

Deep Learning para el monitoreo continuo del Clima Espacial

Autores: Armando Castro, P. Condor, D.
Scipion

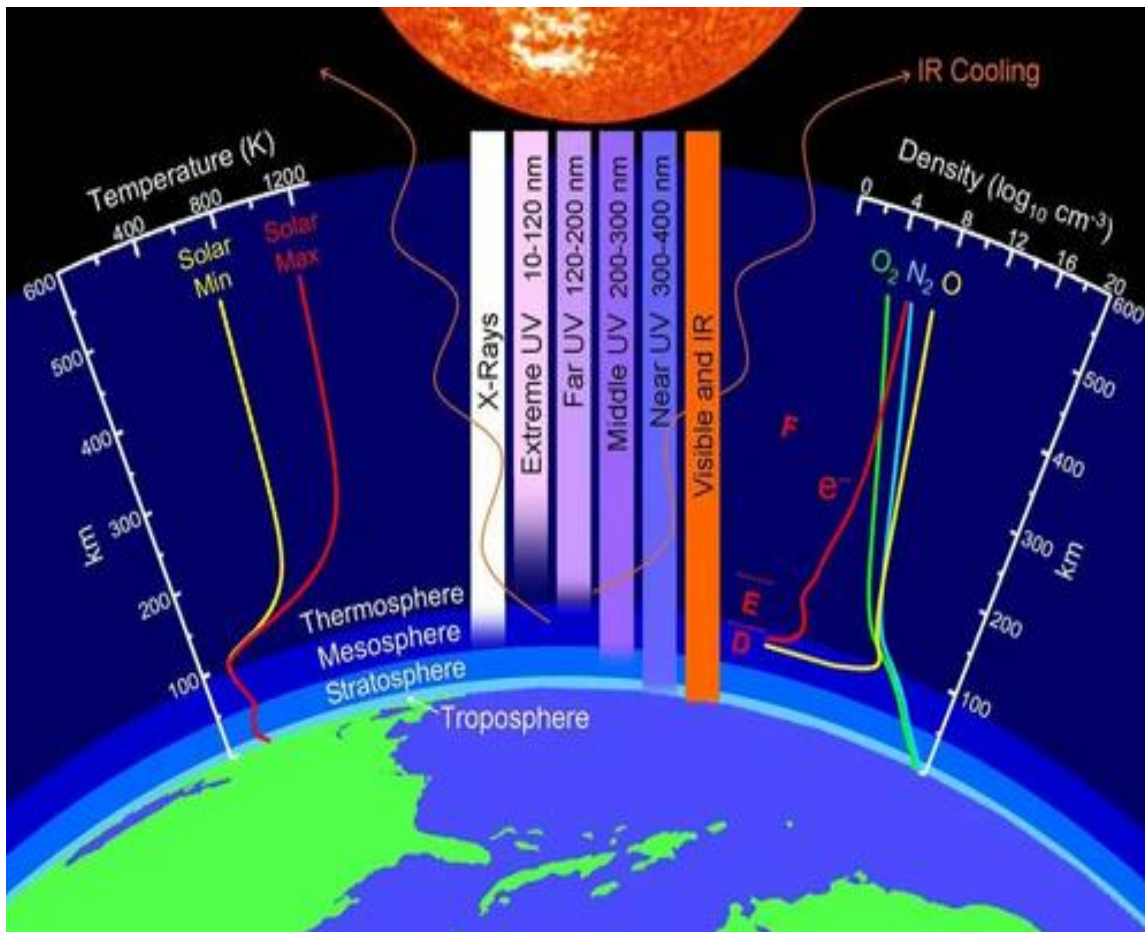
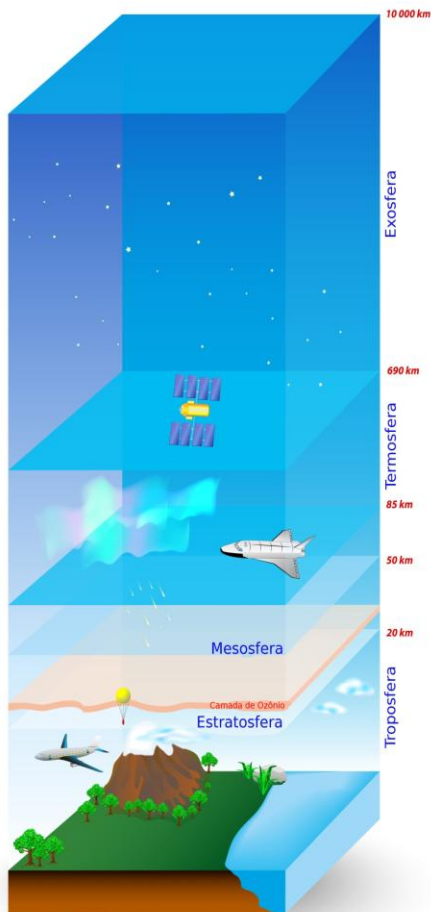


Ministerio
del Ambiente





El espacio cercano a la tierra

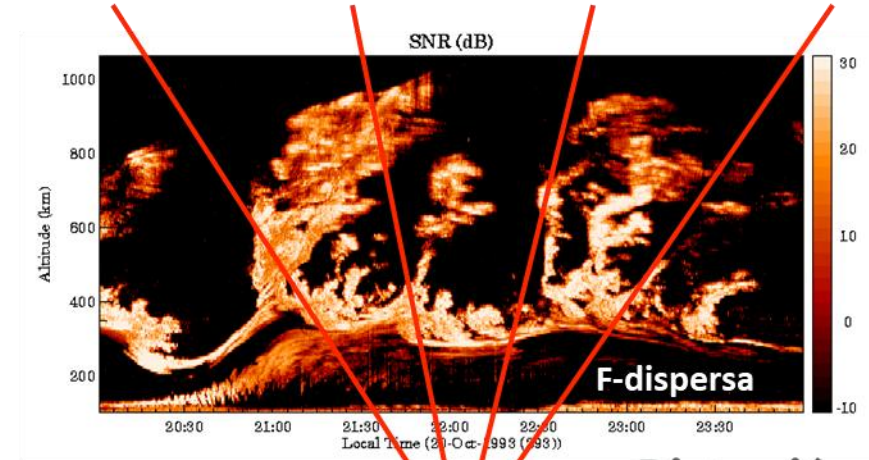


- Interacciona principalmente con el sol mediante EUV y rayos X, recombinaando atomos neutros (O , N_2 , O_2).
- Permite la radiocomunicaciones a larga distancia y navegaci3n mediante GNSS o GPS.

Efectos en la navegación y Radiocomunicaciones

- Perturbaciones en la ionósfera producen distorsión y degradación en la señal GPS (F dispersa, vientos solares).
- Ciertas aplicaciones se ven afectadas por el incremento en el error de posición (ej. auto-navegación, aterrizaje de aviones, etc.)

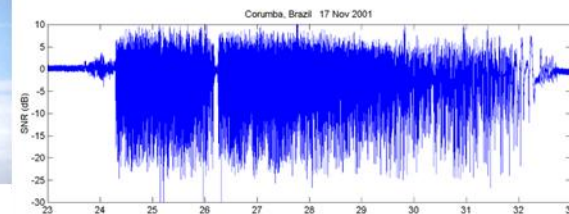
Satélites GPS



Distorsión o pérdida de la señal de GPS



Receptores GPS



GPS scintillations

Efectos en la navegacion y Radiocomunicaciones

- Afectación al sistema electrónico por alta radiación solar.

ESPAÑA >

Miles de aviones A320 de Airbus fuera de servicio por la radiación solar: "Puede corromper datos críticos para los controles de vuelo"

Un problema en el software obliga a la empresa a enviarlos a revisión, provocando cancelaciones y retrasos

29 Nov, 2025 06:41 a.m. | Actualizado: 29 Nov, 2025 07:54 a.m. PE





¿Cómo realizamos mediciones de monitoreo?

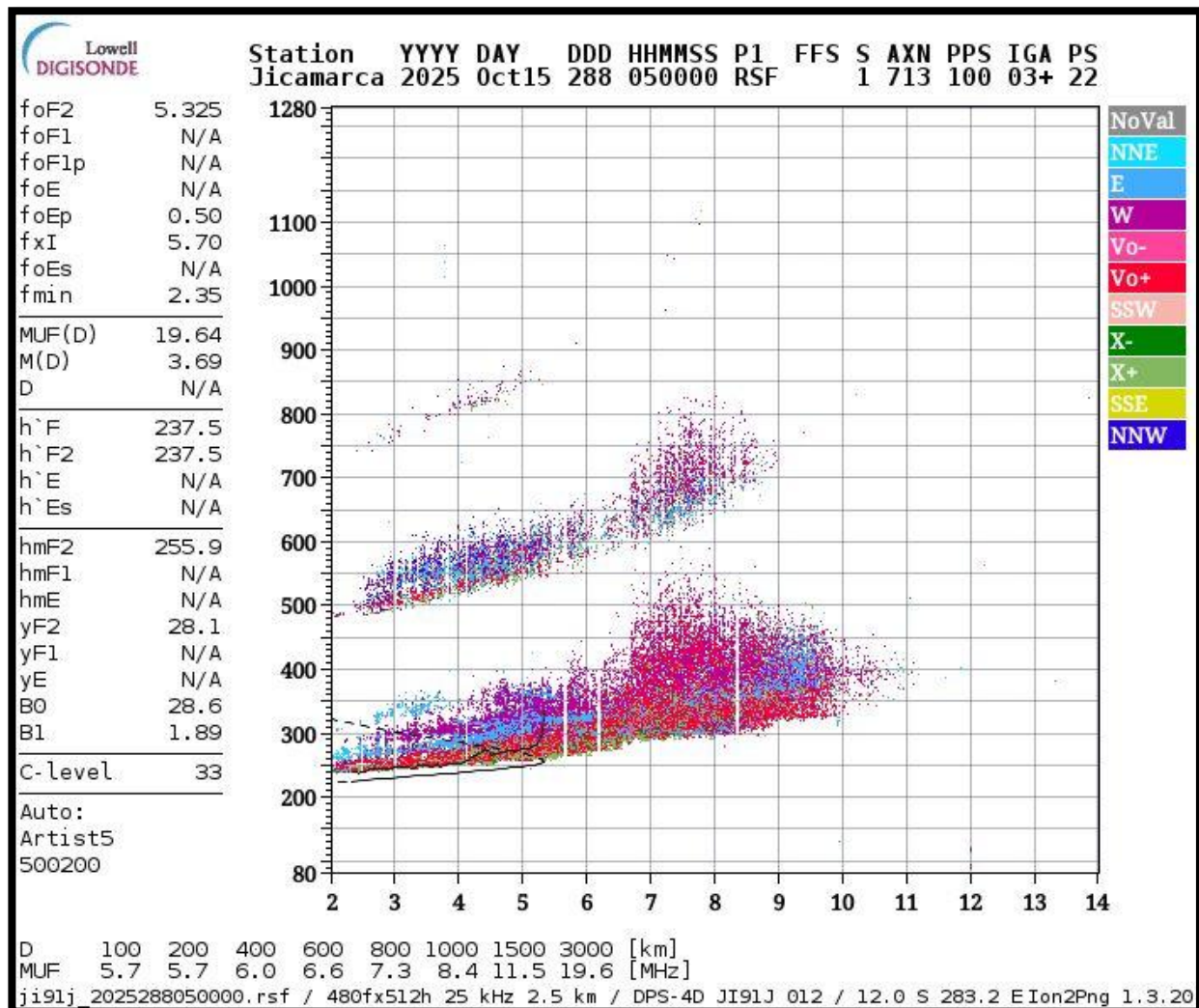
Ionosondas de la Vertical Incidence Pulsed Ionospheric Radar (VIPiR)

- Sondeo de frecuencias de tipo vertical
- Rango de frecuencias: 0.5 – 30 MHz
- Resolución de altura: ~2.5 km (0 – 1000 km)
- Los resultados son guardados en ionogramas.

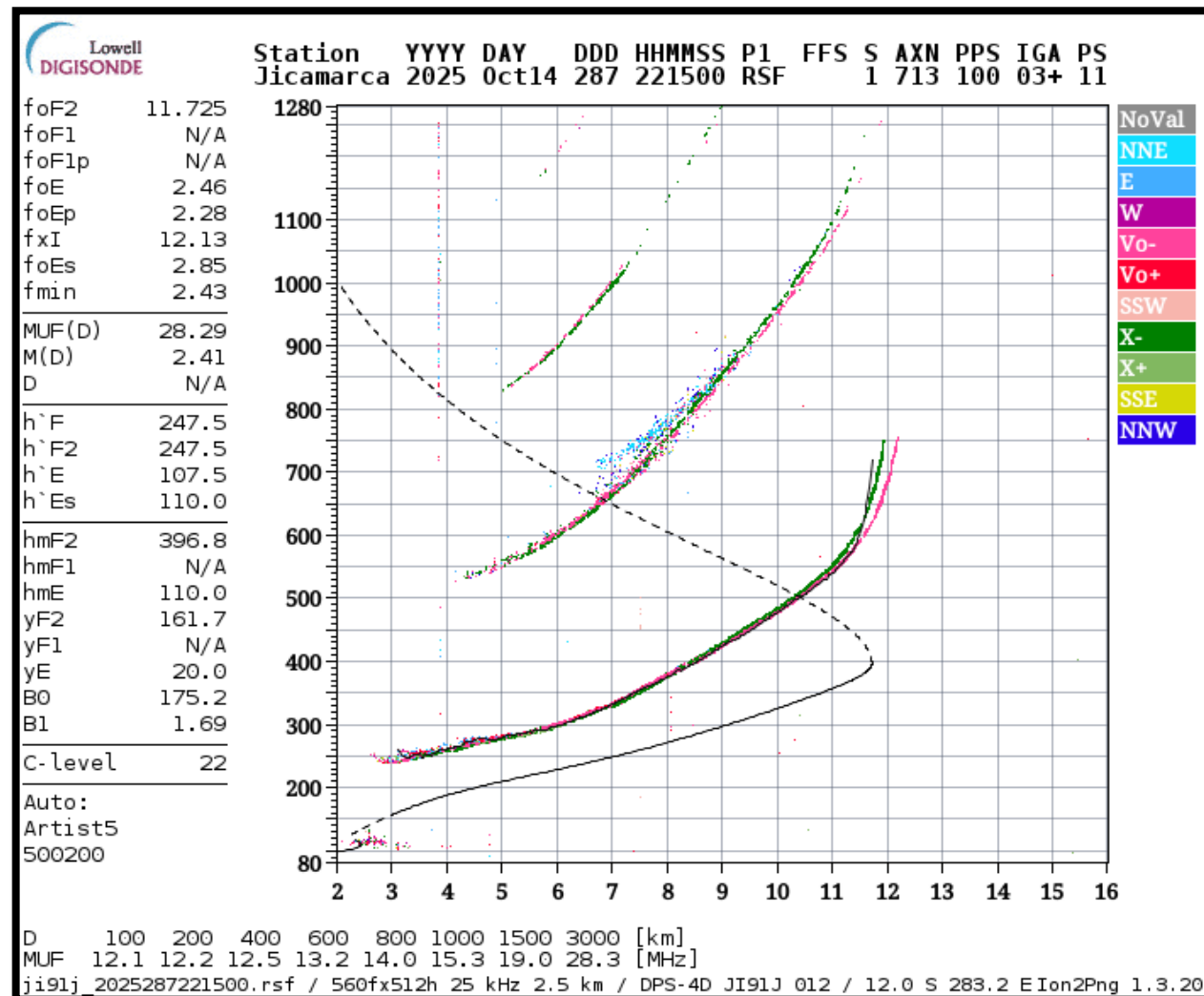




Ionogramas vs F dispersa con ARTIST 5.0



Con F dispersa



Sin F dispersa



Definicion del problema

- Los ionogramas contaminados con F dispersa debe ser corregidas manualmente con algún programa de escalamiento de ionogramas.
- Esta actividad puede resultar muy costosa y cansada para un operador. Ya que resulta una actividad diaria.

Desarrollo





Objetivos

- Desarrollo de modelo de Deep Learning (DL) para el escalamiento de ionogramas contaminados con F dispersa e ionogramas limpios. Realizar comparaciones.



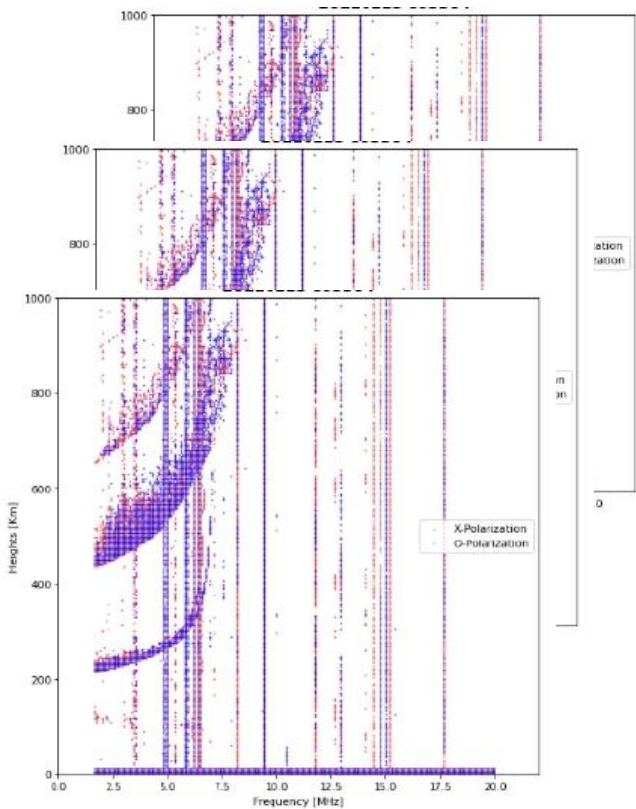
Recolección de datos

- Se recolectaron 15,520 ionogramas de las ionosondas de la red VIPIR.
- Los ionogramas recolectados provienen de observaciones realizadas en varios días seleccionados dentro del periodo 2017–2024.
- Se dividió el 75% y 25% de los datos para el conjunto de entrenamiento y validación.
- **Los datos corresponden a ionogramas corregidos manualmente.**

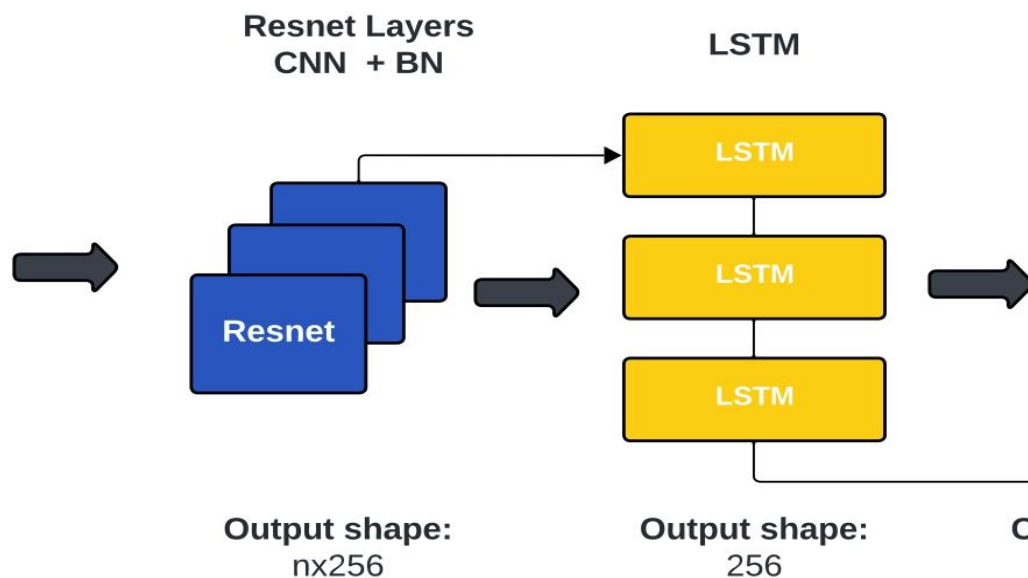


IPESN Model

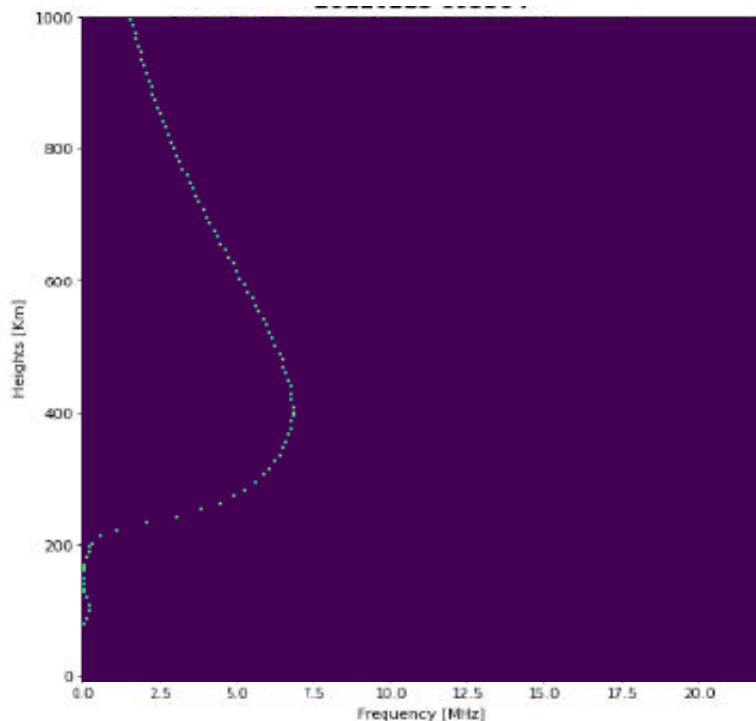
Ionospheric Profile Estimation Sequence Network



Series de ionogramas



Modelo de regresión

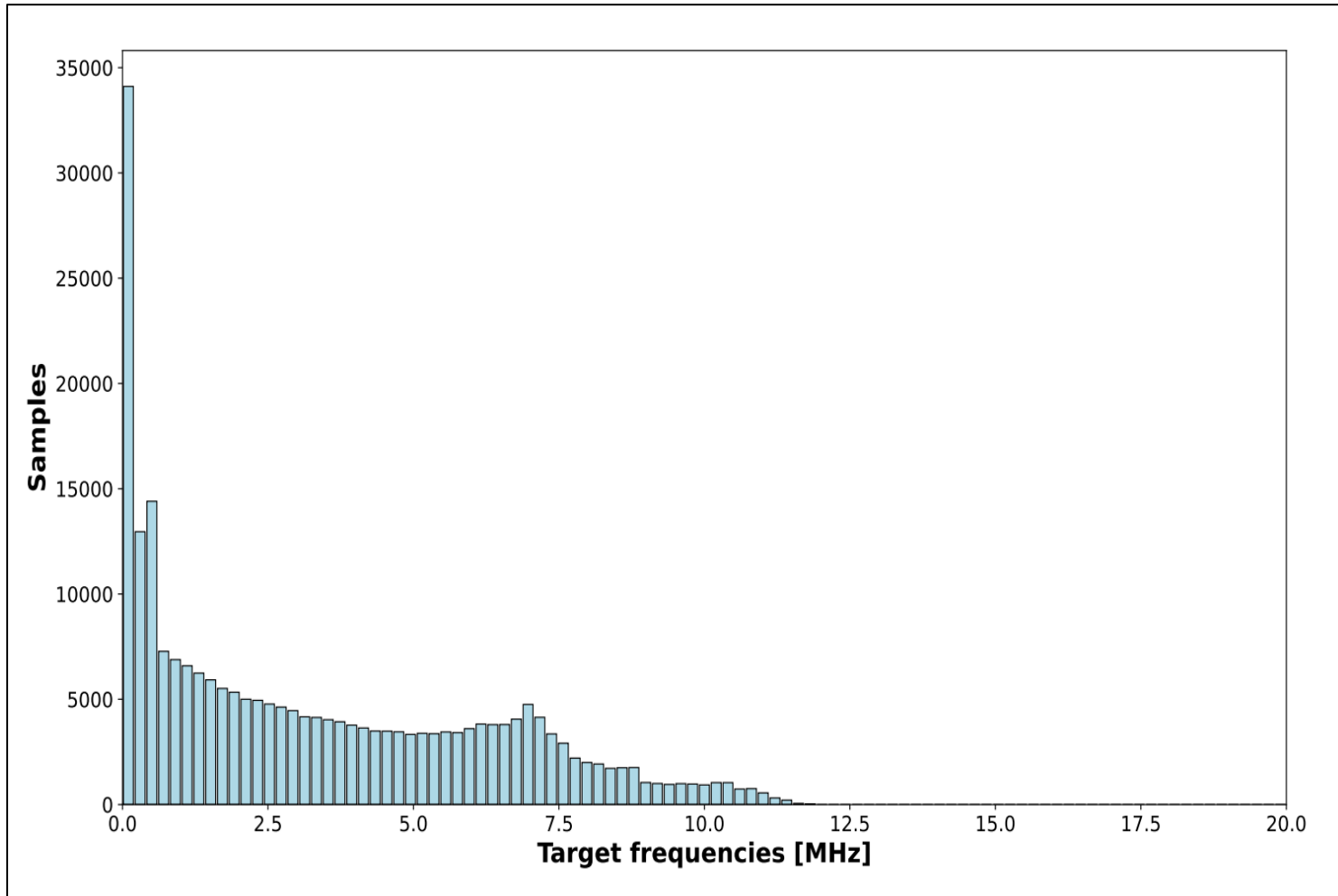


Perfil de densidad



Exploración de datos

Cada intervalo = 0.25 MHz



- La distribución se encuentra demasiado desigual. **El modelo no dará importancia a valores extremos.**
- Establecemos entonces pesos para cada rango de valor a estimar:

$$w_i = \sqrt{\frac{1}{counts}}$$



Entrenamiento

- Se probaron con distintos valores de numero de ionogramas: 1,3,5,7.
- El modelo fue optimizado con la siguiente función de perdida **Median Absolute Error (MAE) ponderada**:

$$loss = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N \frac{\sum_{i=1}^{256} w_{pi} |y_{pi} - \hat{y}_{pi}|}{\sum_{i=1}^{256} w_{pi}}$$



Score en el set de Validacion

Tabla 2. Resultados obtenidos con el set de validación para diferentes valores de n .

Model	MAE			
	$n = 1$	$n = 3$	$n = 5$	$n = 7$
IPESN	0.191	0.092	0.463	0.227

Analizando datos nuevos

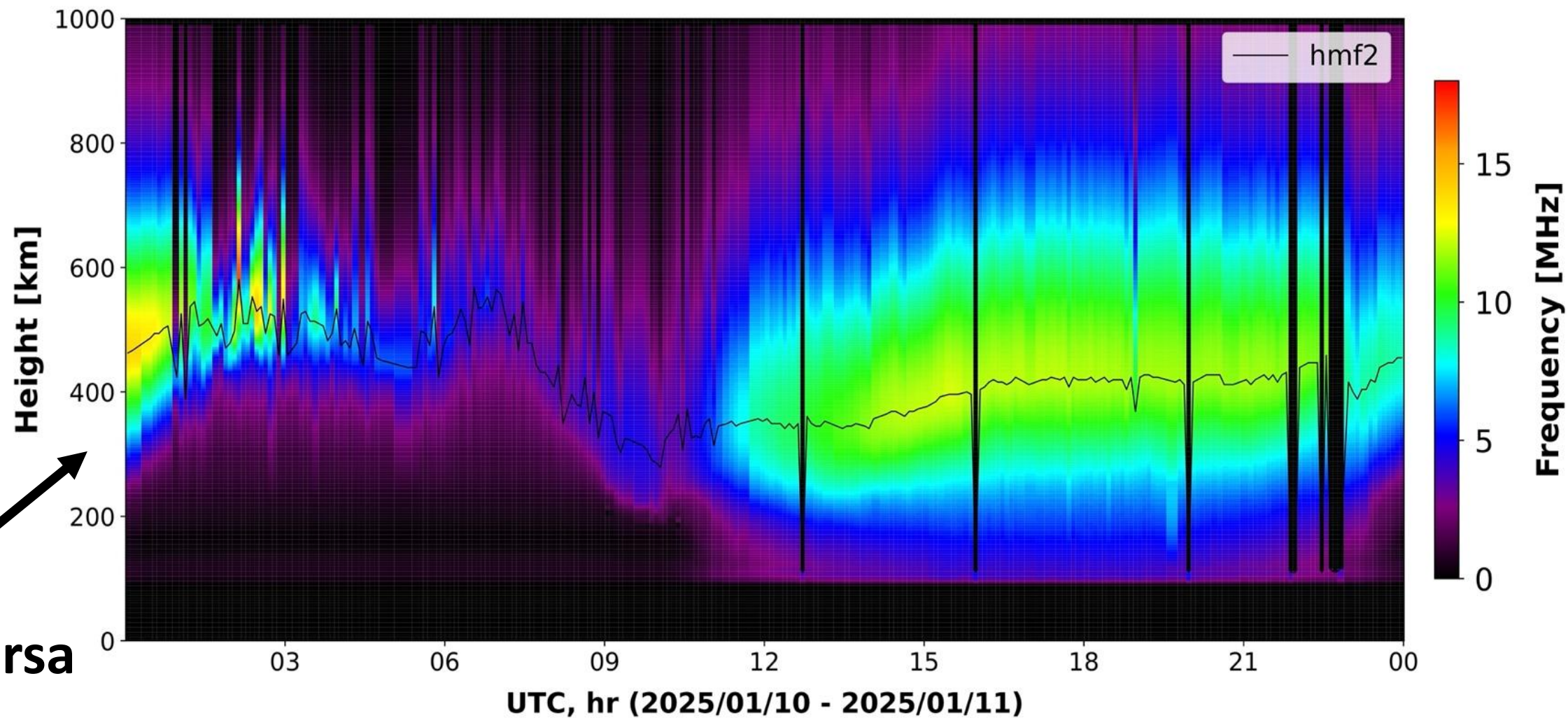




Caso 1: F dispersa

Modo Automatico
presenta erros

Frequency profile - ARTIST 5.0



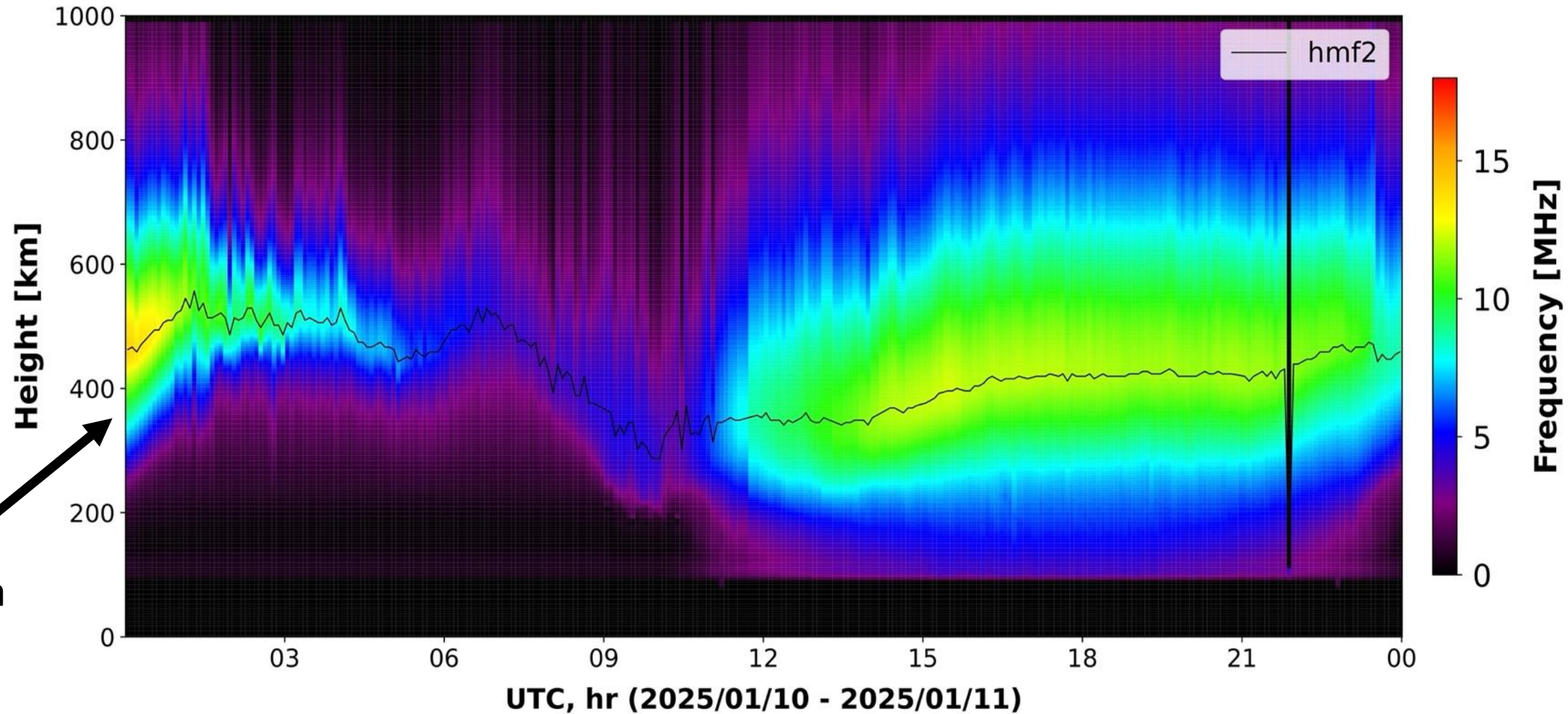
F dispersa



Caso 1: F dispersa

Corregido
manualmente

Frequency profile - Corrected

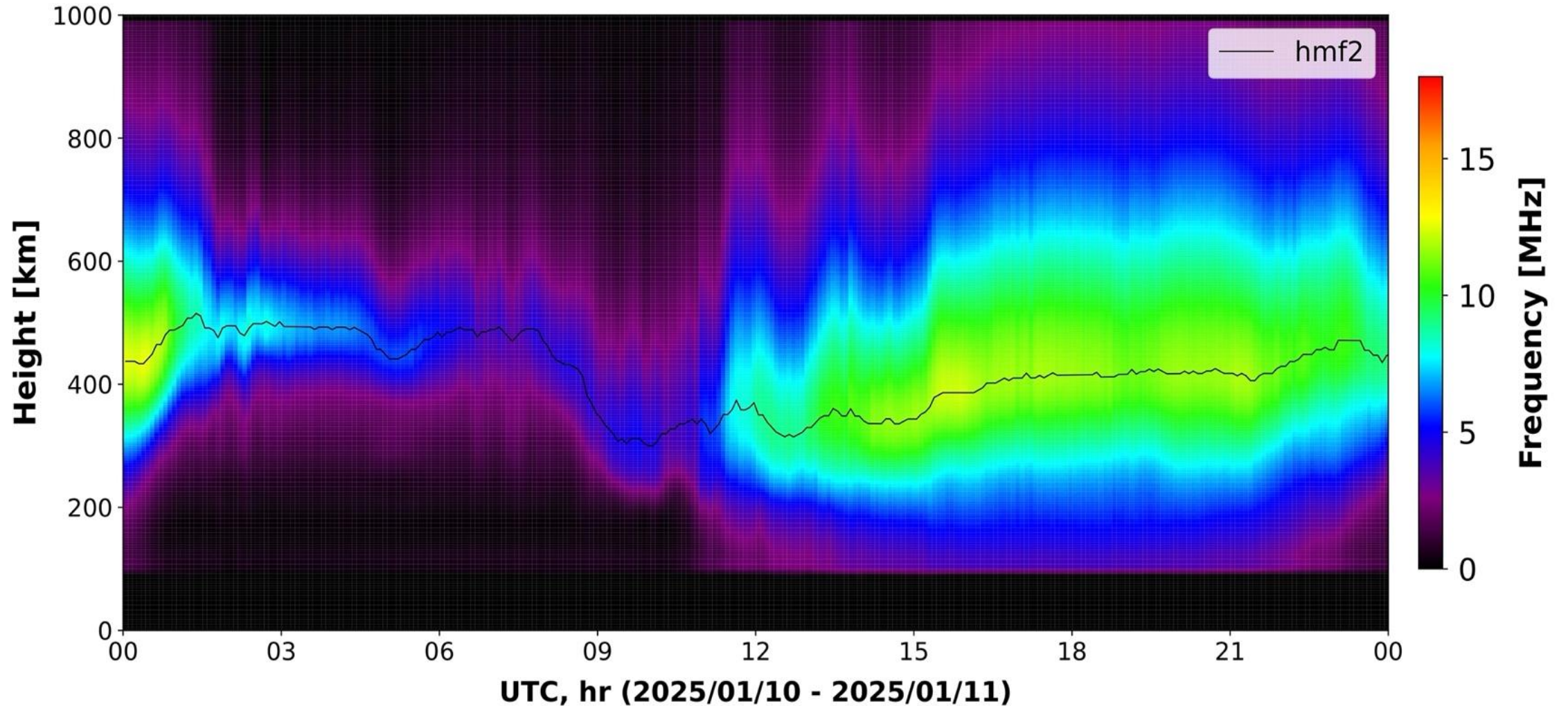




Caso 1: F dispersa

Obtenido con el
modelo

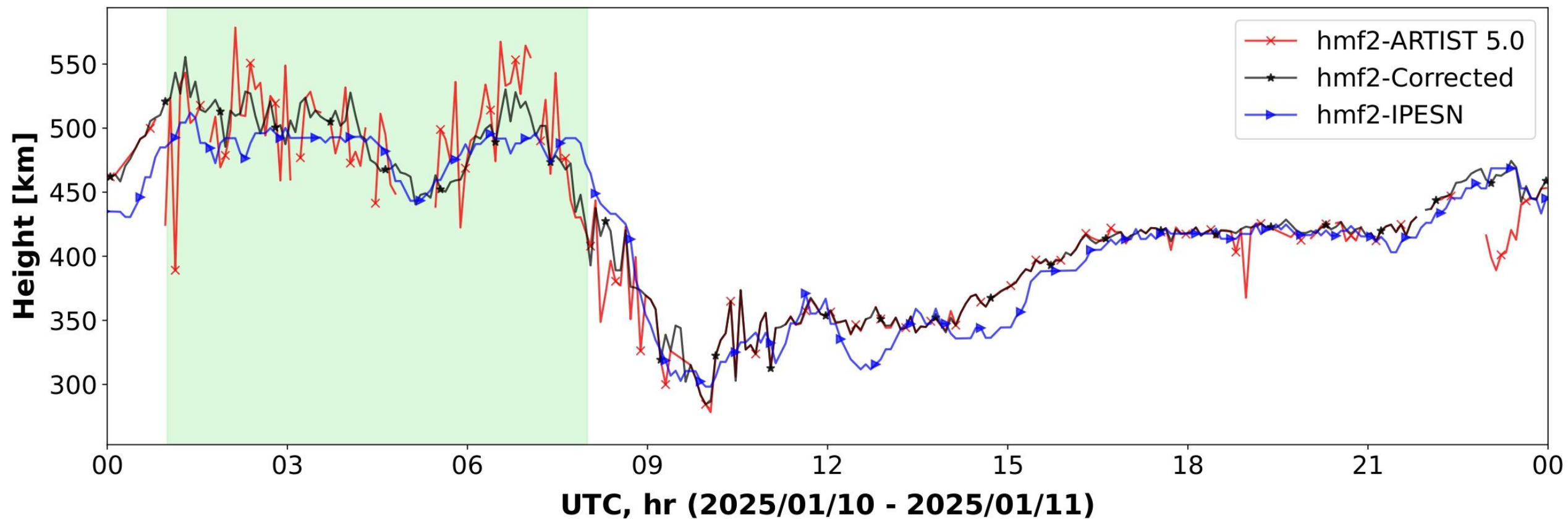
Frequency profile - IPESN





Caso 1: F dispersa

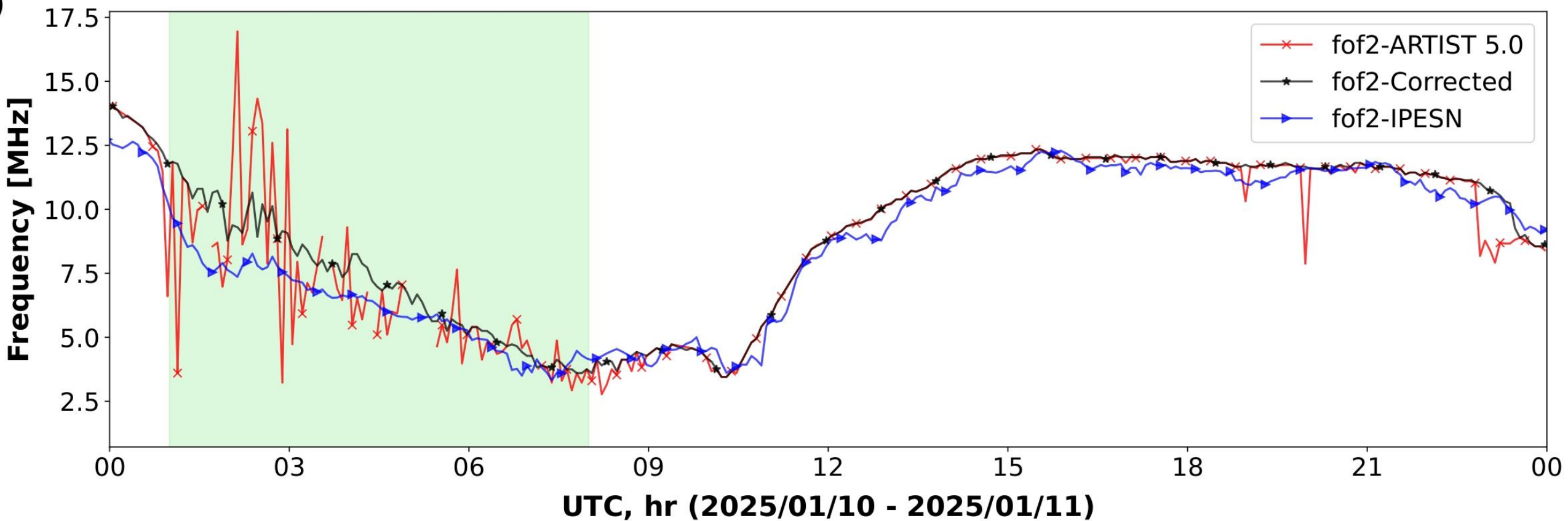
Comparison of hmF2





Caso 1: F dispersa

Comparison of foF2






Caso 1: F dispersa

Tabla 3. Correlación de Pearson para las variables hmF2 y foF2 del periodo 10 de Enero del 2025.

		ARTIST 5.0		Corrected		IPESN	
		<i>hmF2</i>	<i>foF2</i>	<i>hmF2</i>	<i>foF2</i>	<i>hmF2</i>	<i>foF2</i>
ARTIST 5.0	<i>hmF2</i>	1.000	0.060	0.935	0.024	0.899	-0.083
	<i>foF2</i>	0.060	1.000	0.006	0.931	-0.083	0.915
Corrected	<i>hmF2</i>	0.935	0.006	1.000	0.065	0.956	-0.051
	<i>foF2</i>	0.024	0.931	0.065	1.000	-0.034	0.975
IPESN	<i>hmF2</i>	0.899	-0.083	0.956	-0.034	1.000	0.057
	<i>foF2</i>	-0.083	0.915	-0.051	0.975	0.057	1.000



Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa



SEVERE Geomagnetic Storm ALERT

Updated
Jan 01, 2025
1041 MST/MDT

WHAT: Geomagnetic Storm has strengthened and reached G4 conditions

G4

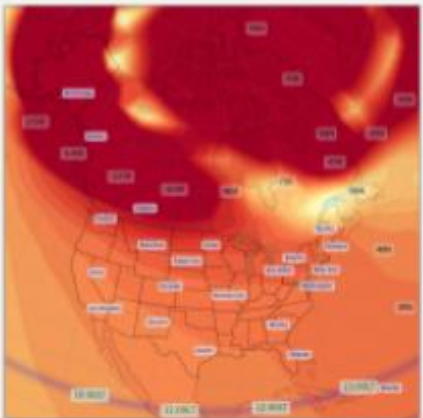
KEY MESSAGES

What is a severe geomagnetic storm?
A major disturbance in Earth's magnetic field; often varying intensity between lower levels and severe storm conditions over the course of the entire event.

What you should do?
The general public should get properly informed of storm progression by visiting the SWPC webpage. Those under or near the 30-minute predicted auroral extent can look for the aurora if at night and should weather conditions permit.


Possible Technology Effects
Infrastructure operators and authorities have been notified to take action to mitigate any possible impacts and maintain situational awareness. Possible increased and more frequent voltage control problems - normally mitigable. Increased possibility of anomalies or effects to satellite operations. More frequent and longer periods of GPS degradation possible.

Geospace delta B, North America : 2025-01-01 17:41:00 UTC



Ground magnetic perturbation maps such as the one displayed here are useful for providing regional disturbance model forecasts that can be used by power grid operators to determine if disturbances are likely to have impacts at their general location.

NOAA Space Weather Prediction Center
University of Michigan Geospace Model
File: 20250101T01_20250101T1400



National Oceanic and Atmospheric Administration
U.S. Department of Commerce

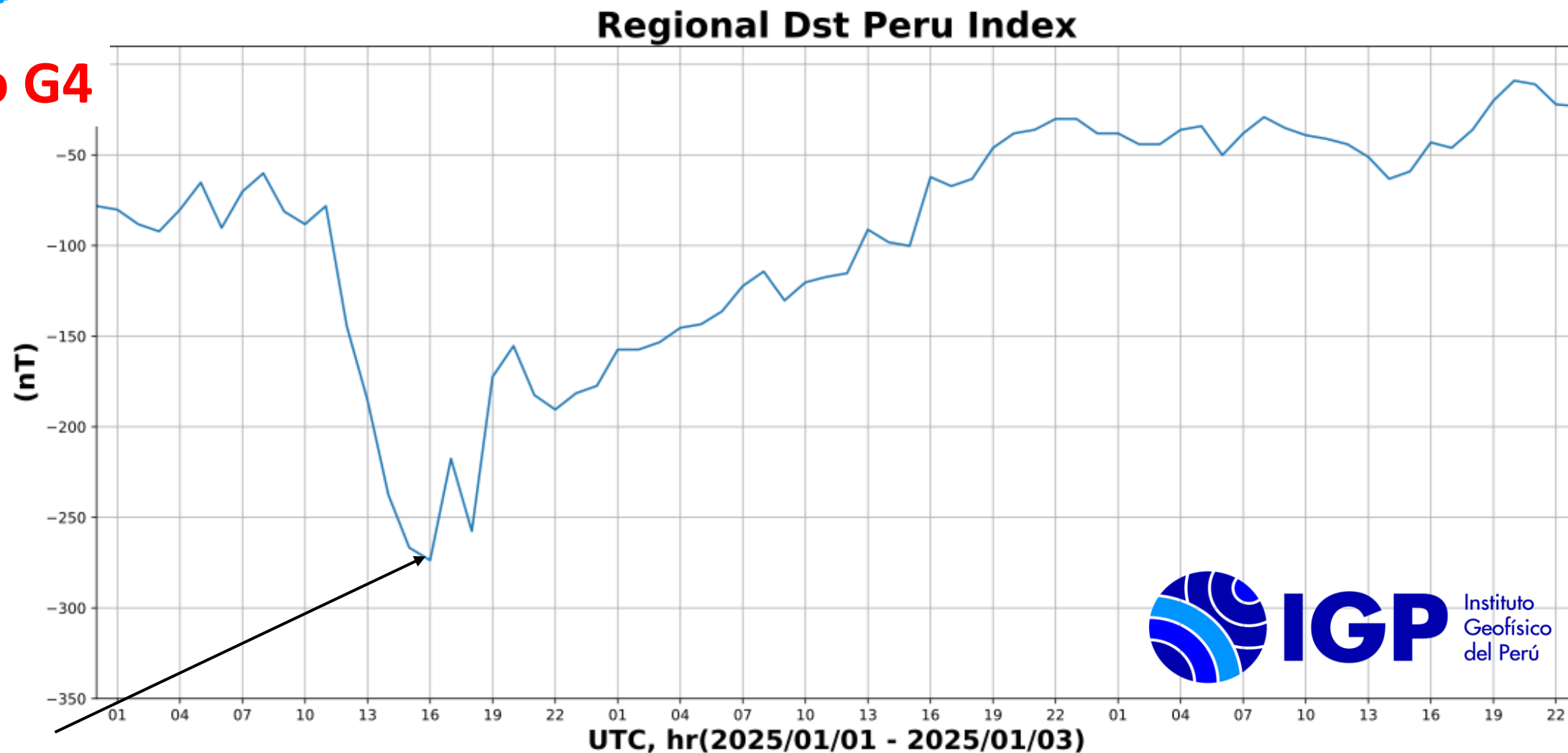
Safeguarding Society with Actionable Space Weather Information

Space Weather Prediction Center;
Boulder, CO



Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

De tipo G4



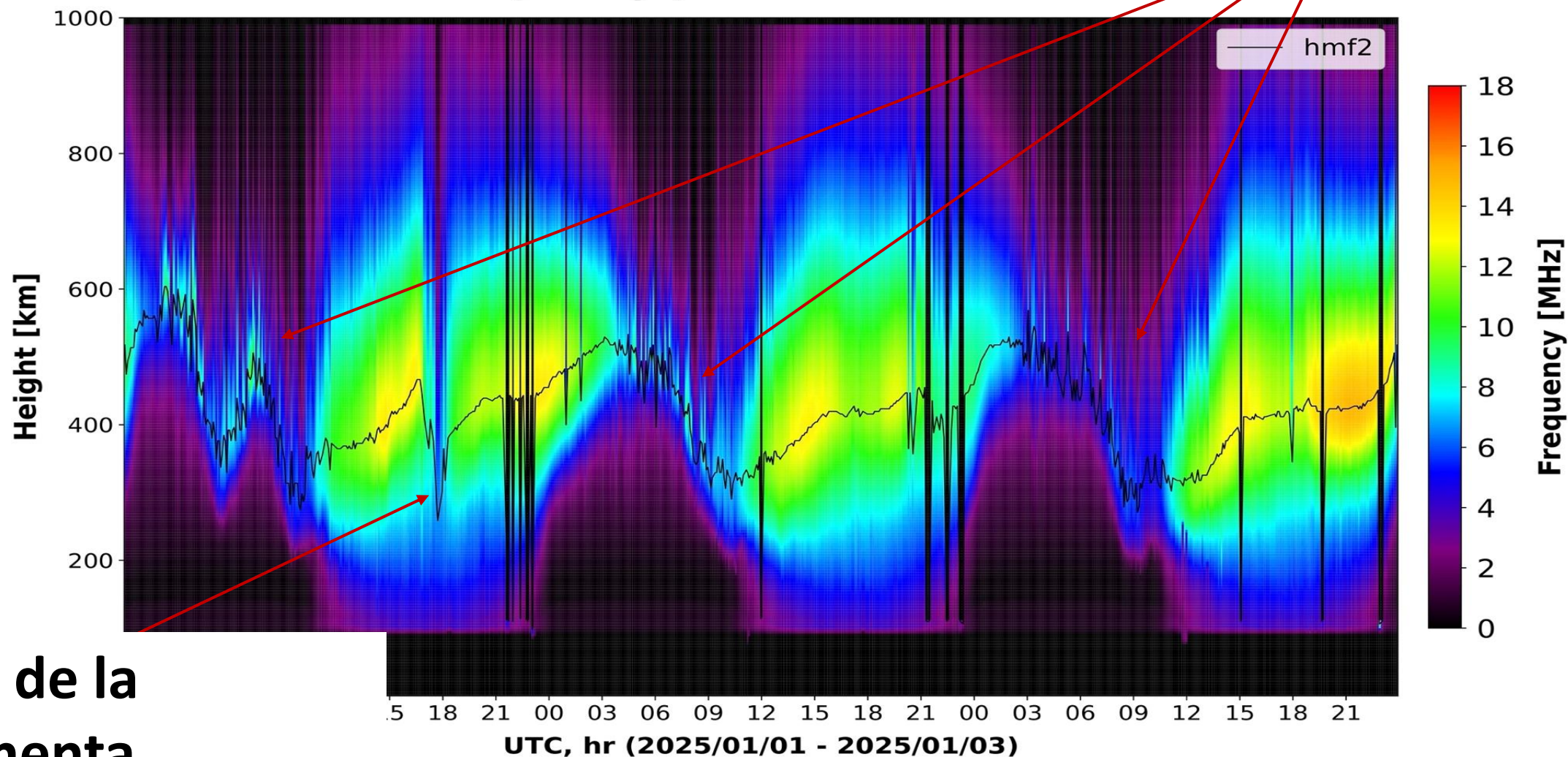
Pico de la tormenta



Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

F dispersa

Frequency profile - ARTIST 5.0

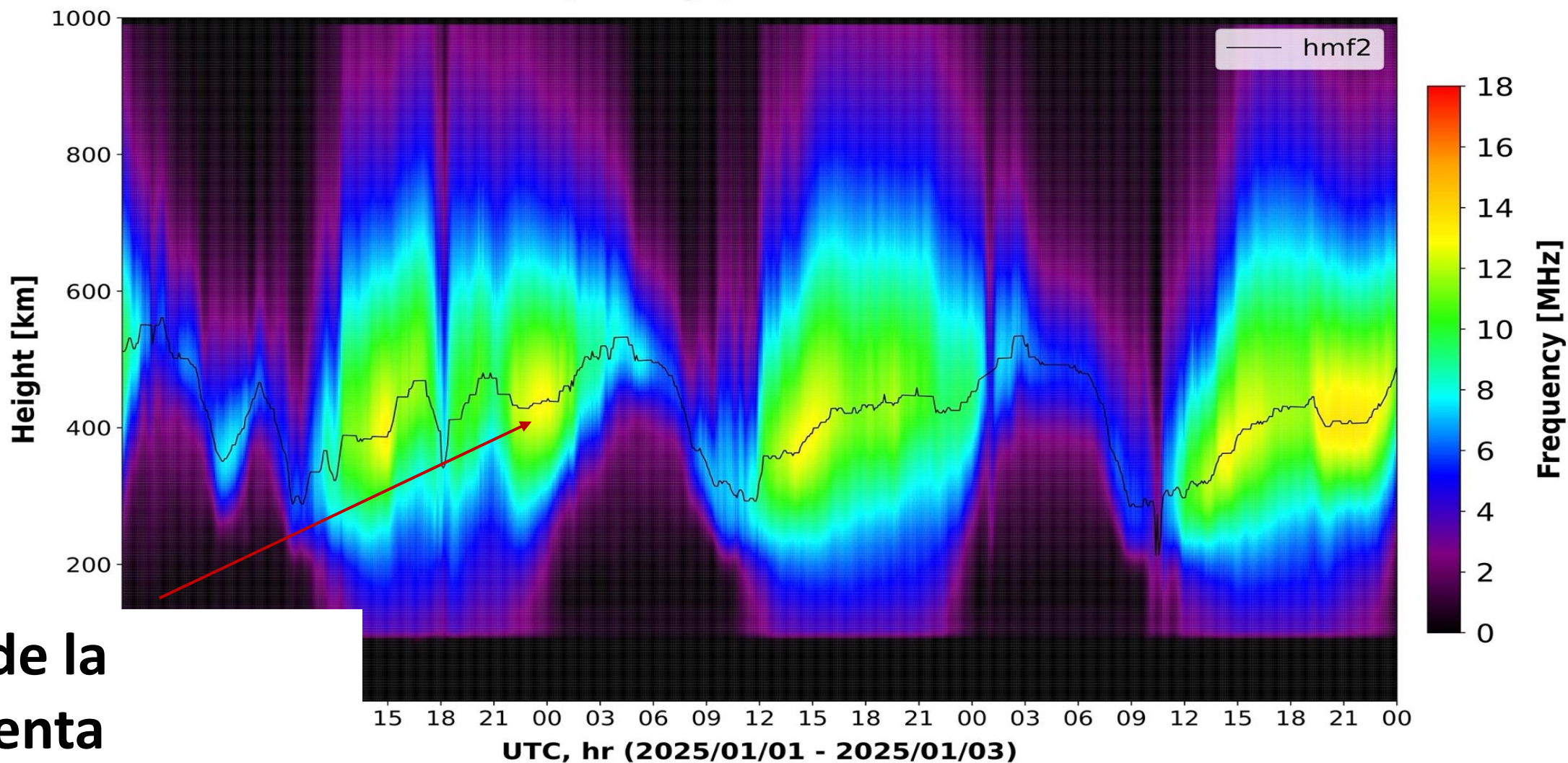


**Pico de la
tormenta**



Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

Frequency profile - IPESN

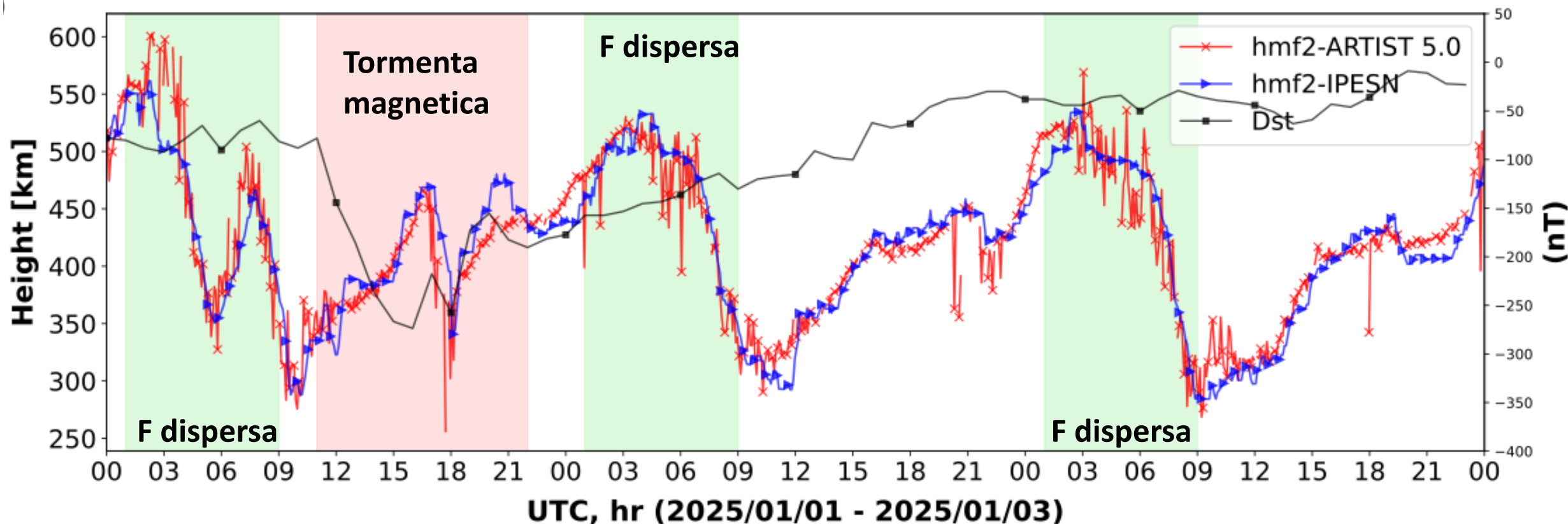


**Pico de la
tormenta**



Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

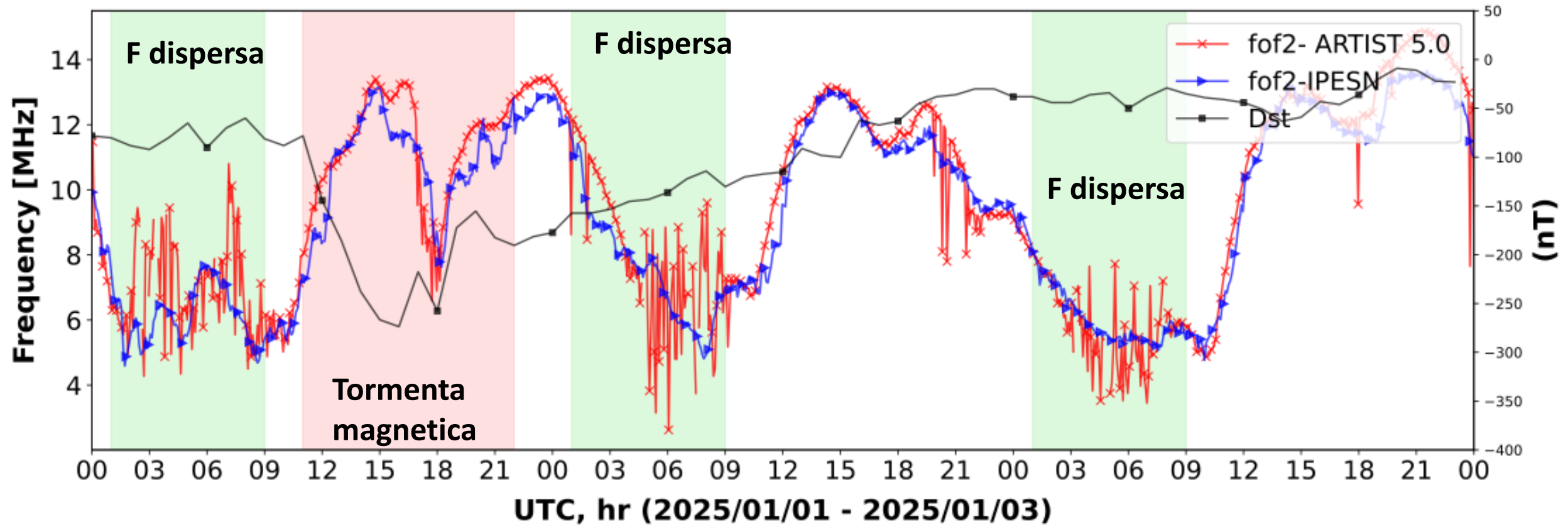
Comparison of hmF2





Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

Comparison of foF2





Caso 2: Tormenta magnetica y F dispersa

Tabla 3. Correlación de Pearson (R) para las variables $hmF2$ y $foF2$ del periodo **1 al 4 de Enero del 2025** en diversos intervalos.

Interval time (UTC)	Condition	R		MAE	
		$hmF2$	$foF2$	$hmF2$	$foF2$
01:00–09:00 (1 Jan 2025)	Spread-F	0.908	0.28	29.9	1.3
11:00–22:00 (1 Jan 2025)	Magnetic storm	0.788	0.824	21.53	0.85
01:00–09:00 (2 Jan 2025)	Spread-F	0.909	0.718	17.76	1.24
01:00–09:00 (3 Jan 2025)	Spread-F	0.915	0.70	24.72	0.66



Conclusiones

- El modelo IPESN muestra gran desempeño en escala de perfiles de densidad en comparacion al ARTIST 5.0, inclusive con F dispersa.
- Con esta metodología es posible obtener parámetros y valores de densidad confiables para el monitoreo constante del clima espacial.
- Esta metodología resulta aplicable para cualquier ionosonda instalada alrededor del mundo.



Centro de Monitoreo de Clima Espacial

PERÚ Ministerio del Ambiente Instituto Geofísico del Perú
"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

BOLETÍN
IGP / ROJ / 2025-02



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ
FEBRERO 2025



Durante el mes de febrero de 2025 fuimos testigos de 4 tormentas geomagnéticas, tres de ellas de intensidad G1, y una de intensidad G2 ocurrida el 27 de febrero. Esta última tormenta perturbó la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético terrestre (H), así como las derivas verticales ISR, en las cuales se registraron valores infrecuentes durante las horas de la mañana, con un valor máximo de 23 m/s. Además, las mediciones de las derivas verticales durante los días geodifirieron en hasta 23 m/s con lo predicho por la climatología.

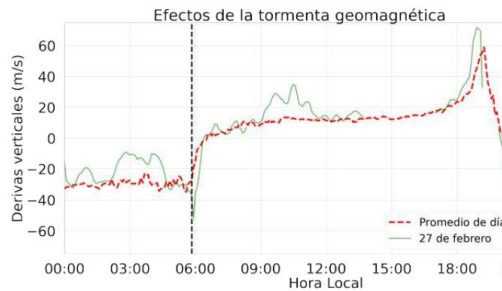
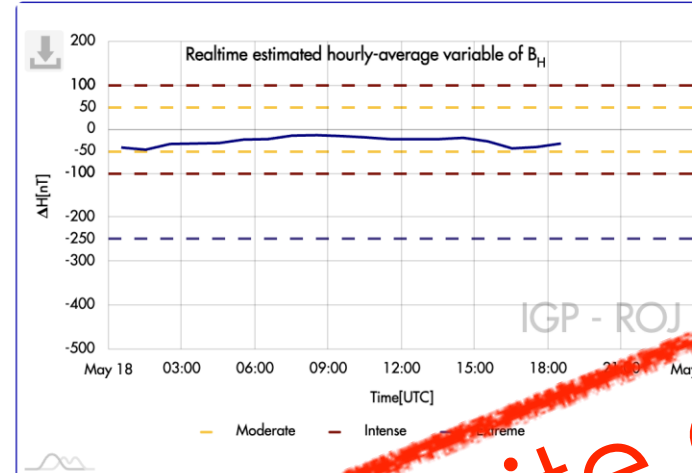
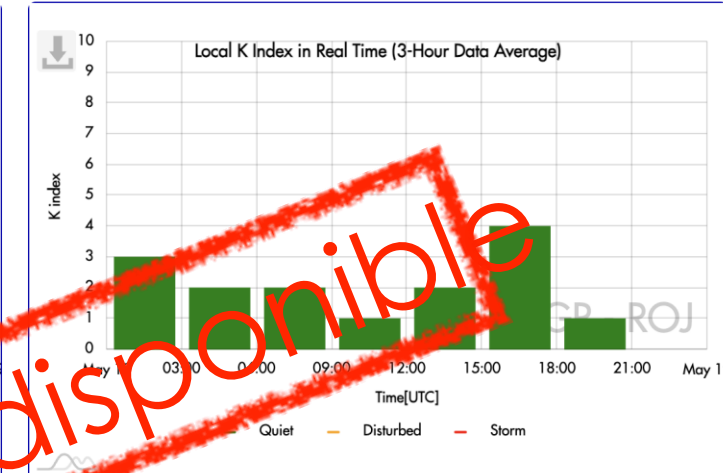


Figura 1. Efectos de la tormenta geomagnética G2, ocurrida el 27 de febrero, sobre el promedio y 400 km de las derivas verticales ISR. La línea vertical negra indica el comienzo de la tormenta.

DST



K INDEX



Website disponible

Fig. 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de febrero del 2025.

Vientos promedios MLT a 90 km [m/s]	
Meridional	Zonal
Mín: 44.9 S	Mín: 27.4 O
Máx: 44.6 N	Máx: 3.6 E

Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H)[nT]	
LIM: 139	TPP: 79
HYO: 137	PIU: 96

Derivas verticales de plasma promedio (300 km- 400 km) [m/s]	
Mín.	Máx.
-32	39

ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: **TRANQUILA**
A: 5% M: 23% T: 72%

ACTIVIDAD SOLAR: **ALTA**
A: 96% M: 4% B: 0%



Gracias



Ing. Armando Castro
acastro@igp.gob.pe