



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

ENERO 2024



Este mes pudimos ser testigos del efecto en las mediciones de nuestros magnetómetros a causa de la inversión de dirección del electrochorro ecuatorial y a su vez provocando la desaparición de los ecos del mismo (Figura 1). Además, monitoreamos la ionósfera peruana en búsqueda de irregularidades en la Capa-F con dos de los sistemas con los que contamos (JULIA-MP y AMISR-14).

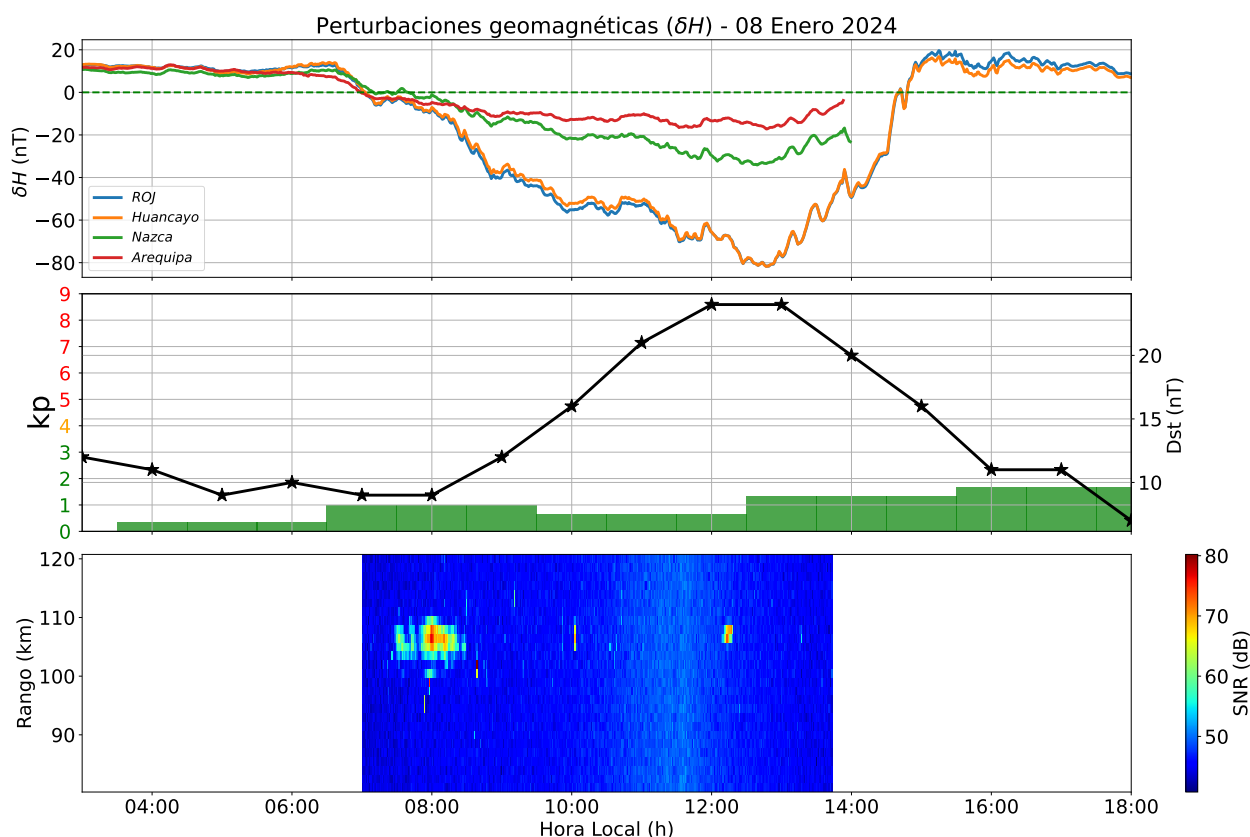


Figura 1. Efecto del cambio de dirección del electrochorro ecuatorial (EEJ) en las mediciones de la componente horizontal del campo geomagnético de nuestros magnetómetros.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de enero del 2024.

Vientos promedios MLT a 90 km [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H)[nT]		Derivas verticales de plasma promedio (300 km- 400 km) [m/s]	
Meridional	Zonal	LIM:122	AQP:71	Mín.	Máx.
Mín: 26.7 S	Mín: 8.6 O	HYO: 115	NZC: 74	-33	30
Máx: 33.7 N	Máx: 32.3 E				

ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA	ACTIVIDAD SOLAR: ALTA
--	------------------------------

¿SABÍAS QUÉ?

El índice Kp se creó para cuantificar la actividad geomagnética de corta duración y de origen magnetosférico. Con este fin, una red de observatorios magnéticos está distribuida alrededor del mundo (Figura 2), para cada cual se calcula un índice K, que es promediado para obtener el valor final de Kp[1]. El cálculo del índice K para un observatorio específico se realiza estimando la componente regular del campo geomagnético, es decir, la contribución debida al núcleo fundido de la Tierra[2] y la correspondiente al sistema de corrientes originados por la radiación solar ubicado en la región E (Sq o solar quiet), las que son restadas de las mediciones para así aislar la llamada "variación K". A continuación, los valores de esta variación son subdivididos en intervalos de 3 horas en los que se calcula el rango del intervalo, dado por el valor absoluto de la resta de los valores máximo y mínimo en ese intervalo, para posteriormente asignarle un valor de 0 a 9 de acuerdo a una escala semilogarítmica llamada límites K (K-limits) que es propia de cada observatorio y depende de su latitud[1]. Esta definición del índice Kp nos permite distinguir entre perturbaciones provenientes de la ionósfera o de origen externo a la Tierra, como ocurrió el 8 de enero, cuando se detectó un decremento notable

en la componente horizontal del campo geomagnético, más acentuado en las estaciones ubicadas en el ecuador magnético, mientras que los valores del índice Kp se mantuvieron bajos (Figura 1). Esto nos da indicios de que la perturbación pudo no tener un origen asociado a fenómenos del clima espacial.

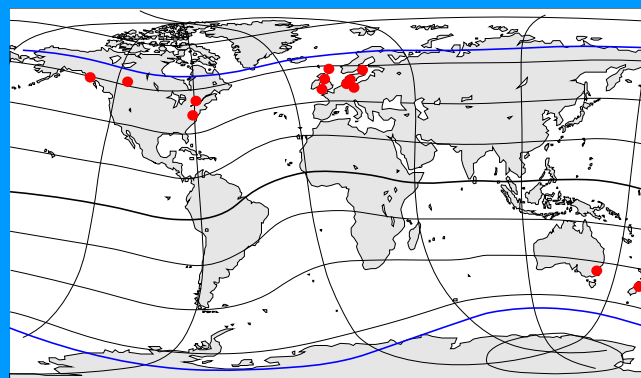


Figura 2. Red de observatorios magnéticos involucrados en el cálculo del índice Kp. Imagen adaptada de la publicación "The Geomagnetic Kp Index and Derived Indices of Geomagnetic Activity" de J. Matzka[1].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[3]) fue predominantemente tranquila en un 99% del tiempo y moderada en un 1%; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7[4]) fue alta un 68% del tiempo y 32% moderada (Figura 3 y Tabla 1). Además, investigaciones previas señalan que hay una fuerte relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético

(H)[5], lo que se refleja en nuestras mediciones.

Para los meses cercanos al solsticio de enero en un régimen de actividad solar alta o moderada, se espera que la ocurrencia de F-Dispersa sea mayor para el intervalo de tiempo anterior a la medianoche, entre los 200 y 600 km de altura. Por otro lado, se espera una muy baja incidencia de eventos posteriores a la medianoche[6]. Las mediciones muestran una buena concordancia con la climatología.

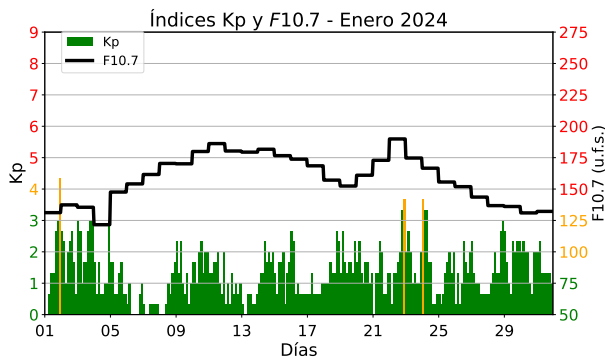


Figura 3. Valores de los índices Kp y F10.7 cm ($\text{u.f.s.} = 10^{-22} \text{Wm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$) para el mes de enero. Extraídos de OMNIWeb [7].

Asimismo, la climatología de enero para un régimen de actividad solar alta o moderada (dada por el modelo de Scherliess-Fejer) indica que el promedio en altura (300 km-400 km) de las derivas verticales de plasma tiene un valor cercano a los -20 m/s pasada la medianoche, cuya magnitud incrementa hasta llegar a un valor de cerca de 15 m/s a las 11:30 horas. Posteriormente, estos valores disminuyen hasta 5 m/s a las 15:00 horas, cuando vuelven a incrementar temporalmente debido al fenómeno de pre-reversal enhancement[8], hasta cerca de 23 m/s a las 19:00 horas, para finalmente decrecer hasta los -20 m/s antes de la medianoche. Los valores indicados por la climatología muestran una moderada concordancia con las mediciones salvo durante los periodos comprendidos entre las 03:00 y las 10:30 horas y el circundante a la ocurrencia de pre-reversal enhancement.

Estudios climatológicos[9] indican que cerca a los meses del equinoccio de marzo los Ecos de 150 km aparecen alrededor de las 9 horas, desaparecen pasadas las 15:30 horas y están contenidos entre los 140 km y los 165 km de altura. Las mediciones muestran una buena concordancia con la climatología.

2. Perturbaciones magnéticas de origen ionosférico

El 8 de enero observamos un decremento inusual en las mediciones de la componente horizontal H del campo geomagnético simultáneamente en todas nuestras estaciones entre aproximadamente las 06:00 horas y las 15:00 horas, como se muestra en el panel superior de la Figura 1. La intensidad de estas perturbaciones fue mayor para las estaciones en el ecuador magnético (Jicamarca y Huancayo), lo cual es un indicio de que fueron ocasionadas por la una inversión de dirección del EEJ (panel inferior de la

Figura 1). Por otro lado, los valores del índice Dst durante este periodo son muy altos como para que las perturbaciones hayan sido originados por corrientes en la magnetósfera (panel intermedio de la Figura 1).

3. Observaciones de la alta atmósfera con radares

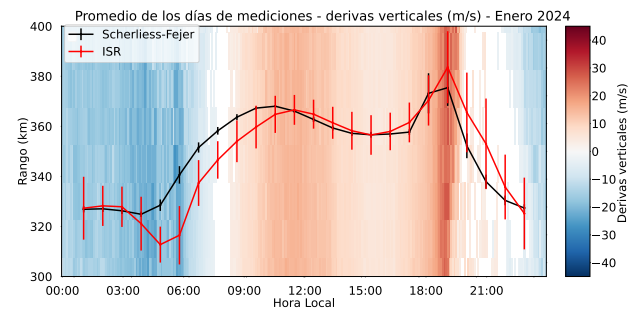


Figura 4. Promedio de las derivas verticales ISR para los días de enero. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

Se pudo monitorear el comportamiento de las derivas verticales de plasma entre los 300 y 400 km de altura con el uso del radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca, sede del Instituto Geofísico del Perú (IGP-ROJ) como se muestra en la Figura 4. Estas mediciones indican que las derivas verticales promedio empezaron aproximadamente a -25 m/s (hacia abajo) después de la medianoche para disminuir hasta -33 m/s a las 05:30 horas. Posteriormente, los valores de las derivas aumentaron hasta cambiar de dirección (hacia arriba) a las 08:00 horas. Luego, incrementaron hasta llegar a un valor cercano a 12 m/s a las 10:30 horas. Posteriormente, descendieron hasta que aconteció el incremento súbito a las 18:30 horas conocido como pre-reversal enhancement[8], con valores cercanos a los 25 m/s. Finalmente, las derivas verticales continuaron su descenso hasta llegar a valores cercanos a -23 m/s a la medianoche. Los valores predichos por el modelo de Scherliess-Fejer exhiben una moderada concordancia con las mediciones, siendo la mayor discrepancia de 14 m/s a las 21:30 horas.

Por otro lado, se realizaron 14 días de mediciones de las derivas verticales de los Ecos de 150 km, en la región de transición entre las capas E y F. Podemos apreciar en la Figura 5 que los ecos empiezan desde las 08:00 horas, que desaparecen un poco antes de las 16:00 horas y que están contenidos entre los 130 km y los 165 km de altura, lo que concuerda con lo predicho por la climatología.

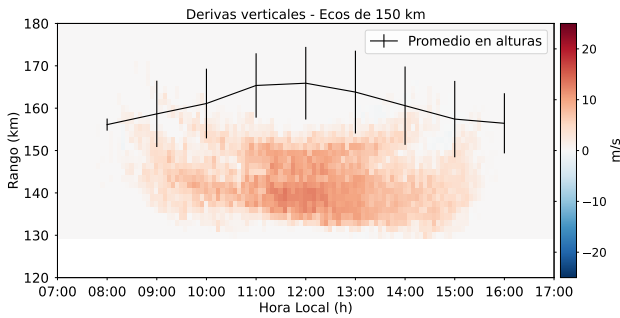


Figura 5. Promedio de las derivas verticales de los Ecos de 150 km.

Asimismo, se realizaron 14 días de mediciones con el sistema de radar AMISR-14[10], periodo durante el cual se observó la presencia de 12 irregularidades en la Capa F en 11 noches, entre los 250 km y 900 km de altura. La morfología dominante fue la del tipo Pluma de Radar, con un 84 % de ocurrencia, secundada por los tipos Bottom-type y Post-midnight, con 8 % cada uno, como se aprecia en la Figura 6. Además, el sistema de radar JULIA-MP funcionó durante 26 noches, durante las cuales se detectaron 26 irregularidades entre los 200 km y los 850 km, siendo la más frecuente la morfología del tipo Pluma de Radar, con 81 %, seguida por Bottom-type, con 15 % y Post-midnight, con 4%. Las observaciones de ambos sistemas concuerdan con lo señalado por la climatología (realizada con el modo JULIA)[6].

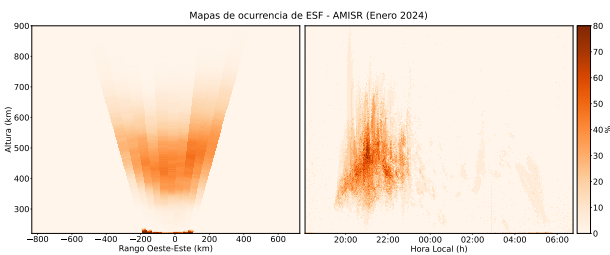


Figura 6. Derecha: Mapa de ocurrencias tradicional. Izquierda: mapa de ocurrencias polar.

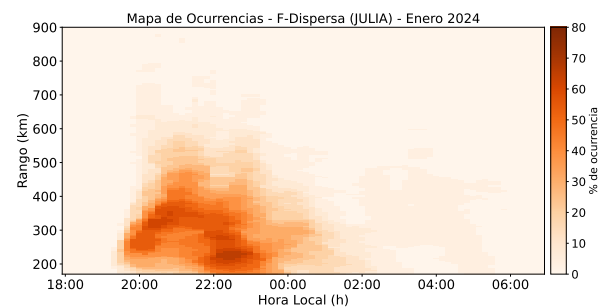


Figura 7. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa con el sistema JULIA MP.

El promedio en tiempo y altura de los vientos zonales y meridionales para el mes de enero, como se aprecia en la Figura 8, muestra periodos predominantes de 24 horas (marea solar diurna). En la mesopausa (~90 km de altura) se observa que el valor del viento zonal promedio máximo fue de +32.3 m/s a las 05:30 horas y el promedio mínimo de -8.6 m/s a las 21:00 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de +33.7 m/s a las 18:30 horas y el promedio mínimo de -26.7 m/s a las 01:30 horas. El viento zonal máximo fue de +108.9 m/s a las 04:15 horas del día 01 de enero y el mínimo -76.5 m/s a las 20:45 horas del día 22 de enero, mientras que el viento meridional máximo fue 94.2 m/s a las 14:45 horas del día 05 de enero y el mínimo -83.7 m/s a las 04:15 horas del día 23 de enero.

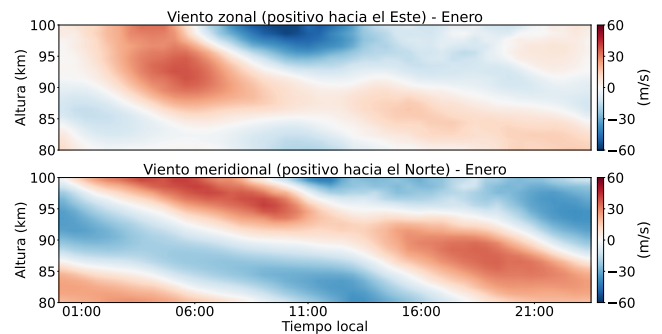


Figura 8. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de enero del 2024.

4. Observaciones con la red de instrumentos LISN

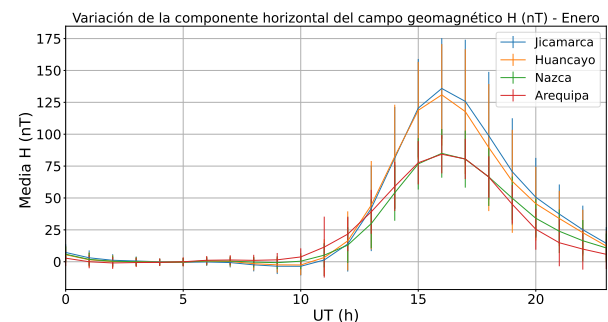


Figura 9. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes de enero del 2024.

Las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo geomagnético (H) de las estaciones magnéticas del IGP-ROJ se presentan en la Figura 9. Aquí se aprecia que el promedio de las estaciones de Jicamarca y Huancayo estuvieron muy

por encima de las demás debido a que se encuentran en el ecuador magnético y el Electrochorro Ecuatorial (EEJ) contribuye al incremento en sus mediciones. Así también, se apreció una gran variabilidad diaria, mayormente a las 11:00 horas (16:00 horas UTC). Se registraron las máximas variaciones del promedio del mes de enero de H por cada estación: Huancayo, 131 nT; Jicamarca, 136 nT; Arequipa, 84 nT y Nazca, 85 nT.

5. Conclusiones

- La perturbación magnética observada el 8 de enero coincide con una ausencia en los ecos del electrochorro ecuatorial.
- Se registró alta variabilidad en los promedios en altura de las derivas verticales entre los 300 km y 400 km de altura y de los Ecos de 150 km.

6. Referencias

- [1] J. Matzka, C. Stolle, Y. Yamazaki, O. Bronkalla, and A. Morschhauser, "The geomagnetic Kp index and derived indices of geomagnetic activity." *Space Weather*, vol. 19, 2021.
- [2] G. A. Glatzmaier, "Geodynamo." [Online]. Available: <https://websites.pmc.ucsc.edu/~glatz/geodynamo.html>
- [3] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html>
- [4] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center," Jul 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>
- [5] I. Adimula, K. Gidado, and S. Bello, "Variability of horizontal magnetic field intensity from some stations within the equatorial electrojet belt," *Physical Science International Journal*, vol. 13, pp. 1–8, 01 2017.
- [6] W. Zhan, F. S. Rodrigues, and M. A. Milla, "On the genesis of postmidnight equatorial spread f: Results for the american/peruvian sector," *Geophysical Research Letters*, vol. 45, no. 15, pp. 7354–7361, 2018.
- [7] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: Mar. 16, 2023. [Online]. Available: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- [8] J. V. Eccles, J. P. St. Maurice, and R. W. Schunk, "Mechanisms underlying the pre-reversal enhancement of the vertical plasma drift in the low-latitude ionosphere." *J. Geophys. Res. Space Physics*, vol. 120, p. 4950–4970, 2015.
- [9] J. L. Chau and E. Kudeki, "Statistics of 150-km echoes over jicamarca based on low-power vhf observations," *Ann. Geophys.*, p. 1305–1310, 2006.
- [10] "Instituto Geofísico del Perú, "Realtime at Jicamarca," Aug. 2022, [Online; accessed 14. jan. 2024]. [Online]. Available: https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/Boletin_Agosto.pdf

Elaborado por:

Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche
Bach. Roberto Flores Arroyo
Mag. Luis Condori Illahuamán
Dr. Edgardo Pacheco Josan

Diseño y diagramación:

Bach. Anette De la Cruz Meza

Colaboradores:

Mag. Karim Kuyeng Ruiz
Dr. Danny Scipión Castillo
Dr. Marco Milla Bravo

Contacto:

roj@igp.gob.pe