

# Procesamiento y Visualización de Datos Ionosféricos Históricos (1957-1987) con Herramientas Modernas de Análisis

## Ionospheric Data Processing and Visualization (1957-1987) with Modern Data Analysis Tools

Presentación: 18/11/2024

### Elsa Soledad Rasgido

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
[soledadrasgido@alu.frt.utn.edu.ar](mailto:soledadrasgido@alu.frt.utn.edu.ar)

### Jorgelina Luisa López

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
[jorgelinaluisa@gmail.com](mailto:jorgelinaluisa@gmail.com)

### Resumen

Este estudio analiza 31 años de datos históricos (1957-1987) de la ionosfera sobre Tucumán, Argentina, recolectados mediante sondadores ionosféricos. Los datos incluyen mediciones horarias de la frecuencia crítica de la capa F2 (foF2), influenciada por ciclos solares y eventos geomagnéticos. Se identificaron patrones claros de aumento en foF2 durante los picos de actividad solar y una disminución en periodos de baja actividad. Además, se analizaron las clasificaciones por letras, revelando su utilidad para identificar estados específicos de la ionosfera.

La modernización del análisis combinó Power BI para la preparación y limpieza de datos, y Tableau para visualización interactiva, permitiendo detectar periodos sin datos y correlaciones con la actividad solar. Este enfoque no solo mejora la comprensión regional del impacto de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur, sino que también establece un modelo replicable para estudios de datos históricos con herramientas modernas.

Palabras claves: Ionosfera, Procesamiento de Datos, Visualización.

### Abstract

This study examines 31 years of historical ionospheric data (1957-1987) over Tucumán, Argentina, collected using ionosondes. The dataset includes hourly measurements of the critical frequency of the F2 layer (foF2), influenced by solar cycles and geomagnetic events. Clear patterns were identified, with increased foF2 during solar activity peaks and decreases during low-activity periods. Additionally, letter-based classifications were analyzed, highlighting their utility in identifying specific ionospheric states.

Modern analysis combined Power BI for data preparation and cleaning, and Tableau for interactive visualization, enabling the identification of data gaps and correlations with solar activity. This approach not only enhances the regional understanding of the South Atlantic Magnetic Anomaly's impact but also establishes a replicable model for historical data studies using modern tools.

Keywords: Ionosphere, Data Processing, Visualization.

### Introducción

La ionosfera sobre Tucumán, Argentina, ha sido objeto de estudios detallados debido a su ubicación dentro de la Anomalía Magnética del Atlántico Sur (AMAS) y su proximidad al Cinturón de Radiación de Van Allen. Estos fenómenos afectan significativamente las características ionosféricas en la región, influyendo en la densidad de electrones y en el comportamiento de esta capa en respuesta a la actividad solar (Yi & Xu, 2023). La AMAS influye notablemente en las

condiciones ionosféricas y ha sido relacionada con variaciones en las señales de radio y otros fenómenos relacionados con las telecomunicaciones (Heirtzler, 2002). Estudiar la ionosfera en esta región no solo proporciona una visión más profunda de los patrones de ionización, sino que también es clave para la mejora de las predicciones ionosféricas en América del Sur y la protección de infraestructuras tecnológicas.

Para poder entender la ionosfera es necesario contar con datos históricos para comprender cambios a largo plazo. Ya que la ionosfera responde a diferentes factores—como el ciclo solar de 11 años, eventos geomagnéticos (tormentas solares), y fenómenos atmosféricos (como los ciclos climáticos)—es esencial contar con registros de datos extensos. Estos datos históricos ayudan a establecer patrones y modelos de comportamiento a largo plazo, lo cual es imposible de realizar con datos limitados a pocos años recientes.

En el CIASUR, desde 1957 a 1987 se realizó la recolección de datos de la ionosfera con Sondadores Ionosféricos (Ionosondas). El periodo de 31 años abarca diferentes ciclos solares y periodos de actividad geomagnética, proporcionando un rango de observación diverso para estudiar variaciones en la ionosfera. Los parámetros sobre los que se recolectó datos son f2m (Frecuencia Máxima de Transmisión de la Ionosfera), foE (Frecuencia Crítica de la Capa E), foF1m (Frecuencia Crítica de la Capa F1 Mínima), foF2 (Frecuencia Crítica de la Capa F2).

Los datos ionosféricos suelen aparecer los valores junto con las letras para codificar información adicional o clasificar los datos, conocidos como códigos de notación o clasificación de datos. Estos códigos no solo aportan información sobre el estado de la ionosfera, sino que también estandariza y califica las mediciones, lo que es crucial para interpretar estos datos en estudios científicos y aplicaciones prácticas como telecomunicaciones y navegación satelital.

Como primera etapa de este estudio se tiene por objetivo analizar el comportamiento de los datos de Frecuencia Crítica de la Capa F2 de los 31 años. Bajo una interpretación de patrones de comportamiento de los datos recolectados, basándose en la combinación de valores y letras para clasificar los datos. Y además contrastar este comportamiento con los ciclos solares.

Actualmente podemos contar con diversas herramientas modernas de análisis de datos que contribuyen a la ciencia. La modernización de las herramientas de análisis de datos (como Tableau y Power BI), el uso de datos históricos puede verse desde nuevas perspectivas, permitiendo realizar visualizaciones más precisas, detalladas y de manera simple.

Para analizar los datos se combinó el uso de Power BI y Tableau. En Power BI se aprovechó su potencial para la preparación de datos, limpieza y curación inicial, con su potente editor de consultas y conectividad con diversas fuentes de datos. Mientras que Tableau se usó para el modelado avanzado y la creación de visualizaciones interactivas que luego pueden ser compartidas públicamente a través de Tableau Public, lo que no es posible con Power BI sin costes adicionales.

Este enfoque de combinar Power BI y Tableau permite aprovechar las fortalezas de ambas herramientas, optimizando la preparación de los datos y maximizando las capacidades de visualización y difusión. Así, este estudio se convierte en un punto de referencia para la incorporación de métodos modernos de análisis en la investigación de fenómenos naturales a través de datos históricos

## Metodología

### 1. Captura y Almacenamiento de Datos

#### 1.1. Muestreo y Frecuencia de Recolección

La recolección de datos ionosféricos se realizó mediante sondadores ionosféricos, que emiten pulsos de radiofrecuencia y registran el tiempo de retorno y otras propiedades de las señales reflejadas en la ionosfera. Durante el período de estudio (julio de 1957-mayo de 1987), se realizaron mediciones a intervalos regulares de una hora, acumulando datos las 24 horas del día.

Este muestreo horario fue suficiente para captar variaciones diurnas y estacionales, así como perturbaciones relacionadas con eventos solares (Mendoza et al., 2003). La consistencia en la frecuencia de recolección garantiza la comparabilidad de los datos a lo largo de los años, lo que es esencial para análisis de tendencias y estudios climáticos ionosféricos.

#### 1.2. Almacenamiento de Datos

Inicialmente, los datos recolectados se registraron manualmente en papel, utilizando tablas que contenían valores numéricos correspondientes a las observaciones horarias. Con el tiempo, estas tablas fueron digitalizadas en planillas Excel, lo que permitió organizar los datos en un formato estructurado para su posterior análisis.

En el contexto moderno, los datos continúan en formato Excel, almacenados en la nube del CIASUR, que ofrecen mayor seguridad y acceso global. Esto asegura que los datos históricos permanezcan disponibles para su integración en estudios contemporáneos.

La estructura de la planilla Excel con los datos ionosféricos es la que se muestra en la Fig. 1, existe un archivo por cada mes en el año.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
1	UNF - Univ. Nacional de Tucumán - Fac. de Cs. Exactas y Tec.																								
2	Direc. de Física - Laboratorio de Ionosfera																								
3	Av. Independencia 1800 - (4000) S.M. de Tucumán - ARGENTINA																								
4	DATOS IONOSFÉRICOS																								
5	característica f0F2	unidad 0.1MHz	unidad 0.1MHz	mes-LLJJ año 1957	tiempo medido del meridiano: 60 V																				
6	estación: Tucumán	latitud 26.9 S	lonitud 65	bando: 1MHz a 25MHz en 30 seg.	automático																				
7	DIA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
8	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
9	1	94US	101	101UR	74	81	79	67	58UF	105DR	107DR	125	141	142	151UR	143DR	170UR	174UR	179UR	145DR	160DR	117DR	105DR	86H	79
10	2	70	74	73	62	66	50	44	51	88	91	119	117	125	142	133	136	138UR	128	130	132DR	110UR	101US	117UR	119
11	3	130	120UR	141	83	47	36	38	58	102	119	119	118	131	141	150UR	150DR	150DR	150UR	147UR	130	125US	123US	122US	125
12	4	93UR	58	36	30	63	30	27	46	65	139	120	108	134	146	155UR	160UR	149US	140US	130US	165DS	165DS	112US	116	86
13	5	83	61	47	41F	F	F	F	F	111	107US	108US	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	147UR	132
14	6	63	47	45	47	47	48	47	64	108UR	154C	148US	140	130UR	139UR	144US	151US	143US	140US	130UR	118US	115US	110US	111US	98US
15	7	32US	85	91UR	88	77	50	49	67	100US	113	123	109	130	134UR	127	145US	150DS	150DS	145DS	141US	131US	124US	118US	119US
16	8	103US	59US	30US	60	62	39	40	56	104US	120US	130	140US	147US	145DS	139US	143US	150US	140US	140US	127UR	125DS	130US	129US	125DS
17	9	109US	124US	110US	76	44	47	44V	59	96US	124	135UR	132UR	150UR	150UR	140UR	140UR	140UR	140UR	139US	127UR	130UR	115DS	123US	100US
18	10	80	72	68	63	47	44	45	51	93US	131UR	149UR	144UR	131	139UR	143UR	150UR	147US	146DR	138UR	130US	138US	130DS	130US	108US
19	11	106DS	39US	36US	33	79	42	33	50DS	96US	131	150DR	C	C	138UR	148UR	138UR	135UR	148US	141UR	165DS	110DS	130DS	165DS	90
20	12	97	86	80	79US	47UR	35	39US	54	95	117US	150US	130US	142UR	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
21	13	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
22	14	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
23	15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
24	16	129US	56	81	77	70	47	43	54	84	91	101US	120US	128	113	126	140DR	144DS	145DS	142DS	139US	135DS	130DS	155DS	125
25	17	120US	100US	71	61	65	45	31US	50US	30	100US	111	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	140US
26	18	132	87	88	78	62	54	51US	66US	93US	126	C	C	C	C	C	C	C	131UR	132US	128UR	123UR	129US	125US	138US
27	19	134US	121US	108	92	71	49US	47US	63US	101	120US	122UR	C	C	C	C	C	C	139US	139US	131	124	130US	135DS	136US
28	20	107	50US	83	84	68	58	60	76	180US	133UR	142US	140US	141US	141US	137US	139UR	140US	134UR	133US	127US	132US	138US	136US	128
29	21	139	90	80	80	85	67	57	60	101	107	111UR	122	138C	133	130	137US	140US	139US	C	C	C	C	C	C
30	22	66	60	62	57	43	40	41	59US	90	118US	136US	136C	136US	135DS	132US	136DS	131US	134US	130US	132US	130US	127	111	116
31	23	120	118	113	84	70	55	58	81	112US	125	131UR	131US	132UR	131UR	131UR	131UR	C	C	C	C	124UR	124UR	130C	133UR
32	24	133UR	112	98	70	53	41	43	62	107	108	108	123	130UR	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
33	25	C	98	87	80	79	44	41	57	100	124	136US	139US	139US	134US	139US	138US	137US	137US	137US	134US	131US	130US	131US	132US
34	26	124	118	99	81	75	48	41	60US	109	129	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
35	27	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
36	28	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
37	29	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
38	30	108	87	76	69	59	38	36	53	95	106	132UR	151UR	122	119	134UR	133UR	137UR	138	140	131	117UR	118	15UR	111
39	31	81	80	81	83	70	43	25	49	79	112	142	147.6	139	143	156UR	149UR	141	132	140	131	130DR	134	134	116
40	32	98	106	98	74	71	30	29	53	86	92	119	126	121	131	130	145R	140	136UR	130DR	130DR	116UR	117R	118R	119R
41	N dato	25	26	26	25	25	25	25	26	26	24	20	20	20	20	22	22	21	20	21	21	22	22	23	23
42	med	106	107	89	78	66	45	43	58	98	117	130U	132U	132	138	139U	149UR	140US	140U	140U	130US	130US	129US	123US	118
43	QI	87	85	78	68	53	40	36	53	90	107	119	121	130	134	133	136DS	137	134	130	127	116	110DS	115	100DS
44	QS	120	106	98	84	71	50	47	62	107	125	133	140	140	144	148	148	147	146DR	142DS	132DR	130DR	131	132	128

Fig. 1: Estructura de planilla Excel con Datos Ionográficos F2 mensual.

## 2. Preparación Inicial de los Datos

### 2.1. Cambio de Extensión de los Archivos

Dado que los archivos originales con los datos ionosféricos estaban almacenados en formato .xls, un formato más antiguo de Microsoft Excel con limitaciones en cuanto al número de filas y columnas soportadas, se decidió convertirlos al formato .xlsx. Este paso fue necesario por las siguientes razones:

- **Compatibilidad con Herramientas Modernas:** El formato .xlsx es más compatible con herramientas modernas de análisis de datos, como Power BI, y permite manejar un mayor volumen de datos.
- **Mayor Eficiencia:** El formato .xlsx tiene una estructura más optimizada, lo que facilita la lectura y escritura de datos.
- **Preservación de la Integridad:** Durante la conversión, se verificó que no se perdieran datos ni formatos importantes.

La conversión se realizó de manera automatizada utilizando un script diseñado para procesar múltiples archivos en lote. Este enfoque minimizó la intervención manual y garantizó la consistencia en el formato de todos los archivos.

### 2.2. Integración de Archivos en Power BI

Una vez que los archivos estuvieron en formato .xlsx, se consolidaron en una única fuente de datos utilizando la funcionalidad de Conexión a Carpeta en Power BI. Esto permitió:

- Automatizar la carga de datos desde todos los archivos en una carpeta específica.
- Detectar automáticamente estructuras de datos comunes entre los archivos.
- Establecer un flujo de trabajo dinámico para manejar actualizaciones futuras.

### 2.3. Detección y Corrección de Errores

Al cargar los datos en Power BI, se llevó a cabo una inspección inicial para identificar problemas comunes que podrían afectar la calidad del análisis, tales como:

- Errores de Típo
- Datos Faltantes
- Estructura Irregular

El proceso de corrección incluyó:

- **Normalización de Datos:** Uniformizar formatos y etiquetas.
- **Detección de Valores Anómalos:** Utilizando filtros y visualizaciones iniciales en Power BI.
- **Interpolación y Relleno:** Cuando era posible, se completaron datos faltantes basados en patrones evidentes en los datos.

Este paso preparatorio fue crucial para garantizar la calidad de los datos antes de proceder con el análisis y la modelización. La integración en Power BI permitió identificar y corregir problemas de manera más eficiente, una vez completada la Preparación Inicial de los Datos en Power BI, los datos se exportaron a un archivo unificado en formato CSV o Excel, que contiene todos los datos de los 31 años (1957-1987). Este archivo curado y modelado se importó luego en Tableau, donde los datos ya están listos para ser visualizados de manera interactiva.

## 3. Modelización de Datos para Generar Visualizaciones

la modelización de datos se centra en estructurar la información para que sea interpretable y eficiente para su uso en Tableau. Aquí se importó el archivo unificado con los datos ionosféricos de Tucumán, datos de actividad solar y las letras descriptivas y calificativas de F2.

El Modelo de Datos definido es Esquema Estrella, donde la tabla central de hechos BD\_F2 que contiene los datos ionosféricos de F2 (Fecha,Día, Hora, Año, Mes, F2\_Valor) conectada a 2 tablas de Dimensiones, Actividad\_Solar, que contienen la actividad solar registrada entre 1957 y 1987 y Letras\_Combinación donde se detalla las letras descriptivas y calificativas que se usaron en la recolección de datos, basado en el anuario de Roma 2020. El modelo de datos en Esquema Estrella se representa en un diagrama, como el Diagrama de Entidad-Relación (ER). En este diagrama se visualizan las relaciones entre la tabla central de hechos (BD\_F2) y las tablas de dimensiones (Actividad\_Solar y Letras\_Combinación). Este modelo asegura que los datos estén organizados de manera eficiente, permitiendo realizar análisis rápidos y consultas complejas sin redundancia. En la Fig.2 se muestra el diagrama del modelo de datos. La granularidad máxima de los datos es a nivel por hora.

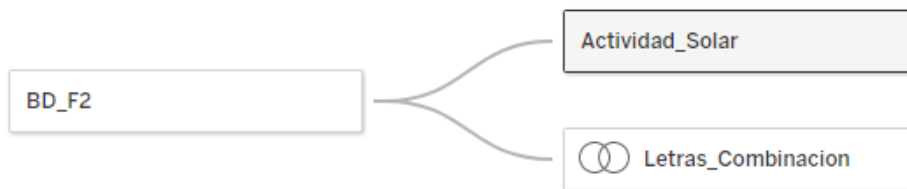


Fig. 2: Modelo de Datos en Tableau

#### 4. Generación de Visualizaciones

Una vez que los datos han sido modelados, se procede a la creación de visualizaciones interactivas en Tableau:

- Se crearon diferentes indicadores para analizar el repositorio en estudio, cuántos archivos se levantaron (cantidad de años, meses, días y horas procesados), en que momentos no se recolectó información.
- Facilitar la identificación de las apariciones de las diferentes combinaciones de letras.
- Identificar patrones o correlaciones entre los valores de la capa F2 y los eventos solares registrados.

#### Análisis de Resultados

El objetivo de este estudio fue analizar el comportamiento de los datos históricos de la Frecuencia Crítica de la Capa F2 (foF2) en Tucumán entre 1957 y 1987, bajo la influencia de la actividad solar, utilizando herramientas modernas de análisis de datos como Power BI y Tableau. Este análisis busca identificar patrones de comportamiento en la ionosfera en base a las letras descriptivas y calificativas de los valores recolectados, además de su relación con los ciclos solares.

**Resumen de los datos procesados:** Se procesaron 31 años de datos ionosféricos que fueron recolectados de sondadores ionosféricos cada hora. Los datos de la frecuencia foF2, fueron analizados para comprender la calidad del repositorio de datos.

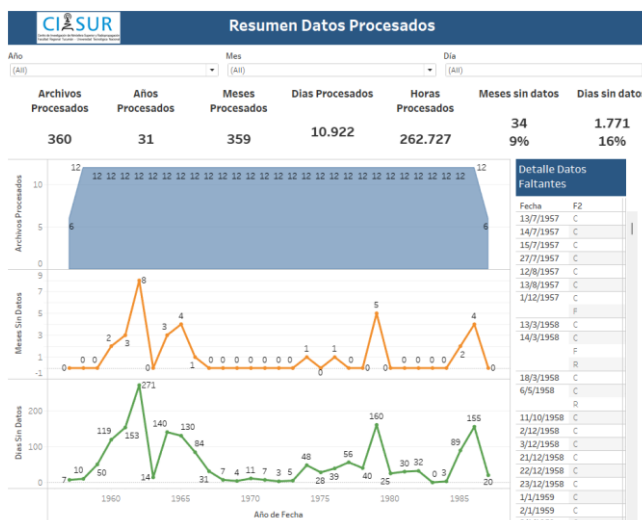


Fig. 3: Datos Procesados

En la Fig. 3 muestra los indicadores del análisis sobre los datos procesados. Podemos destacar que se analizaron 360 archivos equivalentes a 359 meses de los cuales el 9% se encuentran sin datos y dentro de los 10922 días procesados el 16% sin datos. En el año 1962 fue donde se produjo la mayor cantidad de meses sin datos, según la información que tenemos, esto se da porque el sondador estaba roto.

### Patrones Identificados en la Frecuencia Crítica de la Capa F2

El análisis de los datos muestra patrones evidentes en la Frecuencia Crítica de la Capa F2 (foF2). En particular, se observa a partir del gráfico de la Fig. 4:

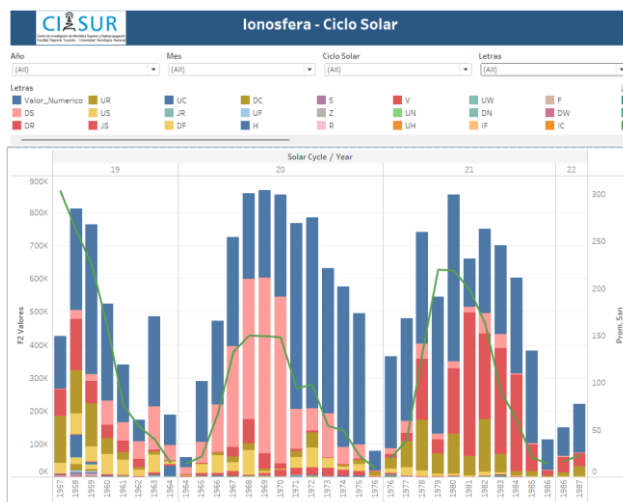


Fig. 4: Correlación de F2 con Ciclo Solar

**Impacto de los Ciclos Solares:** Se detectaron variaciones significativas en la foF2 en sincronía con los ciclos solares de 11 años. Durante los periodos de mayor actividad solar (ciclos solares 19 y 20), las frecuencias máximas de la capa F2 mostraron un aumento general en la densidad de electrones, correlacionándose con un mayor número de eventos geomagnéticos.

- **Correlaciones con la Actividad Solar**

Los resultados obtenidos mediante las visualizaciones interactivas en Tableau mostraron una correlación clara entre los datos de la actividad solar (recopilados desde 1957 hasta 1987) y las variaciones en la foF2. Al analizar los picos de actividad solar en los ciclos solares, se observó que:

Durante los picos de actividad solar, la ionosfera de Tucumán mostró una densidad electrónica mayor, lo que se traduce en un aumento de la frecuencia crítica de la capa F2.

En los ciclos de baja actividad solar, la frecuencia crítica de la capa F2 mostró valores significativamente más bajos, lo que sugiere una menor ionización y mayor absorción de las ondas de radiofrecuencia.

### Identificación de Patrones de Letras y Clasificación de Datos

Uno de los aspectos más destacados en el análisis fue la utilización de las letras combinadas para clasificar los datos. A través de las visualizaciones de las diferentes combinaciones de letras, se pudo observar cómo los códigos de clasificación variaban en función de la actividad solar y los eventos geomagnéticos. Estos patrones de letras reflejan los estados de la ionosfera y, al correlacionarlos con los picos de actividad solar, se pueden identificar momentos críticos en los cuales la ionosfera experimentó cambios sustanciales.

### Visualizaciones Interactivas

Las visualizaciones interactivas creadas en Tableau facilitaron la comprensión de la distribución temporal de los datos. Las gráficas de líneas y mapas de calor permitieron observar:

- Los picos de la frecuencia crítica de la capa F2 a lo largo de los años.

- La relación entre los eventos solares y las fluctuaciones en los datos de foF2.
- La distribución horaria y mensual de los datos, ayudando a identificar momentos específicos donde no se registró información debido a fallos en la recolección de datos o eventos geomagnéticos extremos.

### Conclusiones

El análisis de los datos históricos de la ionosfera en Tucumán ha permitido identificar patrones significativos en la Frecuencia Crítica de la Capa F2, correlacionados con los ciclos solares y los eventos geomagnéticos. La combinación de herramientas modernas como Power BI y Tableau ha facilitado la preparación, limpieza, y visualización de los datos, mejorando la interpretación y comprensión de las variaciones ionosféricas a lo largo de los 30 años de estudio.

### Referencias

Heirtzler, J. R. (2002). The future of the South Atlantic Anomaly and implications for radiation damage in space. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64(16), 1701-1708. [https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(02\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(02)00120-7)

Mendoza, B., et al. (2003). Power spectral density and periodicities in solar cycle activity. *Nonlinear Processes in Geophysics*, 10(6), 481-485. <https://doi.org/10.5194/npg-10-481-2003>

Yi, S. Q., & Xu, X. J. (2023). Ionospheric dynamo region in the South Atlantic Anomaly. *Earth and Planetary Physics*, 7(1). <https://doi.org/10.26464/epp2023015>

### Contribución de los Autores [+info](#)

Nombres y Apellidos del autor	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Elsa Soledad Rasgido			X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
Jorgelina Luisa López	X	X	X	X	X			X	X			X		

**1-**Administración del proyecto, **2-**Adquisición de fondos, **3-**Análisis formal, **4-**Conceptualización, **5-**Curaduría de datos, **6-**Escritura - revisión y edición, **7-** Investigación, **8-**Metodología, **9-**Recursos, **10-**Redacción - borrador original, **11-**Software, **12-**Supervisión, **13-**Validación, **14-**Visualización.