

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

Lima, 25 de setiembre de 2025

Informe de servicio

Elaborado por: Christian Mauricio Timana

Asunto: Estudio de la relación entre los procesos dinámicos y térmicos de la atmósfera neutra con la distribución y evolución del plasma ionosférico, por medio de la comparación de datos entre una ionosonda y un FPI.

.....
Christian Mauricio Timana
RUC: 10717759708

.....
César De La Jara Sánchez
Jefe del Área

1. Antecedentes

El Radio Observatorio de Jicamarca cuenta con capacidades consolidadas para el procesamiento de ionogramas en formato NGI, mediante su conversión a formatos GRM y SAO que permiten la extracción sistemática de parámetros ionosféricos. Este proceso, complementado con datos continuos del Interferómetro Fabry-Perot (FPI), constituye una base integral para el estudio de la dinámica atmosférica.

La integración de estas fuentes de datos habilita análisis avanzados de la ionosfera y la termosfera, con aplicaciones directas en el estudio de perturbaciones atmosféricas, validación de modelos numéricos y evaluación de impactos en sistemas de comunicación y navegación. Los datos históricos y en tiempo real de ambos instrumentos representan un activo científico fundamental para la investigación geofísica en la región.

La optimización de estos flujos de procesamiento consolida la posición del observatorio como centro de referencia para estudios atmosféricos, promoviendo además la colaboración interinstitucional y el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas basadas en datos observacionales de alta calidad.

2. Objetivo

Presentar una comparación de datos simultáneos de la ionosonda y el interferómetro Fabry-Perot (FPI) del Radio Observatorio de Jicamarca.

3. Procesamiento ionogramas

El procesamiento de ionogramas requiere inicialmente la conversión de datos desde el formato NGI al formato GRM, para lo cual se ha implementado un protocolo estandarizado que incluye el uso de scripts especializados y el programa SAO Explorer. La primera etapa consiste en la descarga de datos mediante acceso a la página web de LISN, seguida por la conversión masiva de archivos utilizando el script Python `leengi.py`, que transforma automáticamente los archivos NGI a GRM.

Posteriormente, los archivos GRM son procesados en SAO Explorer versión 3.5.1, donde se aplica la función ARTIST para el escalado individual de cada ionograma. Este

proceso permite estimar parámetros ionosféricos críticos como la densidad electrónica y las características de las capas F1 y F2. Si bien la conversión inicial es automatizada, el escalado requiere intervención manual para cada ionograma, lo que representa un desafío operacional considerando el volumen de aproximadamente 288 ionogramas diarios.

La implementación de este flujo de procesamiento se ha aplicado específicamente a los datos del 14 de septiembre de 2025, fecha seleccionada por contar con la mayor cantidad de registros simultáneos del Interferómetro Fabry-Perot (FPI). El protocolo demostró su efectividad en la conversión y preparación de los ionogramas, ejecutándose correctamente tanto el script de conversión como el SAO Explorer en entorno Windows. Cabe destacar que el procesamiento se realizó en esta plataforma debido a consideraciones prácticas de operatividad.

4. Procesamiento datos de FPI

El procesamiento inicial de datos del FPI se realiza mediante un script especializado que extrae los parámetros atmosféricos a partir del análisis de las imágenes de interferencia. Si bien este proceso genera estimaciones preliminares de vientos y temperaturas, la data resultante requiere un riguroso proceso de limpieza y validación antes de su utilización científica.

El protocolo de limpieza implementado consta de varias etapas consecutivas. Inicialmente, se eliminaron todas las filas donde no fue posible calcular los errores asociados a las estimaciones de vientos y temperaturas, garantizando así que solo se conserven mediciones con información de incertidumbre completa. Posteriormente, se aplicaron filtros basados en rangos físicos plausibles, conservando únicamente los datos donde los vientos se encuentran dentro del intervalo de ± 250 m/s y las temperaturas entre 600 K y 1500 K, valores consistentes con las condiciones termodinámicas de la termosfera.

Como criterio adicional de calidad, se implementó un filtro que retiene exclusivamente las mediciones donde el error estimado es menor que el valor absoluto de la medición misma, asegurando así que la incertidumbre no exceda la magnitud del parámetro medido. Este filtro se aplicó independientemente para ambos parámetros (vientos y temperaturas), descartando las observaciones donde la relación señal-ruido era insuficiente.

Tras la aplicación de este protocolo de limpieza, se realizó un análisis exhaustivo de la disponibilidad temporal de datos válidos, identificándose que la noche del 14 de septiembre presenta la mayor cantidad de registros nocturnos confiables. Esta fecha fue seleccionada consecuentemente para el análisis detallado, al representar el conjunto de datos más robusto y completo disponible para el estudio de la dinámica atmosférica con el FPI.

5. Resultados

Para el caso de los datos de ionogramas, se extrajeron los parámetros $h'F$ y $hmF2$. La Figura 1 muestra las series de tiempo.

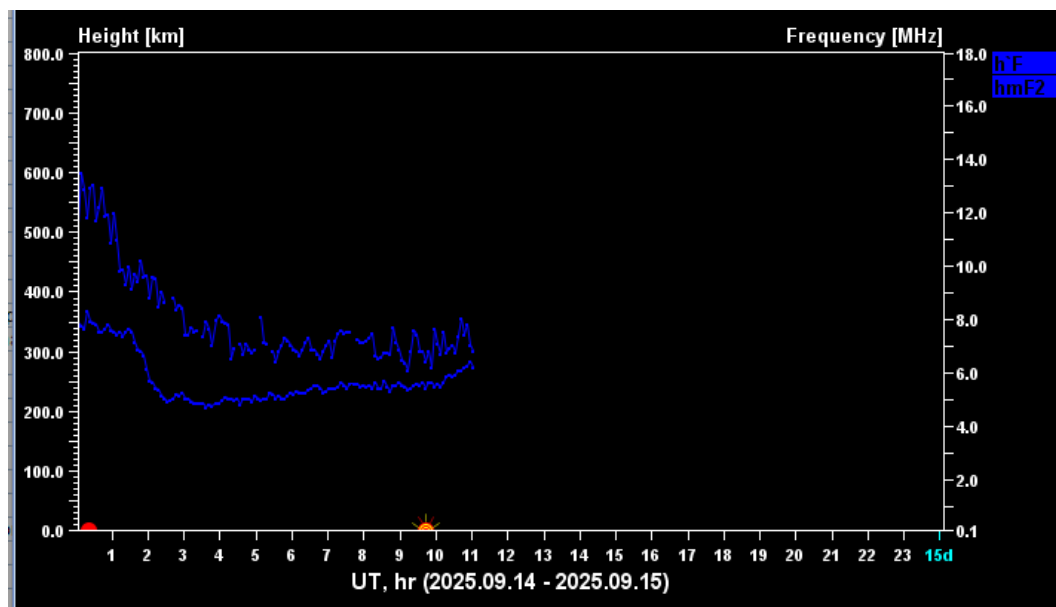


Figura 1. Datos de $h'F$ y $hmF2$

Para el caso de los datos del FPI, se muestran los vientos y temperaturas según los apuntes programados y tomados con el sky scanner: norte, sur, este, oeste y cenit (Figura 2).

Jicamarca 20250914

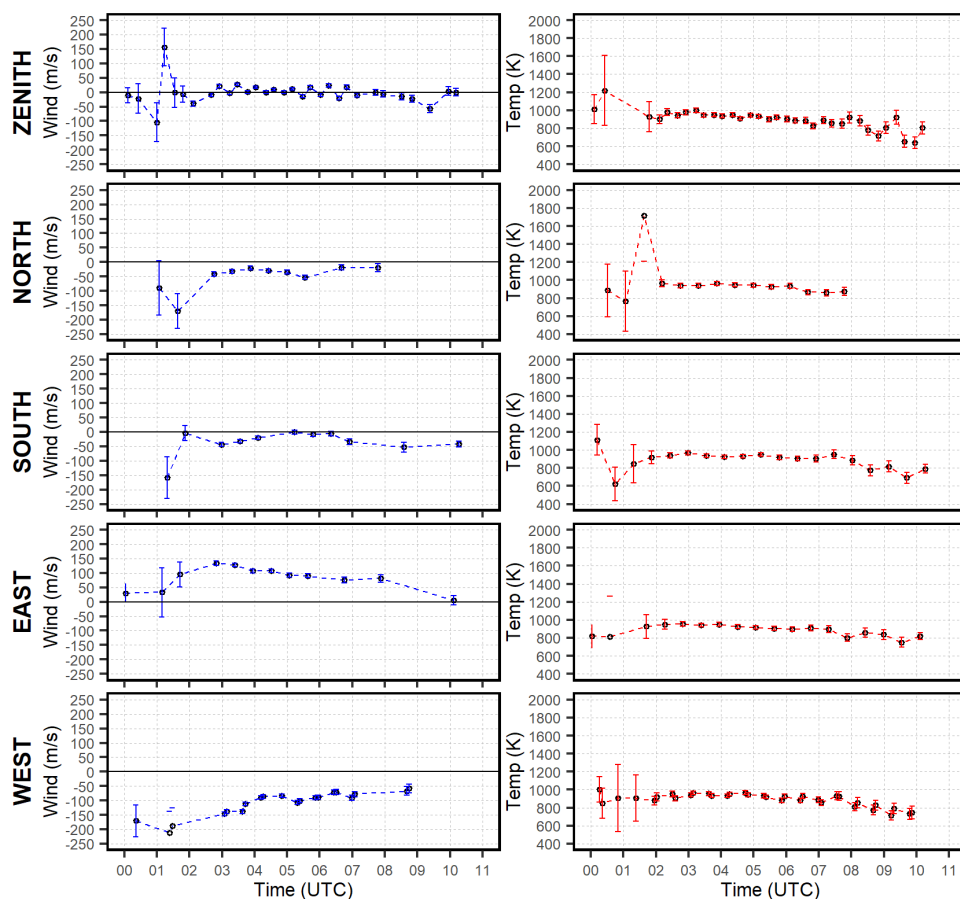


Figura 2. Vientos y temperaturas del FPI

Para la comparación de los datos se aplicó un promedio horario con el fin de reducir la dispersión y resaltar las tendencias principales. En el caso del FPI, los registros fueron previamente filtrados de acuerdo con la dirección de apunte (Este, Oeste, Norte, Sur y Cenit), y a cada conjunto resultante se le calculó un promedio por hora tanto para la temperatura como para la velocidad del viento.

De manera análoga, en los datos del ionograma se seleccionaron los parámetros de interés ($hmF2$ y $foF2$) y se calcularon sus respectivos promedios horarios. Este procedimiento permitió disponer de series temporales más consistentes y comparables entre ambos instrumentos.

Posteriormente, se implementó un código para generar gráficos de dispersión entre las variables del FPI y del ionograma, así como para realizar pruebas preliminares de correlación estadística. A partir de estos análisis se identificaron relaciones notables,

destacando que algunos de los componentes de viento medidos por el FPI muestran correlaciones altas con los parámetros ionosféricos obtenidos a partir del ionograma.

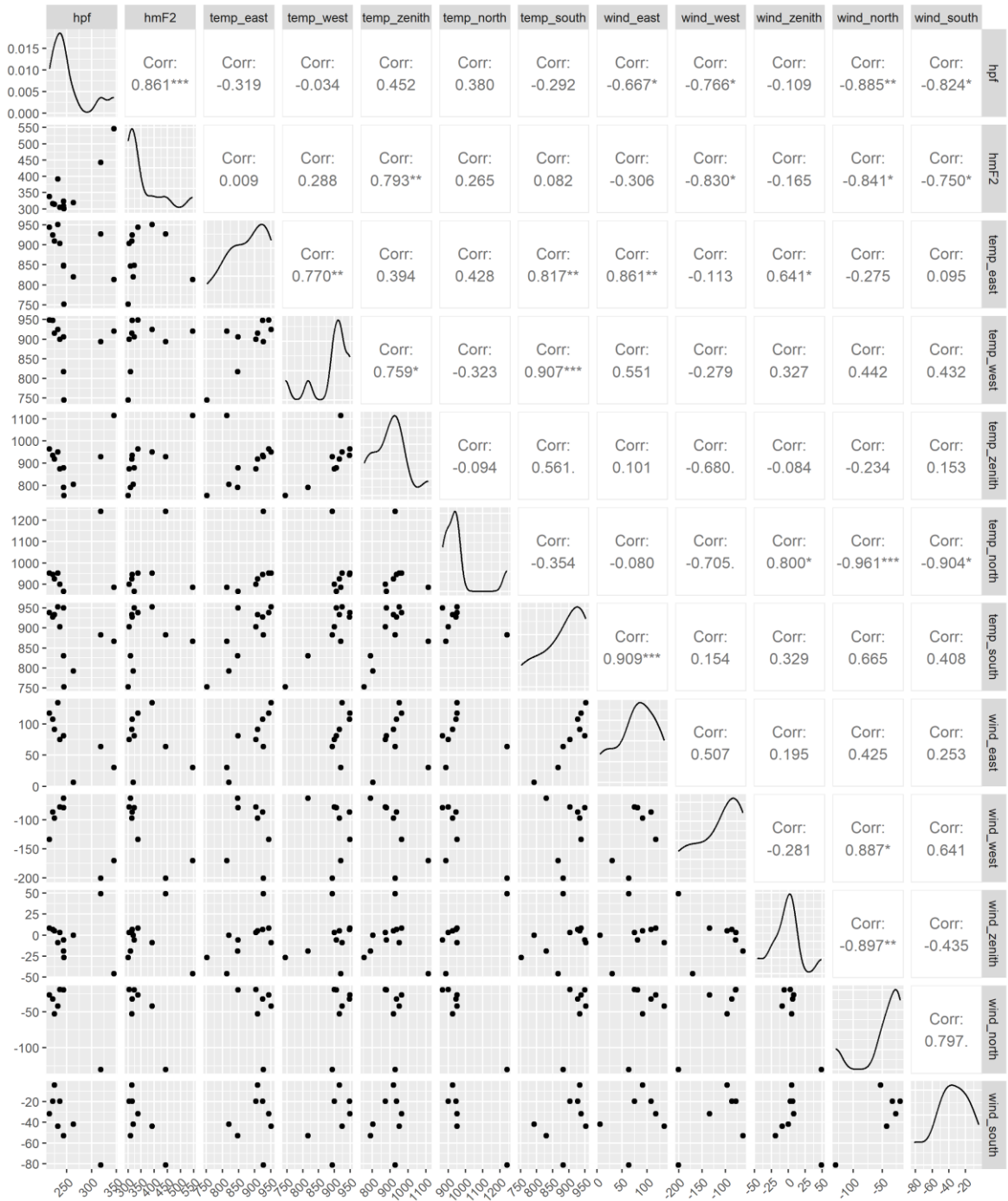


Figura 3: Dispersión y correlaciones preliminares

6. Conclusiones

El análisis comparativo entre ionogramas y FPI mostró correlaciones preliminares entre algunos componentes de viento y parámetros ionosféricos como $hmF2$ y $foF2$. Estos resultados sugieren posibles vínculos entre la dinámica atmosférica y la variabilidad ionosférica.

Sin embargo, las conclusiones son limitadas: el promedio horario redujo la muestra a solo 10 valores por variable, lo que restringe la solidez estadística. Además, la calidad de los datos de viento del FPI aún debe revisarse y no se han aplicado pruebas de hipótesis que respalden la significancia de las correlaciones.

En este sentido, los resultados deben considerarse exploratorios. Será necesario un análisis más profundo, para validar los datos y aplicar métodos más robustos antes de establecer inferencias concluyentes.