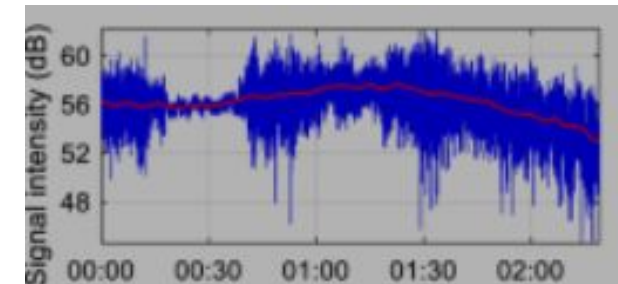
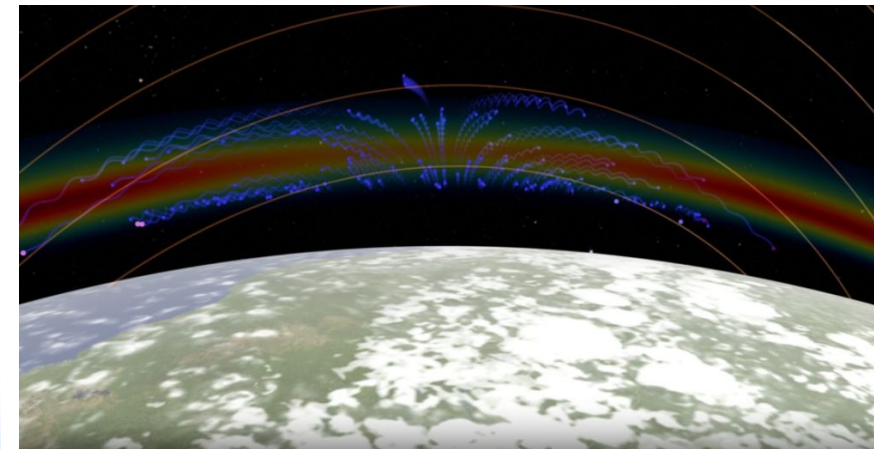
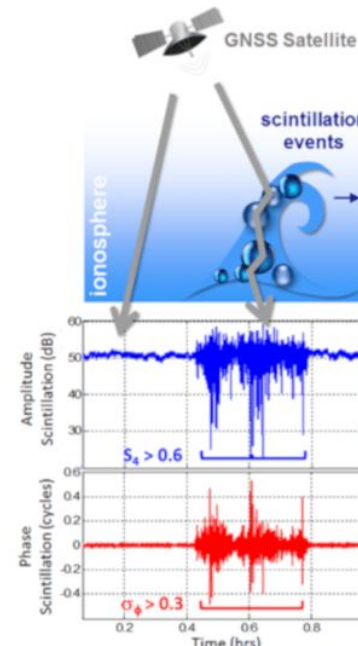


# Aeronomía y Clima Espacial

Proyecto 01: Monitoreo e investigación de  
Clima Espacial sobre el Perú  
12-05-2025

# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

- Línea de investigación:
  - Física de las irregularidades ionosféricas
  - Impacto de las perturbaciones ionosféricas en las tecnologías del país
- Responsable: Edgardo Pacheco
- Equipo:
  - Frahan Justo
  - John Rojas
  - Alexander Valdez
  - Juan Carlos Espinoza
  - César De La Jara
  - Danny Scipión



# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

- Cronograma PRO-CIENCIA

Mes	Actividad	Entregable
Marzo	<b>Finalización de Revisión Bibliográfica y Datos</b>	Documento de revisión y preprocesamiento
	Complementar revisión de literatura	Referencias y análisis comparativo
	Preprocesar datos adicionales	Datos limpios y estructurados
	Ajuste de periodos de análisis	Definición final de datos clave
Abril	<b>Optimización y Evaluación de Modelos</b>	Modelos ajustados y validados
	Refinar selección de características	Ranking de variables clave
	Ajustar hiperparámetros en SVM, Random Forest y LSTM	Modelos optimizados
	Validación con técnicas cruzadas y métricas de desempeño	Reporte de validación
Mayo	<b>Desarrollo del Sistema de Visualización</b>	Prototipo funcional
	Integrar modelos en entorno ejecutable	Código implementado
	Diseñar interfaz para consulta de predicciones	UI inicial
Junio	<b>Pruebas en Campo y Evaluación Final</b>	Informe de pruebas
	Pruebas en regiones críticas (Jicamarca, Piura)	Datos de validación en campo
	Ajuste de modelos según desempeño	Versión mejorada del sistema
Julio	<b>Redacción y Presentación de Resultados</b>	Borrador de tesis final
	Documentación del sistema y análisis de resultados	Informe técnico
	Elaboración de conclusiones y recomendaciones	Presentación final

# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

- Parámetros que afectan el centelleo ionosférico.
  1. **Parámetro S4** base de datos [CIELO](#).
  2. **Indices geomagnéticos:** ('AE','Dst', 'Kp'),
  3. **Variaciones del campo magnético interplanetario:** ('BX', 'BY', 'BZ'),
  4. **Viento solar:**('SW'),
  5. **flujo solar:**(índice 'f10.7')
  6. **Velocidad de derivas.**Madrigal
  7. **Ocurrencia de F-dipersa.**Madrigal
  8. **Altura virtual de la parte baja de la ionósfera.**ionogramas
  9. **Altura de densidad máxima de la ionósfera.**ionogramas
  10. **Densidad de electrones en la región F de la ionósfera.**Radar, ionosonda-inversion Cristian.
  11. **Perfiles de densidad de electrones en altura)** en el Radio Observatorio de Jicamarca.



# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

## Fase 1: Definición y Recolección de Datos

Variable	Descripción
TEC	Contenido total de electrones
ROTI	Índice de variación del TEC
Kp	Índice de actividad geomagnética
F10.7	Flujo solar
Hora local	Para capturar variaciones diurnas
Estación GNSS	Ubicación (ej: Jicamarca, Cusco)
Elevación/Sat	Ángulo del satélite
S4	Valor real a predecir (etiqueta)

### Referencia:

Ionospheric scintillation prediction on S4 and ROTI parameters using artificial neural network and genetic algorithm.

<https://drive.google.com/file/d/1HqLa-Ciq8TU6Y9EJ13KxgA4f3OFzef-Y/view?usp=sharing>.

Objetivo: Predecir, con un día de anticipación, los valores de **S4** (índice de intensidad de señal) y **ROTI** (variabilidad del contenido total de electrones) en la estación GNSS ubicada en Guam. Los parámetros fueron usados para entrenar y alimentar el modelo de predicción tanto de **S4** (centelleo de amplitud) como de **ROTI** (fluctuación del TEC), en intervalos de 5 minutos durante 30 días.

Variables:

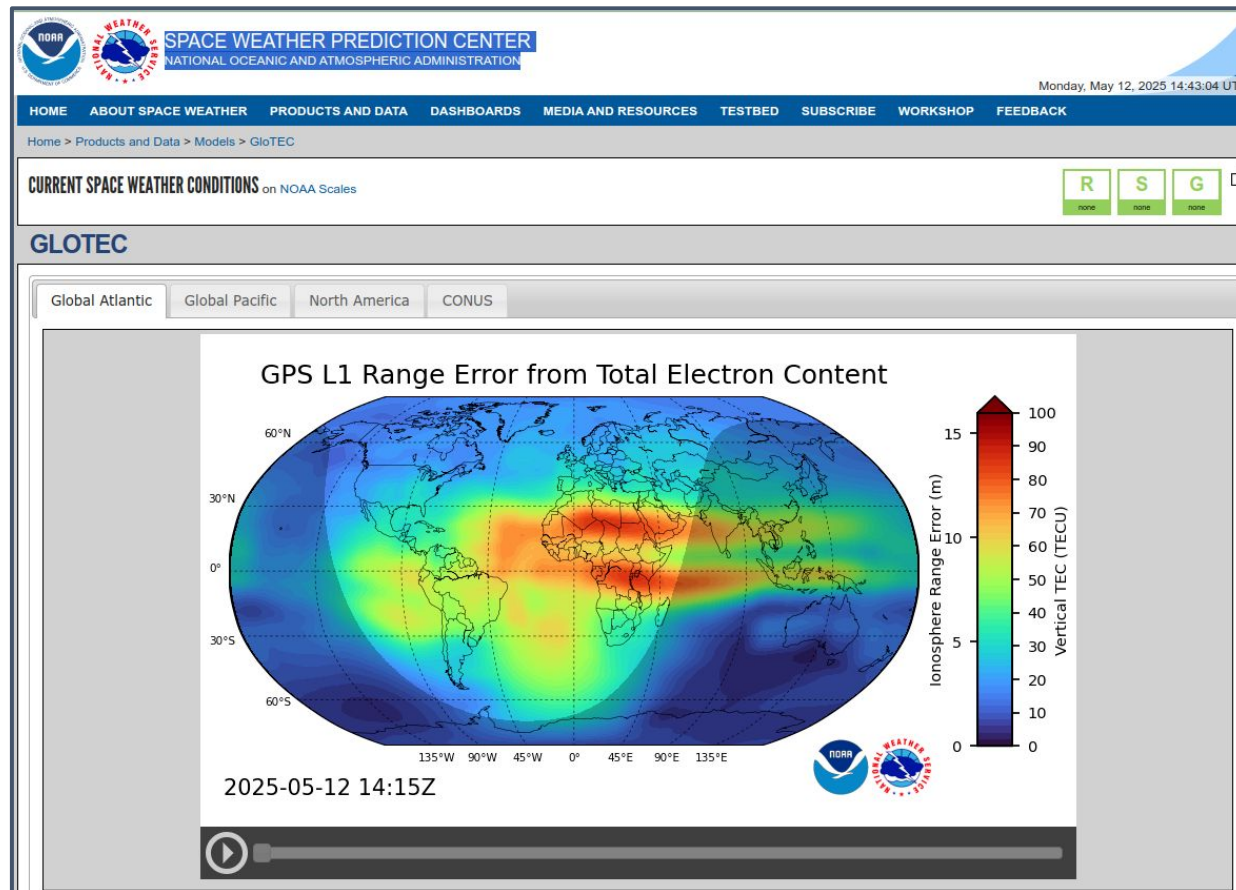
- **Altura máxima de la capa F2 (hmF2)**
- **Velocidad de deriva vertical de la capa F2 (vdF)**
- **Flujo solar F10.7**
- **Número de manchas solares (Sunspot Number)**
- **Índice geomagnético Kp**

Predecir el valor del índice **S4** (cintilación ionosférica) usando como entrada el **TEC** y otras variables relevantes.

# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

Link SPACE WEATHER PREDICTION CENTER NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION:

<https://www.swpc.noaa.gov/products/glotec>



## Index of /products/glotec/netcdf\_2d\_urt

Name Last modified Size

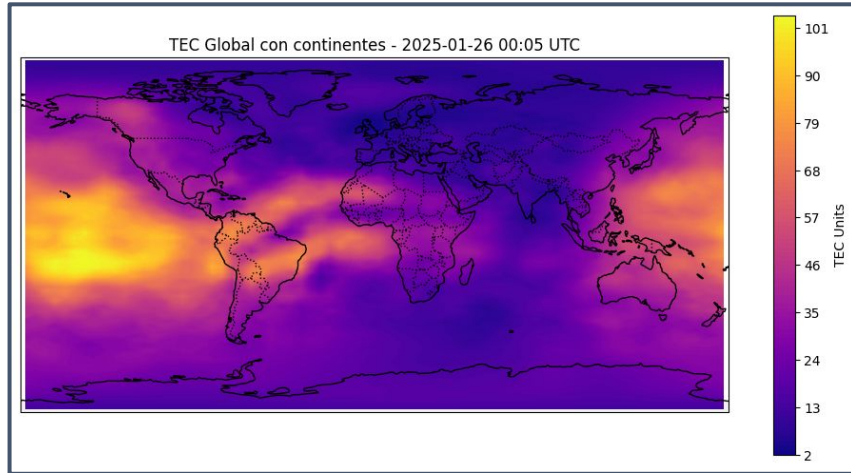
### Parent Directory

<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 2..&gt;</a>	2025-01-28 21:21	14M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 2..&gt;</a>	2025-01-28 22:36	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 2..&gt;</a>	2025-01-29 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 2..&gt;</a>	2025-01-30 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 3..&gt;</a>	2025-01-31 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 01 3..&gt;</a>	2025-02-01 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-02 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-03 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-04 20:47	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-05 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-06 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-07 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-08 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-09 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 0..&gt;</a>	2025-02-10 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-11 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-12 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-13 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-14 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-15 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-16 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-17 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-18 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-19 21:55	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 1..&gt;</a>	2025-02-20 19:06	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-21 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-22 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-23 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-24 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-25 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-26 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-27 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-02-28 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 02 2..&gt;</a>	2025-03-01 00:10	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 03 0..&gt;</a>	2025-03-02 00:11	8.6M
<a href="#">GloTEC TEC 2025 03 0..&gt;</a>	2025-03-03 00:10	8.6M

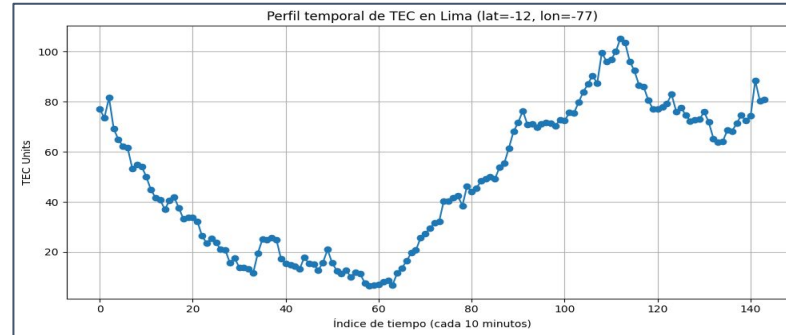
Extraer el  
TEC, diario  
cada 10  
minutos.  
calcular el  
ROTI.

# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

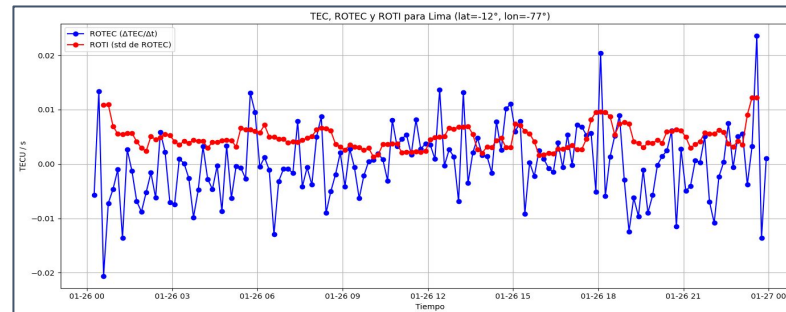
Formando el dataset TEC.



1440 muestras, cada 10 minutos



Perfil del TEC - LIMA



Estimación del ROTEC Y ROTI

A	B	C	D	E	F	G
datetime	TEC	ROTEC	ROTI	lat	lon	archivo
2025-01-26 0:35:00	69.25879	-0.02060793559	0.01083835647	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 0:45:00	64.9328	-0.007209981283	0.01093464385	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 0:55:00	62.162354	-0.004617411296	0.006942434392	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:05:00	61.553207	-0.00101524353	0.005529950963	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:15:00	53.410713	-0.01357082367	0.005507412846	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:25:00	55.01356	0.002671413422	0.00566210115	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:35:00	54.22155	-0.001320018768	0.005692471525	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:45:00	50.11405	-0.006845830282	0.004102340797	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 1:55:00	44.837387	-0.008794441223	0.002917995376	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:05:00	41.721363	-0.005193373362	0.002371869794	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:15:00	40.755608	-0.001609592438	0.005077901264	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:25:00	37.031597	-0.006206684113	0.00452817615	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:35:00	40.54765	0.005860087077	0.00491095159	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:45:00	41.882282	0.002224388123	0.005497691648	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 2:55:00	37.66912	-0.007021935781	0.005278208234	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:05:00	33.185516	-0.007472674052	0.004141850362	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:15:00	33.7438	0.0009304745992	0.003501285367	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:25:00	33.81258	0.0001146316528	0.004212289495	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:35:00	32.26469	-0.002579816182	0.003860018712	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:45:00	26.382444	-0.009803743362	0.0044200197	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 3:55:00	23.521507	-0.004768228531	0.004188550624	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>
2025-01-26 4:05:00	25.452467	0.003218266169	0.004194051183	-11.25	-77.5	<a href="#">GloTEC_TEC_2025</a>

DATASET resultante, cada 10 minutos, desde Enero- Mayo 2025.



# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

## Consideración del parámetro S4

- Cuando calculas el valor máximo de S4 en cada bloque de 5 minutos, estás conservando los picos (valores extremos), pero pierdes la suavidad o continuidad que ayuda a identificar patrones de cintilación.
- Cuando calculas el promedio de S4 cada 5 minutos, los valores son más suaves y permiten observar mejor la forma general del fenómeno, pero el valor máximo baja (porque el promedio siempre es menor o igual al máximo).
- Para conservar ambos aspectos —la suavidad del promedio y la escala del valor máximo original— el artículo propone multiplicar toda la serie de promedios por un factor para que su máximo coincida con el máximo real de S4.

$$S4_{\text{escalado}} = S4_{\text{promediado}} \times \frac{\max(S4 \text{ original año } N)}{\max(S4 \text{ promediado año } N)}$$

## Procesamiento

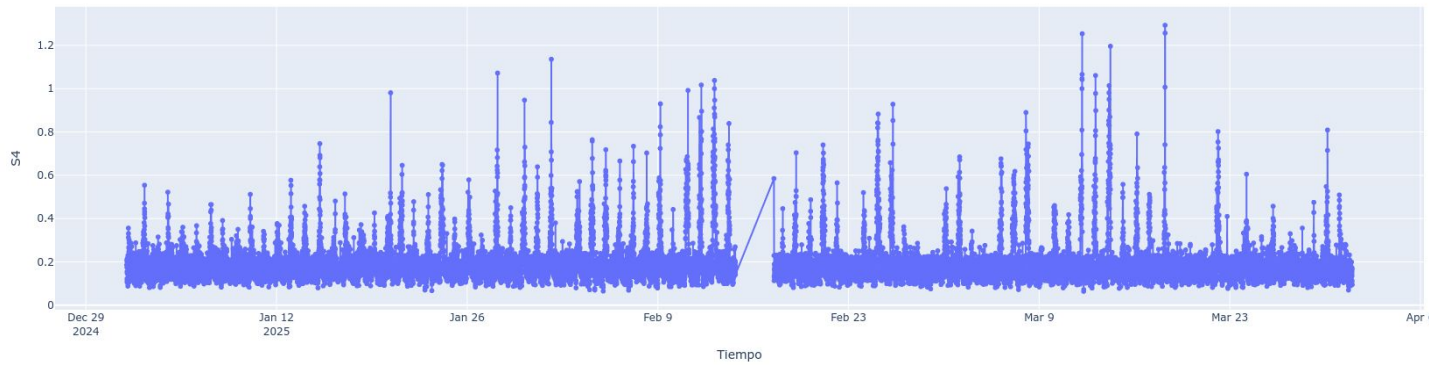
- Filtro de elevación de 30°
- S4 max cada 5 minutos
- S4 avg cada 5 minutos
- S4 división.

Esto significa que para cada año (2023, 2024, 2025) tomas el máximo valor de S4 original de ese año y reescalar la versión suavizada (promediada en 5 minutos) usando ese máximo.



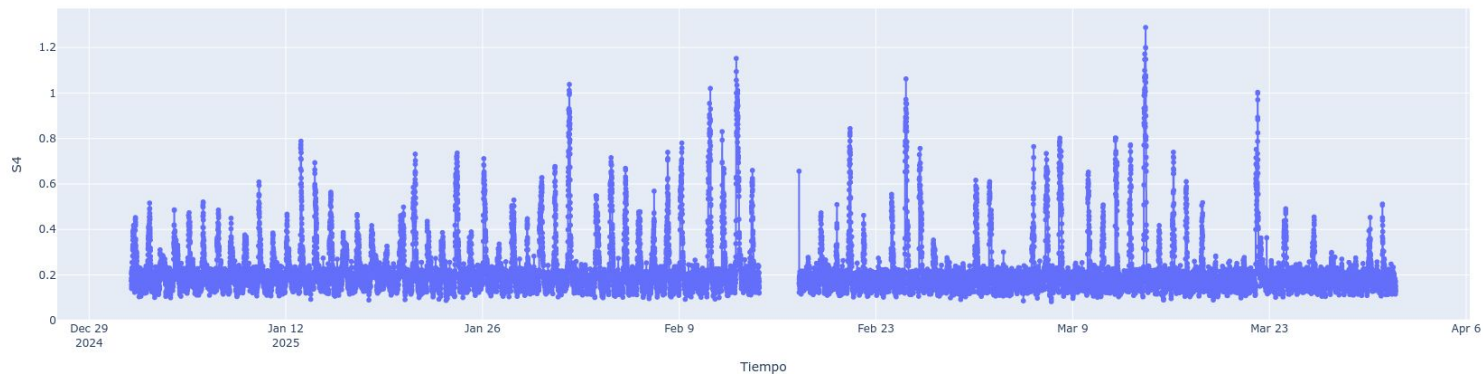
# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

S4 máximo por intervalo de 5 min - Año 2025



S4 maximo

S4 promedio escalado cada 5 minutos - Año 2025



S4 promediado

ID Satélite	Tiempo	S4	Elevación	Intervalo
0	9 2023-01-01 00:04:00	0.138	40.0	2023-01-01 00:00:00
1	9 2023-01-01 00:07:00	0.126	40.0	2023-01-01 00:05:00
2	9 2023-01-01 00:11:00	0.166	39.0	2023-01-01 00:10:00
3	9 2023-01-01 00:16:00	0.144	38.0	2023-01-01 00:15:00
4	9 2023-01-01 00:23:00	0.111	37.0	2023-01-01 00:20:00
...	...	...	...	...
157881	24 2025-03-31 23:28:00	0.155	40.0	2025-03-31 23:25:00
157882	42 2025-03-31 23:31:00	0.172	31.0	2025-03-31 23:30:00
157883	24 2025-03-31 23:36:00	0.111	42.0	2025-03-31 23:35:00
157884	24 2025-03-31 23:43:00	0.166	44.0	2025-03-31 23:40:00
157885	42 2025-03-31 23:45:00	0.095	36.0	2025-03-31 23:45:00

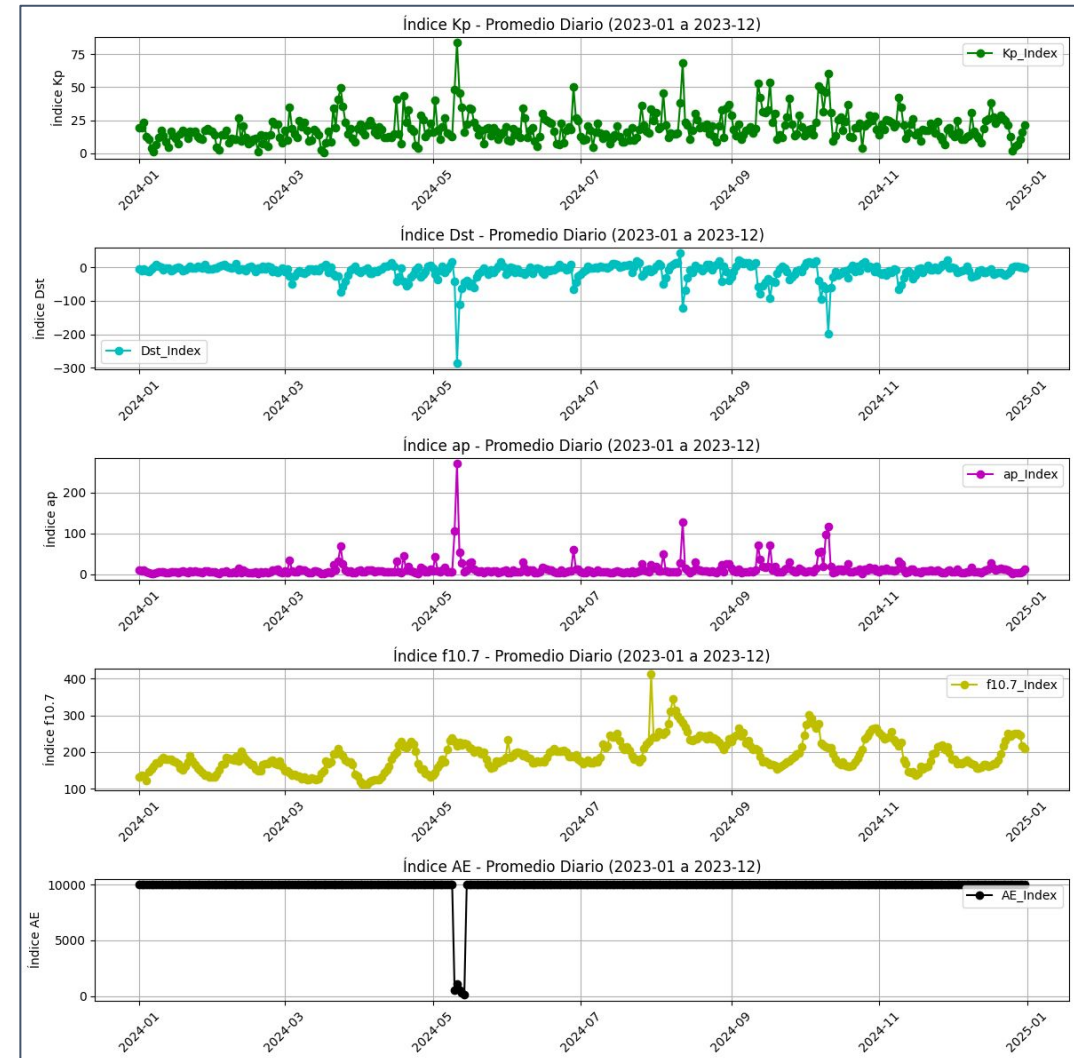
Dataset S4

# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

- Descarga de datos de la página de omniweb desde 1963.

<https://drive.google.com/file/d/11c650pcKVoS4SKWhzU1Yzb7cSkoZZXj5/view?usp=sharing>

- Data cada una hora.



# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

Link general de desarrollo:

- [https://github.com/sebastianVP/ESTUDIO\\_CINTILACION\\_ES\\_PERU/tree/main](https://github.com/sebastianVP/ESTUDIO_CINTILACION_ES_PERU/tree/main)

Ficha de inscripción:

- [https://drive.google.com/file/d/1AuwKXrFS0ovEOQwa3NAb\\_OdwKeJWRjp2/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1AuwKXrFS0ovEOQwa3NAb_OdwKeJWRjp2/view?usp=sharing)



# Detección y Pronóstico de centelleo ionosférico sobre el Perú para alerta de perturbaciones en señales satelitales

Pendiente:

- Definir y cerrar todas las base de datos de todas los parámetros involucrados que afectan el centelleo ionosférico.
- Consultar por datos de GNSS de años anteriores, estar pendiente de los datos de TEC de la red LISN.



*Ciencia para **protegernos***  
*Ciencia para **avanzar***