planeta debido a la presencia de elementos radiactivos (uranio, torio, por mencionar algunos ejemplos, como productos de su desintegración) en la corteza terrestre (Heier, 1965). Más aún, también existen fuentes en el exterior que pueden contribuir al fondo de radiación, las cuales pueden ser de origen solar o extrasolar (radiación cósmica).

En este contexto, dado que el Sol es la estrella más próxima a la Tierra es plausible considerar que es la mayor fuente exterior a nuestro planeta que provee radiación a nuestro entorno, y por tanto estamos sujetos a su variabilidad, en diferentes aspectos como puede ser la radiación solar, las emisiones en su atmósfera, las cuales se pueden manifestar de dos formas diferentes, en primer lugar en forma de un viento continuo de partículas, o en segundo lugar de forma espontánea con la ocurrencia de Eyecciones de Masa Coronal (CMEs, por sus siglas en inglés).

Otro fenómeno relevante que ocurre en el Sol son las fulguraciones solares, las cuales consisten en emisiones repentinas de energía que se manifiestan en todo el espectro electromagnético, incluyendo luz visible. Estas fulguraciones también expulsan partículas altamente energéticas hacia el medio interplanetario. Cuando dichas partículas están dirigidas hacia la Tierra, pueden generar alteraciones abruptas en las condiciones del campo geomagnético, lo que da lugar a la formación de auroras.

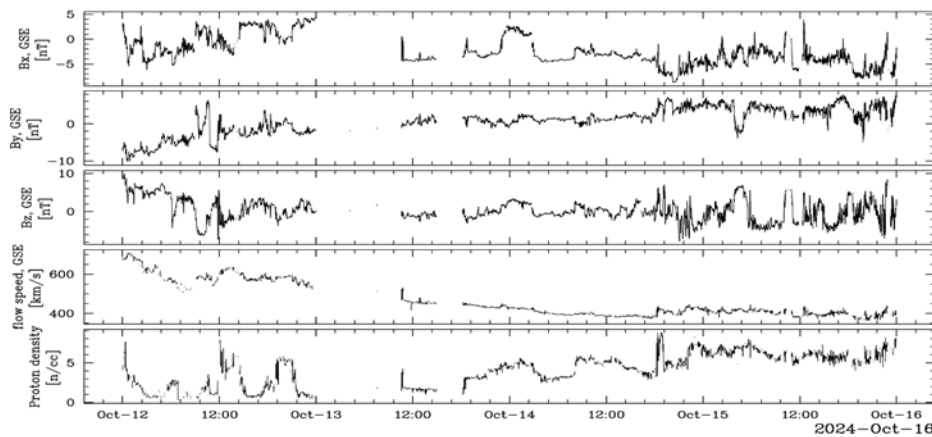
Las auroras son fenómenos luminosos que ocurren cuando partículas cargadas provenientes del espacio interactúan con los núcleos de los átomos en la atmósfera terrestre, generando un proceso de luminiscencia. Este fenómeno es más comúnmente observable en las regiones polares, donde el campo magnético terrestre canaliza dichas partículas hacia la atmósfera superior. Un ejemplo reciente de este tipo de evento ocurrió el 10 de mayo de 2024, y ha sido descrito en detalle por Hayakawa et al. (2025).

En particular, en este trabajo se busca alguna correlación con fenómenos de origen solar que pudiera dar una explicación al incremento de la tasa de radiación reportado en la Figura 8. Por lo tanto, exploramos intervalos de tiempo de 48 horas antes y después de la fecha reportada en la que ocurre el incremento en el conjunto de datos de OMNI. Esta base de datos nos provee de diversos parámetros del plasma y del campo

magnético en un entorno cercano a la Tierra, es decir, nos define un estándar en las condiciones físicas del ambiente espacial cercano a la Tierra.

Figura 8

Mediciones in-situ de las 3 componentes del campo magnético



Nota: Mediciones in-situ de las 3 componentes del campo magnético (3 paneles superiores), la velocidad y la densidad para un intervalo de 48 horas antes y después para el evento registrado el 14 de octubre de 2024.

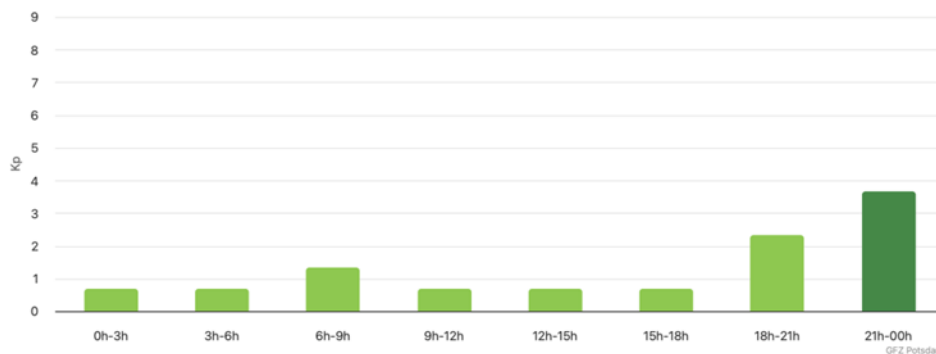
A partir de la Figura 9 se puede comprobar que las variaciones que tienen lugar no son lo suficientemente significativas en términos de estructuras heliosféricas (por ejemplo: eyecciones de masa coronal), es decir, existen variaciones típicas del campo magnético y de los diferentes parámetros del plasma asociados al viento solar. En las mediciones in-situ se debe identificar un aumento de aproximadamente de 2 a 5 veces el valor típico del campo magnético en el viento solar, además de identificar una rotación en los diferentes componentes del campo magnético lo cual caracteriza a este tipo de estructuras. Para mayor información se puede consultar (Kunow, et al., 2006).

Durante el día 14 de octubre de 2024 también las condiciones geomagnéticas, definidas por el índice Kp, el cual mide las fluctuaciones de la componente horizontal del campo geomagnético. Se establece una escala de 0.0 a 9.0 de forma que valores superiores a 4.0 indican perturbaciones magnéticas figura 9. Se utiliza el índice Dst como se aprecia en la figura 10 el cual se utiliza para evaluar la severidad de las tormentas

geomagnéticas, relacionadas con fenómenos solares/interplanetarios. En general, los valores superiores a -20.0 nT no representan perturbaciones significativas lo cual implica que las condiciones geomagnéticas son estables.

Figura 9

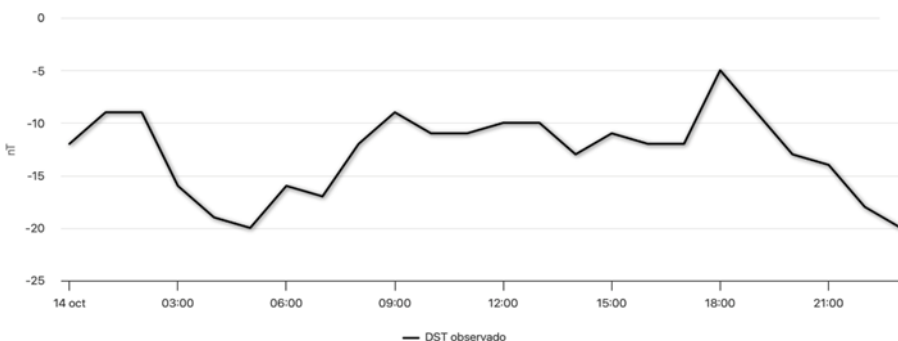
Índice Kp Potsdam de los valores obtenidos.



Nota: Índice Kp para el 14 de octubre de 2024, donde se observan condiciones calmas durante el día, es decir, valores del índice Kp menores a 4.0. Cortesía: Space Weather Live y GFZ Potsdam.

Figura 10

Índice Dst para el 14 de octubre de 2024



Nota: Índice Dst para el 14 de octubre de 2024, donde no se observan variaciones significativas, es decir, valores del índice Dst menores a -20.0 nT. Cortesía: Space Weather Live y WDC for Geomagnetism, Kyoto.

Las mediciones in-situ y los gráficos de las condiciones geomagnéticas muestran que no hay evidencia concluyente de un evento de origen solar que haya perturbado las condiciones magnéticas o los parámetros del plasma en el ambiente espacial cercano a la Tierra y pueda haber provocado un incremento en la tasa de radiación observado el día 14 de octubre de 2024. Es importante enmarcar que como se muestra en la Figura 7, las mediciones se realizaron cerca de una falla comprobada y de un lineamiento geológico, lo que podría generar una contribución por gas radón, pero no se puede afirmar con certeza que esto provocara el pico de medición.

Conclusiones

El análisis de la actividad solar en el registro de ventana temporal de 48 horas antes y después del evento registrado como valor pico no permite evidenciar que el valor anómalo sea producto de actividad solar, evidenciando la necesidad de profundizar en el estudio del posible aporte de la falla Zogaib.

Se logro el involucramiento de estudiantes de primer año de la carrera de física con mención en física medica de la generación entrante en 2024, como primer acercamiento hacia los procesos de investigación, permitiendo una formación académica con una visión práctica, realizando manejo de equipo especializado en la detección de radiación Gamma, reconociendo niveles orientativos de exposición de radiación y sus efectos en la salud.

En la representación por medio de mapa de la distribución espacial de la tasa de dosis de radiación gamma de fondo ambiental se aprecia un aumento cuantitativo en las zonas cercanas a la falla Zogaib, mientras que se observa homogeneidad de valores en la zona Sur con bajas intensidades.

Se aporoto al conocimiento de los fenómenos físicos presentes en el país, permitiendo interacción entre Universidad-Sociedad- Estado, en esta oportunidad sirviendo como base para autoridades locales, instituciones de protección civil y ministerios en la toma de decisiones, fortaleciendo la extensión universitaria a través de resultados concretos.

Referencias bibliográficas

- Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (GRUN). (19 de Julio de 2024). Estrategia Nacional de Educación en todas sus Modalidades "Bendiciones y Victorias" 2024-2026. Managua, Managua, Nicaragua.
- Consejo de Seguridad Nuclear. (2025). *Consejo de Seguridad Nuclear*. Recuperado el 22 de Agosto de 2025, de <https://www.csn.es/radiacion-gamma-ambiental>
- Hayakawa, H., Ebihara, Y., Mishev, A., Koldobskiy, S., Kusano, k., Bechet, S., & Miyoshi, Y. (2025). The Solar and Geomagnetic Storms in 2024 May: A Flash Data Report. *The Astrophysical Journal*.
- Heier, K. (1965). Radioactive elements in the continental crust. 497-480. Obtenido de <https://www.nature.com/articles/208479b0>
- Kunow, H., Crooker, N. U., Linker, J. A., Schwenn, R., Steiger, R. V., Z, T. u., & Richardson, I. G. (2006). In-situ solar wind and magnetic field signatures of interplanetary coronal mass ejections. *Coronal mass ejections*, 31-43.
- Mendoza, J. S., Castillo, A., & Roas, N. (14 de Septiembre de 2021). ENVIRONMENTAL DOSIMETRY IN THE RADIATION PHYSICS AND METROLOGY LABORATORY (LAF-RAM). Managua.
- National Aeronautics and Space Administration. NASA. (03 de Agosto de 2021). *9 min read*. (N. S. Team, Editor) Obtenido de https://science-nasa-gov.translate.google/science-research/earth-science/earths-magnetosphere-protecting-our-planet-from-harmful-space-energy/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sge
- Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA). (24 de 02 de 2017). *Naturally occurring radioactive material*. Obtenido de <https://www.iaea.org/topics/radiation-safety-norm>
- QGIS project. (06 de Mayo de 2025). *QGIS documentation*. Obtenido de https://docs.qgis.org/3.40/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html
- Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. (Marzo de 2024). Política Estrategia de Calidad UNAN-Managua. Managua, Managua, Nicaragua: Editorial Universitaria UNAN-Managua.
- Webber. (1967). The spectrum and charge composition of the primary cosmic radiation. *Springer-verlag*, 46(02).
- Xochilt Esther Zambrana Areas. (2019). Peligro Sísmico por Efecto de Sitio en el Recinto Universitario Rubén Darío de la UNAN-Managua. Nicaragua. *Revista Científica FAREM-Estelí medio ambiente, tecnología y desarrollo humano*, 84-93.

