

Desarrollo de herramientas basadas en ciencia de datos para la visualización de la información proveniente de la instrumentación digital del Observatorio Geomagnético de Fúquene, Colombia

Alejandro Tabares Duque

Asesor

Jorge Eliecer Ospino Portillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI
Especialización Ciencia de Datos y Analítica

2025

Resumen

El campo magnético terrestre se origina en el núcleo externo de la Tierra, donde el movimiento de metales líquidos genera corrientes eléctricas que crean este campo. Este fenómeno forma una capa protectora, la magnetosfera, encargada de proteger a nuestro planeta de las radiaciones cósmicas. Dado que el campo magnético no es homogéneo en su distribución espacial y presenta variaciones con el tiempo, su monitoreo es fundamental. En este contexto, los observatorios geomagnéticos desempeñan una importante labor en el seguimiento de estas variaciones. Desde 1955 Colombia ha contribuido a la comunidad científica internacional aportando información por medio del Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) que actualmente emplea instrumentación digital y de última generación capaz de realizar mediciones por segundo diariamente.

El gran volumen de información generado por el FUQ exige el desarrollo de herramientas de ciencia de datos que optimicen la visualización y análisis de la información para facilitar su uso y comprensión. Este proyecto tiene como objetivo desarrollar un sistema automatizado de procesamiento y visualización de datos utilizando Python, integrando archivos diarios en un archivo mensual y almacenándolo en una base de datos SQL. Además, se busca generar visualizaciones automatizadas de los datos geomagnéticos, facilitando el acceso y la comprensión tanto para el público general como para la comunidad científica.

Palabras claves: Geomagnetismo, variómetro, automatización, python.

Abstract

The Earth's magnetic field originates in the planet's outer core, where the movement of liquid metals generates electric currents that create this field. This phenomenon forms a protective layer, the magnetosphere, which shields our planet from cosmic radiation. Due to the magnetic field not being spatially homogeneous and exhibiting temporal variations, continuous monitoring is essential. In this context, geomagnetic observatories are very important for tracking these variations. Since 1955, Colombia has contributed to the international scientific community through the Fúquene Geomagnetic Observatory (FUQ), which currently employs state-of-the-art digital instrumentation capable of performing measurements every second throughout the day.

The large volume of information produced by the FUQ requires the development of data-science tools that optimize data visualization and analysis to improve its usability and interpretation. This project aims to develop an automated system for processing and visualizing data using Python, integrating daily files into a monthly dataset and storing it in an SQL database. Additionally, it seeks to generate automated visualizations of geomagnetic data, facilitating access and understanding for both the general public and the scientific community.

Key Words: Geomagnetism, variometer, automatization, python.

Tabla de Contenido

Introducción	7
Justificación	8
Objetivos.....	9
General.....	9
Específicos.....	9
Marco Conceptual y Teórico	10
Metodología	12
Recolección y Preparación de Datos	12
Recolección de Datos	12
Organización y Almacenamiento	13
Procesamiento de Datos.....	14
Análisis y Visualización de Datos	15
Análisis Estadístico.....	15
Visualización de Datos	15
Pruebas Experimentales.....	17
Evaluación y Documentación	17
Herramientas Utilizadas.....	17
Control de Calidad y Validación	17
Conclusiones	18
Recomendaciones	19
Referencias Bibliográficas	20
Apéndices.....	23

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Estructura de un Archivo. Sec para el Día 20240122</i>	13
Figura 2 <i>Estructura Original de los Archivos en cada Carpeta Mensual</i>	14
Figura 3 <i>Archivo py Automatizado</i>	15
Figura 4 <i>Componentes Geomagnéticas</i>	16

Lista de Apéndices

Apéndice A *Carta de Autorización Manejo de Datos* 23

Apéndice B *Scripts, Imágenes y Evidencias de las Actividades* 23

Introducción

El campo magnético terrestre es de gran importancia en la protección del planeta frente a las radiaciones cósmicas, al formar una capa conocida como la magnetosfera. Este fenómeno físico que se genera por el movimiento de metales líquidos al interior de la tierra, en el núcleo externo, presenta variaciones espaciales y temporales, por lo cual es importante su monitoreo constante. Los observatorios geomagnéticos alrededor de la Tierra realizan una importante labor al registrar y analizar estas variaciones. En Colombia, el Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ), desde su fundación en 1955, ha contribuido a la investigación internacional sobre el campo magnético terrestre. Debido a la antigüedad de los equipos análogos, la recolección de datos se detuvo en 2022, pero gracias a una inversión significativa realizada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en 2023, el observatorio reinició la recolección de datos desde enero del 2024 con instrumentación digital, capaz de generar datos geomagnéticos a una resolución de un segundo.

El gran volumen de datos generado por esta nueva instrumentación plantea retos al necesitarse optimizar su gestión, análisis y visualización, tareas por las cuales se pueda garantizar que la información sea accesible tanto para la comunidad científica como para el público en general. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar herramientas de ciencia de datos que permitan procesar, analizar y visualizar los datos generados por el FUQ. Este proyecto incluye la automatización del procesamiento de archivos diarios en un único archivo mensual, el almacenamiento en bases de datos SQL, y la generación de visualizaciones automatizadas que reflejen las variaciones geomagnéticas y otros parámetros relevantes. Con ello, se busca contribuir al estudio del campo geomagnético terrestre y su accesibilidad a diversos usuarios.

Justificación

La reactivación del Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) es fundamental para las investigaciones del campo geomagnético en Colombia y contribuir a los estudios globales en esta área. Desde 1955 El Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) reportó datos análogos al World Data Center hasta el 2022, cuando daños irreparables en los instrumentos análogos, de setenta años de antigüedad, detuvieron las mediciones. Entre 2023 y 2024 el IGAC hizo inversiones significativas al FUQ, adquiriendo equipos digitales de última generación que realizan medidas al segundo, desde el 1 de enero del 2024, aumentando significativamente el volumen de la información, creando la necesidad de utilizar herramientas de ciencia de datos para la visualización y análisis eficiente de la información (Torres et al., 2024).

Objetivos

General

Desarrollar herramientas de ciencia de datos que optimicen la visualización y el análisis de la información generada por la instrumentación digital del Observatorio Geomagnético de Fúquene, facilitando su uso para la comunidad científica y para el público general.

Específicos

Automatizar el procesamiento de datos mediante el desarrollo de un script en Python que integre archivos diarios en un solo archivo mensual, mejorando la gestión de datos y su almacenamiento.

Realizar consultas en una base de datos SQL (PostgreSQL), permitiendo la manipulación y consulta de los datos existentes para llevar a cabo las acciones necesarias y facilitar el acceso requerido para las visualizaciones.

Generar visualizaciones automatizadas de los datos geomagnéticos en sus componentes horizontal (H), declinación (D) y vertical (Z), así como gráficos de control de temperatura de los equipos.

Marco Conceptual y Teórico

El campo magnético terrestre es un fenómeno generado por el movimiento de metales líquidos en el núcleo externo de la Tierra, produciendo corrientes eléctricas y, en consecuencia, campos magnéticos (Ramírez et al., 2022). Este fenómeno físico no es homogéneo en su distribución espacial y presenta variaciones temporales, lo que indica la necesidad de monitorear su comportamiento en todo el planeta. La función de los observatorios magnéticos a nivel mundial es importante para poder analizar el campo magnético y la magnetosfera, la cual sirve como mecanismo de defensa de la Tierra contra la radiación cósmica (Oughton et al., 2019). Desde su fundación en 1955, el Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) en Colombia ha contribuido a esta labor, reportando datos al World Data Center. Sin embargo, la antigüedad de los equipos análogos interrumpió esta tarea en 2022. Debido a la gran importancia de retomar el monitoreo, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi realizó una inversión significativa en 2023, permitiendo la adquisición de equipos digitales de última generación y así reiniciar la recolección de datos desde enero del 2024. Torres et al. (2024) destacan la importancia de retomar las mediciones para contribuir con datos al estudio del campo geomagnético durante los próximos 50 años. Además, el FUQ ahora tiene el compromiso de hacer que esta información sea accesible a nivel nacional e internacional, cumpliendo con los estándares de las organizaciones científicas globales.

El uso de herramientas de ciencia de datos aplicadas a la gestión y análisis de datos geomagnéticos permite manejar de manera eficiente los grandes volúmenes de información que los instrumentos modernos generan. Esto posibilita un acceso rápido a los datos para la comunidad científica. La reactivación del Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) en 2024, con nuevos equipos digitales, destaca la necesidad de tales herramientas de análisis para

mantener una calidad y accesibilidad óptimas de los datos. La publicación de esta información esencial para varias disciplinas: facilita el monitoreo de tormentas geomagnéticas en el clima espacial (Ikkinen, 2017), mejora la precisión de los modelos de navegación aérea y marítima (Thébault et al., 2015), y fortalece la cooperación científica internacional, contribuyendo a un conocimiento global compartido del campo magnético terrestre.

Metodología

Este proyecto se basa en un enfoque cuantitativo y descriptivo para analizar las variaciones geomagnéticas en el Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ). El proyecto fue ejecutado en cuatro fases, en ellas se detallan las técnicas y herramientas utilizadas, los métodos de análisis y controles de calidad de los datos.

Recolección y Preparación de Datos

Recolección de Datos

Los datos geomagnéticos se recopilan diariamente por el variómetro instalado en el FUQ. Este dispositivo mide la variación del campo magnético, generando varios archivos con esta información. El archivo en formato .sec es quien contiene la información detallada al segundo, y es el que se utilizará en este proyecto.

La estructura del archivo .sec incluye datos clave como la fecha, hora, componentes geomagnéticas (FUQD, FUQH, FUQZ, y FUQF), y especificaciones del observatorio (como datos geográficos, nombre de la estación y frecuencia de muestreo).

Figura 1

Estructura de un Archivo. Sec para el Día 20240122

+ x fuq20240122vsec.sec							
1	Format	IAGA-2002					
2	Source of Data	IGAC					
3	Station Name	FUQUENE					
4	IAGA CODE	FUQ					
5	Geodetic Latitude	5.47					
6	Geodetic Longitude	-73.737					
7	Elevation	2543					
8	Reported	DHZF					
9	Sensor Orientation	HDZ					
10	Digital Sampling	0.0078125 seconds					
11	Data Interval Type	Filtered 1-second (52-00)					
12	Data Type	Variation					
13	#						
14	#Calculated by user supplied filter						
15	#						
16	DATE	TIME	DOY	FUQD	FUQH	FUQZ	FUQF
17	2024-01-22	00:00:00.000	022	54.27	-76.97	-21.87	99999.00
18	2024-01-22	00:00:01.000	022	54.25	-76.96	-21.90	30616.62
19	2024-01-22	00:00:02.000	022	54.21	-76.98	-21.90	99999.00
20	2024-01-22	00:00:03.000	022	54.16	-76.97	-21.89	99999.00
21	2024-01-22	00:00:04.000	022	54.17	-76.95	-21.89	99999.00
22	2024-01-22	00:00:05.000	022	54.22	-76.92	-21.91	99999.00
23	2024-01-22	00:00:06.000	022	54.23	-76.90	-21.94	30616.61
24	2024-01-22	00:00:07.000	022	54.22	-76.90	-21.92	99999.00
25	2024-01-22	00:00:08.000	022	54.23	-76.92	-21.88	99999.00
26	2024-01-22	00:00:09.000	022	54.26	-76.94	-21.90	99999.00
27	2024-01-22	00:00:10.000	022	54.30	-76.93	-21.93	99999.00
28	2024-01-22	00:00:11.000	022	54.33	-76.92	-21.90	30616.62
29	2024-01-22	00:00:12.000	022	54.31	-76.94	-21.83	99999.00
30	2024-01-22	00:00:13.000	022	54.30	-76.95	-21.78	99999.00
31	2024-01-22	00:00:14.000	022	54.34	-76.93	-21.78	99999.00
32	2024-01-22	00:00:15.000	022	54.35	-76.91	-21.83	99999.00
33	2024-01-22	00:00:16.000	022	54.31	-76.94	-21.85	30616.62

Nota. Tomada de base de datos FUQ

Organización y Almacenamiento

Los archivos recolectados se organizan en carpetas, clasificadas por año y mes. Solo se procesan aquellos archivos con extensión .sec, ya que contienen las mediciones segundo a segundo.

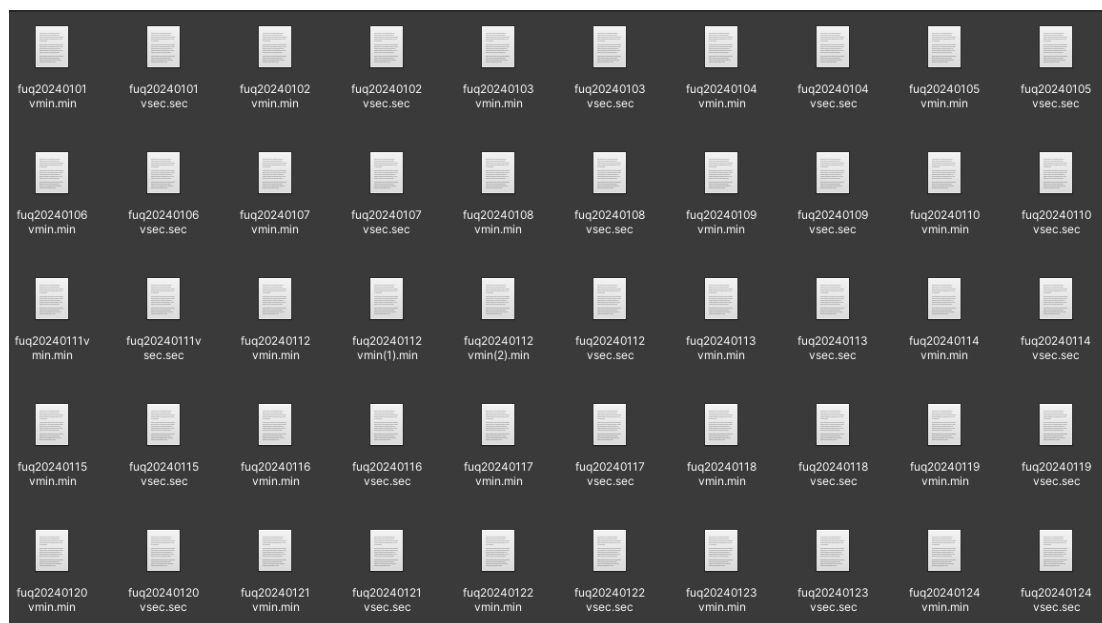
Se realizará una limpieza inicial para identificar y eliminar archivos duplicados en un mismo día.

Los datos recolectados por segundo de cada mes se organizan en carpetas nombradas “YYYYDD”. El desarrollo de esta fase comprende el script hecho en lenguaje python, el cual

automáticamente comprime todos los archivos diarios en un solo archivo mensual (para acceder al script entrar al enlace puesto en los anexos).

Figura 2

Estructura Original de los Archivos en cada Carpeta Mensual



Nota. Tomada de la unidad local

Procesamiento de Datos

Se identifican valores ausentes, que en los datos crudos se muestran como un valor ‘99999.00’. Luego, se emplea un método de interpolación en función de los datos disponibles en una hora. Si faltan datos en una hora completa, estos se reemplazan por ceros para que la falta de datos quede registrada y en las visualizaciones se pueda apreciar un ‘gap’ o hueco en la gráfica.

Los archivos diarios se combinan en un archivo mensual único, facilitando el almacenamiento y análisis. El archivo consolidado incluye las columnas DATE, TIME, DOY, FUQD, FUQH, FUQZ, y FUQF.

Figura 3

Archivo py Automatizado

```

1  Librerías
2
3  import os
4  from collections import Counter, OrderedDict
5
6  # Carga de los datos
7  # Directorio donde se encuentran los archivos .sec
8  directory = ''
9
10 # Inicializa un diccionario para contar las fechas
11 date_counter = Counter()
12
13 # Diccionario para almacenar los datos por fecha
14 data_dict = {}
15
16 # Procesa cada archivo en el directorio
17 for i, filename in enumerate(os.listdir(directory)):
18     if filename.endswith(".sec"):
19         # Extrae la fecha del nombre del archivo
20         date_part = filename[3:11]
21         date_counter[date_part] += 1
22
23     # Lee el archivo .sec
24     file_path = os.path.join(directory, filename)
25     with open(file_path, 'r') as file:
26         lines = file.readlines()
27
28     # Encuentra la línea donde están los datos

```

Nota. Tomada de Visual Studio Code

Análisis y Visualización de Datos

Análisis Estadístico

Para comprender las tendencias geomagnéticas, se emplean técnicas de visualización e interpolación temporal. El objetivo es facilitar el análisis visual de patrones de variación en las diferentes componentes magnéticas para que los expertos puedan interpretar estos cambios.

Se incluyen métodos de normalización basados en la línea base de las componentes geomagnéticas.

Visualización de Datos

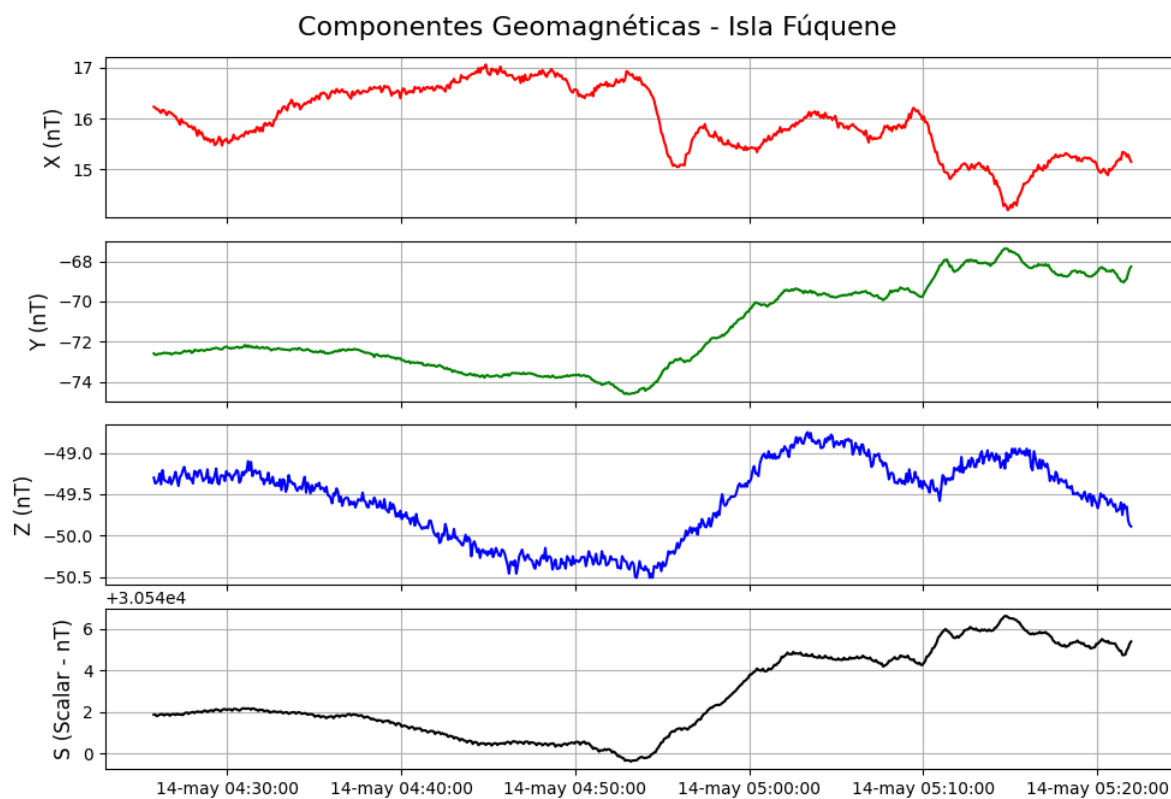
Se generan gráficos de series de tiempo para cada componente geomagnética (FUQD, FUQH, FUQZ y FUQF). Estos gráficos permiten observar las variaciones geomagnéticas a lo largo del tiempo.

Los gráficos a su vez reflejan las ausencias de datos, permitiendo tener un monitoreo constante del funcionamiento de la estación.

El desarrollo de esta fase comprende el script hecho en lenguaje python, el cual automáticamente genera las gráficas de las cuatro componentes nombradas anteriormente (para acceder al script entrar al enlace puesto en los anexos).

Figura 4

Componentes Geomagnéticas



Nota. Tomada del script desarrollado

Pruebas Experimentales

Las interpolaciones y controles de datos fueron y siguen siendo validados para determinar la precisión de los datos; con el fin de identificar cualquier sesgo introducido por el método de interpolación o el tratamiento de valores faltantes.

Se seguirán realizando ensayos de prueba y error para determinar los métodos de normalización adecuados según la línea base.

Evaluación y Documentación

Los resultados y visualizaciones generadas se revisaron con el líder del grupo de geomagnetismo para asegurar que reflejan correctamente las variaciones geomagnéticas diarias y mensuales a partir de los archivos crudos.

Herramientas Utilizadas

Librerías y Software de Procesamiento de Datos: Python, pandas para manipulación de datos; matplotlib para visualización, entre otras.

Control de Calidad y Validación

Con esta metodología, el proyecto garantiza la captura, el procesamiento y la evaluación efectiva de los datos geomagnéticos, permitiendo observaciones de las variaciones diarias y mensuales del campo magnético en Fúquene.

Conclusiones

La implementación de herramientas en ciencia de datos en el Observatorio Geomagnético de Fúquene (FUQ) garantiza el manejo eficiente de un gran volumen de datos que proviene de la nueva instrumentación digital y así contribuir al monitoreo constante del campo magnético terrestre en el área de influencia del FUQ.

El desarrollo de un sistema de automatización para la gestión de datos utilizando Python, junto con el uso de bases de datos SQL, permite integrar y almacenar archivos diarios en formatos consolidados mensuales, mejorando la organización de los datos.

El desarrollo de un sistema de automatización para la visualización de las componentes geomagnéticas (H, D, Z) brinda herramientas para monitorear variaciones y asegurar la calidad de los datos.

La reactivación del FUQ con instrumentación moderna demuestra la necesidad de desarrollar herramientas basadas en ciencia de datos para poder agilizar procesos y permitir a los usuarios acceder a la información de manera eficiente.

La aplicación de la ciencia de datos en áreas científicas como el geomagnetismo evidencia la importancia de contar con equipos interdisciplinarios capacitados en el manejo de grandes volúmenes de información. La incorporación de estas competencias permite optimizar procesos, garantizar la calidad de los productos generados y fortalecer el desarrollo institucional mediante herramientas modernas y eficientes.

Recomendaciones

La reactivación del FUQ con instrumentación digital demuestra la necesidad de que los grupos de trabajo en la subdirección cartográfica y geodésica cuenten con personal capacitado para el desarrollo de herramientas capaces de gestionar grandes volúmenes de datos y automatizar procesos para cumplir de manera eficiente con los objetivos de la subdirección.

Proveer entrenamiento especializado a los trabajadores que se relacionan con el FUQ en el uso de herramientas en ciencia de datos para maximizar el aprovechamiento de los sistemas que se van desarrollando.

Es importante continuar con los ensayos y su análisis para garantizar la calidad de los datos obtenidos por las automatizaciones, y así poder usarlas en un futuro.

Referencias Bibliográficas

- Alken, P., & Maus, S. (2016). Observations, Modeling and Systems Analysis in Geomagnetic Data Interpretation. En Geomagnetic Observations and Modeling (pp. 147-169). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23570-2_8
- Boschetti, A., & Massaron, L. (2016). Python Data Science Essentials - Second Edition (Vol. 0002). Packt Publishing.
- Cárdenas, R. (2019). Big Data el nuevo orden de la información y la comunicación. Publicaciones e Investigación, Sello Editorial UNAD.
- Finlay, C. C., Kloss, C., Olsen, N., Hammer, M. D., Tøfner-Clausen, L., Grayver, A., & Kuvshinov, A. (2020). The CHAOS-7 geomagnetic field model and observed changes in the South Atlantic Anomaly. *Earth, Planets and Space*, 72(156).
<https://doi.org/10.1186/s40623-020-01252-9>
- Galea, A. (2018). Applied Data Science with Python and Jupyter: Use Powerful Industry-standard Tools to Unlock New, Actionable Insights From Your Data (Vol. 1st ed.). Packt Publishing.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2023). Especificaciones técnicas de gravimetría (Código IN-GEO-PC-01-01, Versión 1).
- Intermagnet. (2022). Technical Reference Manual. Intermagnet.
https://intermagnet.org/docs/Technical-Manual/technical_manual.pdf
- Kane, F. (2017). Hands-On Data Science and Python Machine Learning. Packt Publishing.
- Liu, J., Zhang, H., & Yan, Z. (2024). Strategies in the Quality Assurance of Geomagnetic Observation Data in China. *Data Science Journal*, 13, DSJ-2024-009.
<https://doi.org/10.5334/dsj-2024-009>

- Macmillan, S., & Maus, S. (2005). International Geomagnetic Reference Field—the tenth generation. *Earth, Planets and Space*, 57(12), 1135-1140.
- Oughton, E. J., Hapgood, M., Richardson, G. S., Beggan, C. D., Thomson, A. W. P., Gibbs, M., Burnett, C., Gaunt, C. T., Trichas, M., Dada, R., & Horne, R. B. (2019). A risk assessment framework for the socioeconomic impacts of electricity transmission infrastructure failure due to space weather: An application to the United Kingdom. *Risk Analysis*, 39(5), 1022-1043. <https://doi.org/10.1111/risa.13229>
- Ramírez, J. C., & Rojas, C. A. (2022). Time Study of Earth's Magnetic Field in Colombia: Fúquene Geomagnetic Observatory. *Ciencia en Desarrollo*, 13(2), 27-36. <https://doi.org/10.19053/20278306.12941>
- Reay, S. J., Clarke, E., Dawson, E., & Macmillan, S. (2013). Operations of the World Data Centre for Geomagnetism, Edinburgh. *Data Science Journal*, 12, Article WDS-005. <https://doi.org/10.2481/dsj.WDS-005>
- Sugianto, D., & Sugiarto, W. (2021). Production of definitive data from Indonesian geomagnetic observatories. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 10(1), 169-181. <https://doi.org/10.5194/gi-10-169-2021>
- Ternat, A., Scherneck, H.-G., & Korte, M. (2023). Analysis of geomagnetic observatory data and detection of geomagnetic jerks with the MOSFiT software package. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, 12(1), 271-284. <https://doi.org/10.5194/gi-12-271-2023>
- Torres Moya, E., Alva Carmona, M. R., Villafañe Romero, J. J., Rasson, J., Gómez Pérez, N., & Vargas Domínguez, S. (2024). Actualización tecnológica del Observatorio Geomagnético

de Fúquene y su importancia mundial. En Semana Geomática: 10ª Edición Internacional 2024. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Apéndices

Apéndice A

Carta de Autorización Manejo de Datos

https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/atabaresd_unadvirtual_edu_co/EZmKRbQqknpFugo5RNfRo9EBWIBh3oiyB1QKrOawZWLA0g?e=G3G34v

Apéndice B

Scripts, Imágenes y Evidencias de las Actividades

https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:f:/g/personal/atabaresd_unadvirtual_edu_co/EugVbHY6buJDsoKXpHpAizwB7XsAxEkPfySbwoDj3lxUTw?e=HihDIP