



# LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

MAYO 2023



Durante el mes de mayo se observó la disminución en la ocurrencia de burbujas de plasma (Figura 4), una tendencia que se aprecia también en los anteriores meses del año. Adicionalmente, se realizó la comparación entre los promedios en altura (300 km - 400 km) de las derivas verticales de plasma de los meses alrededor al equinoccio de marzo y se presenta gran similitud (Figura 1). Sin embargo, estos presentan ligeras diferencias a los estimados correspondientes al presente mes de mayo.

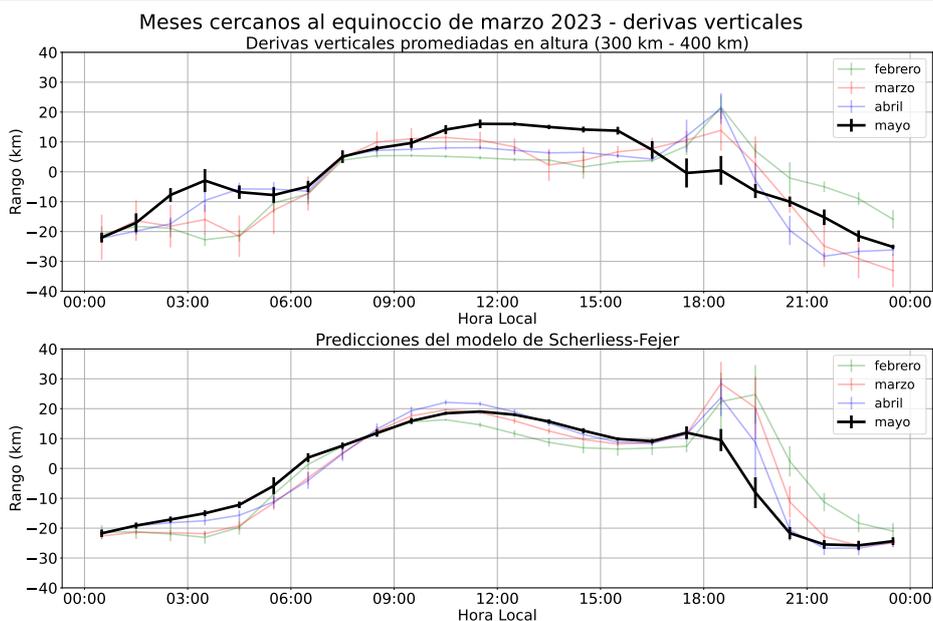


Figura 1. Promedio mensual de las derivas verticales promediadas en altura (300 km - 400 km) para los meses cercanos al equinoccio de marzo y el presente mes. Podemos notar que casi no existen diferencias significativas entre los diferentes meses (panel superior) ni con las respectivas predicciones del modelo de Scherliess-Fejer, con excepción a los del mes de mayo.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos y condiciones predominantes del clima espacial del mes de mayo del 2023.

Vientos promedio MLT a 90 km [m/s]		Derivas verticales de plasma promedio (300 km- 400 km) [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H) [nT]	
Meridional	Zonal	Mín	Máx	LIM: 139	AQP: 70
Mín: 62.6 S	Mín: 7.5 O	-30	25	HYO: 136	NZC: 87
Máx: 29.3 N	Máx: 29.2 E			TAR: 77	
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: <b>TRANQUILA</b>			ACTIVIDAD SOLAR: <b>ALTA</b>		

## ¿SABÍAS QUÉ?

La primera transmisión de radio transatlántica la realizó Guglielmo Marconi en 1901 desde Reino Unido hasta Canadá. Debido a la curvatura de la Tierra, Arthur Heaviside y Oliver Kennelly propusieron de manera independiente la existencia de una capa de cargas en la atmósfera superior que refleje las señales de radio y así permita la comunicación entre 2 puntos alejados en la superficie de la Tierra. Posteriormente, a esta capa se le llamó capa E y le debe su nombre a la letra que representa el campo eléctrico (E). Esta región se extiende desde los 90 km hasta los 160 km de altura aproximadamente, su dinámica es dominada por las mareas de 24 horas que deben su origen al calentamiento del Sol y es formada mayormente por la ionización del oxígeno molecular ( $O_2$ ) generada por la radiación solar extrema ultravioleta (EUV). Presenta una densidad pico en un rango entre  $10^{11}$  electrones/ $m^3$  y  $2 \times 10^{11}$  electrones/ $m^3$  entre los 100 km y 120 km de altura durante el día, mientras que durante la noche, debido a que la recombinación es más lenta que en alturas menores, esta capa no desaparece aunque su densidad de electrones disminuye[1]. Por otro lado, se puede destacar que el IGP - ROJ estudia fenómenos

muy importantes para la aeronomía ecuatorial en esta capa con la ayuda de técnicas de radar como lo es el fenómeno conocido como Electrochorro Ecuatorial[2], la estimación de parámetros ionosféricos como la densidad de electrones. Además, se desarrolló un método para transmitir mensajes de voz y datos mediante la dispersión de señales VHF en el Electrochorro Ecuatorial[3].



Figura 2. Esquema de la primera transmisión trasatlántica de radio hecha por Guglielmo Marconi en 1901 desde Reino Unido hasta Canadá, usando la capa E como medio reflector.

## 1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp[4]) fue predominantemente tranquila en un 87 % del tiempo, moderada en un 7 % y alta en un 6 %; por otro lado, la actividad solar (índice F10.7[5]) fue moderada en un 16 % del tiempo y alta en un 84 % (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)[6], lo que se refleja en nuestras mediciones.

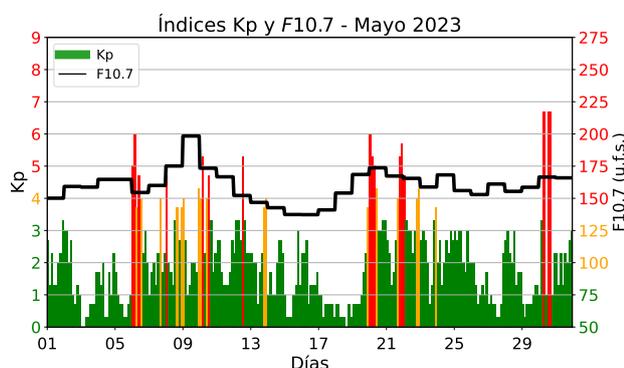


Figura 3. Los valores de los índices Kp y F10.7 cm (s.f.u. =  $10^{-22} W m^{-2} Hz^{-1}$ ) para el mes de mayo. Extraídos de OMNIWeb [7].

Los estudios climatológicos realizados para los meses cercanos al equinoccio de marzo (febrero, marzo, abril) fueron hechos con el modo JULIA del radar principal del Radio Observatorio de Jicamarca-IGP, que opera a 50 MHz, y estos indican que se espera una ocurrencia baja de burbujas de plasma, con burbujas contenidas entre los 200 km y 600 km de altura y con una incidencia mayor antes de la medianoche[8]. Las mediciones realizadas para este mes con el radar AMISR-14[9], que opera a 450 MHz, muestran una concordancia moderada con lo esperado por la climatología.

La climatología de mayo para un régimen de actividad solar alta (dadas 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 -25 m/s pasada la medianoche, cuya magnitud incrementa hasta llegar a un máximo de cerca de 20 m/s un poco antes del mediodía. Posteriormente, estos valores disminuyen hasta 8 m/s a las 16:30 horas, cuando vuelven a incrementar temporalmente debido al fenómeno de pre-reversal enhancement, hasta cerca de 12 m/s antes de las 18:00 horas, para finalmente decrecer hasta los -23 m/s antes de la medianoche. Las mediciones de este mes discrepan con la climatología antes de las 06:00 horas, cuando estas superan las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer en

hasta 10 m/s (03:00 horas) y después de las 16:00 horas, siendo la ausencia del fenómeno de pre-reversal enhancement el rasgo más saltante de esta discordancia entre mediciones y climatología.

## 2. Observaciones de la alta atmósfera con radares

Con el radar AMISR-14[9] se realizaron mediciones de F-Dispersa por 18 días con los apuntes disponibles[9]. Se observaron 5 burbujas durante 5 días, entre 200 km y 450 km de altura, como se puede apreciar en la [Figura 6](#). Se encontró que la morfología dominante fue la del tipo Bottomside con 80%, seguida del tipo Bottom-type con 20% de ocurrencia. Se encontró una buena concordancia con la climatología, en donde se indica que la gran mayoría de burbujas se producirían antes de la medianoche con una ocurrencia baja, aunque la máxima altura de aparición de ecos resultó ser 150 km menor que las reportadas por la climatología[8]. Este comportamiento nos muestra que la ocurrencia de burbujas de plasma en este periodo del año y en este régimen de actividad solar tiende a disminuir progresivamente, ya que en enero tuvimos 12 burbujas en 16 días; en febrero, 14 en 28 días y en marzo, 3 en 10 días.

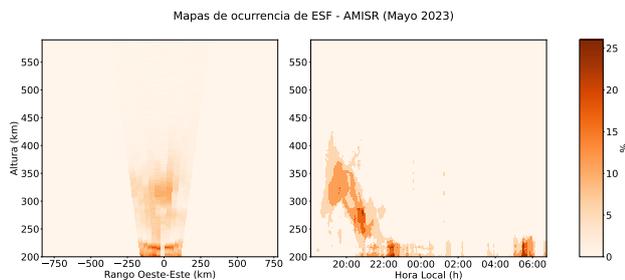


Figura 4. Mapas de ocurrencias de F dispersa o ESF (Equatorial Spread F) para las mediciones de AMISR-14 del mes de mayo. Izquierda: mapa polar. Derecha: mapa tradicional.

Así mismo, las mediciones de derivas verticales de plasma del presente mes, para el periodo de la madrugada, guardan semejanza con las correspondientes al mes de abril, mientras que difieren en hasta 25 m/s con las de los meses de febrero y marzo durante este periodo. Posteriormente, estas mediciones muestran una gran concordancia con las correspondientes a todos los meses cercanos al equinoccio de marzo, para el lapso de tiempo comprendido entre las 06:00 horas hasta las 10:30 horas, para después discrepar nuevamente en hasta 15 m/s durante el periodo que abarca desde las

10:30 horas hasta las 17:00 horas. Por otro lado, las mediciones de este mes evidencian la ausencia del fenómeno de pre-reversal enhancement (a diferencia de los demás meses). Finalmente, para las horas de la noche, los valores de las derivas promedio de este mes están por encima de los correspondientes a los meses de marzo y abril en hasta 15 m/s, mientras que están por debajo de las mediciones de febrero en hasta 10 m/s, como puede apreciarse en la [Figura 1](#).

Como ya se viene haciendo en los últimos meses, se pudo monitorear el comportamiento de las derivas verticales de plasma entre los 300 km y 400 km de altura con el uso del radar principal del IGP-ROJ en su modo JULIA-MP. Estas mediciones indican que las derivas verticales promedio empezaron en cerca de -25 m/s (hacia abajo) después de la medianoche para inmediatamente aumentar su magnitud y cambiar de dirección (hacia arriba) cerca de las 07:00 horas. Luego incrementaron hasta llegar a su valor pico de 17 m/s al mediodía. Posteriormente, descendieron casi monótonicamente, salvo por un incremento súbito a las 18:00 horas conocido como pre-reversal enhancement[10]. A partir de este momento, continuaron su descenso hasta llegar a valores cercanos a -25 m/s a la medianoche. Las mediciones (curva roja) muestran una buena concordancia con las predicciones del modelo Scherliess-Fejer (curva negra), como se muestra en la [Figura 5](#). Por otra parte, estas mediciones diurnas guardan semejanza con las correspondientes a los meses anteriores de este año, mientras que podemos observar discrepancias para horas de la madrugada y la noche como se muestra en la [Figura 1](#).

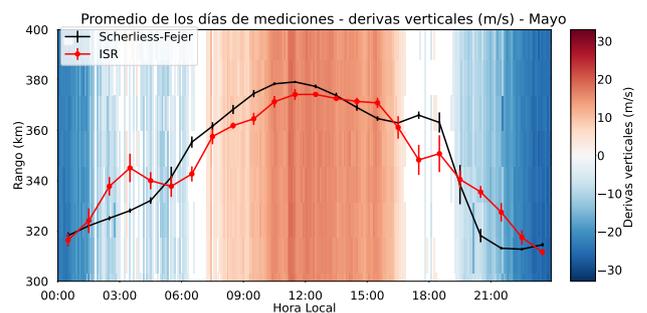


Figura 5. Promedio mensual de las derivas verticales ISR para el mes de mayo. La curva roja representa el promedio en alturas entre los 300 km y 400 km y la curva negra, las predicciones del modelo de Scherliess-Fejer.

Adicionalmente, se registró el comportamiento de los vientos neutros zonales y meridionales para el mes de mayo, como se aprecia en la [Figura 6](#), en los cuales muestra periodos predominantes de 24 horas (marea solar diurna). En la mesopausa (~90 km) se observa que el valor del viento zonal promedio máximo fue

de +29.2 m/s a las 09:30 horas y el promedio mínimo de -7.5 m/s a las 20:30 horas, mientras que el valor del viento meridional promedio máximo fue de +29.3 m/s a las 18:30 horas y el promedio mínimo de -62.6 m/s a las 03:00 horas. El viento zonal máximo fue de +86.7 m/s a las 09:15 horas del día 6 de mayo y el mínimo -84.3 m/s a las 16:15 horas del día 19 de mayo, mientras que el viento meridional máximo fue +112.3 m/s a las 09:15 horas del día 9 de mayo y el mínimo -119.1 m/s a las 03:15 horas del día 19 de mayo.

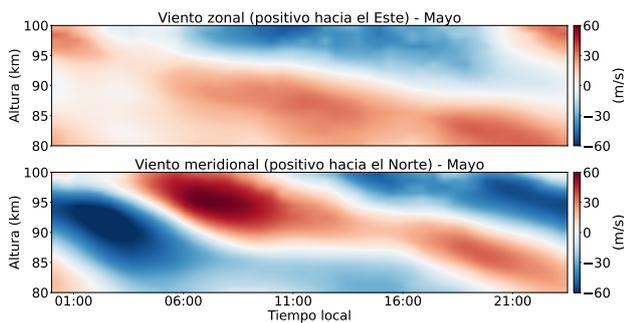


Figura 6. Promedio de los vientos zonales y meridionales durante el mes de mayo del 2023.

### 3. Observaciones con la red de instrumentos LISN

Las mediciones de la variación diurna de la componente horizontal del campo magnético (H) de las estaciones magnéticas del IGP-ROJ se presentan en la Figura 7. Aquí se aprecia que el promedio de las estaciones de Jicamarca y Huancayo estuvieron muy por encima de las demás debido a que ambas se encuentran en el ecuador magnético y el Electrochorro Ecuatorial (EEJ) contribuye al incremento en sus mediciones.

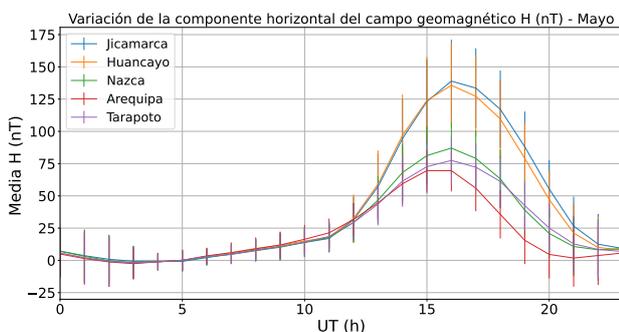


Figura 7. Valores del promedio horario de la variación diurna de H para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes de mayo del 2023.

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 mayo de H por cada estación: Jicamarca, 139 nT; Huancayo, 136 nT; Arequipa, 70 nT; Nazca, 87 nT y Tarapoto, 77 nT.

### 4. Conclusiones

- La ocurrencia de burbujas de plasma muestra una tendencia a la baja en lo que va del año, para un régimen de actividad solar alta.
- Los promedios en alturas (300 km - 400 km) de las derivas verticales de plasma del presente mes son bastante parecidos a los de los meses cercanos al equinoccio de marzo.

### 5. Referencias

- [1] J. K. Hargreaves, *The Solar-Terrestrial Environment: An Introduction to Geospace - the Science of the Terrestrial Upper Atmosphere, Ionosphere, and Magnetosphere*, ser. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. Cambridge University Press, 1992.
- [2] "Instituto Geofísico del Perú, "Realtime at Jicamarca",," Oct 2020, Accessed on: Mar. 02, 2023. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/202008.pdf>.
- [3] N. P. Yoza, M. A. Milla, J. L. Chau, and R. F. Alonso, "Vhf voice and data communications via equatorial electrojet scattering: Channel characterization and application of a frequency diversity technique using software defined radio technology," *XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey*, pp. 1-1, 2011.
- [4] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Feb. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html>
- [5] "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>
- [6] 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.
- [7] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: Nov. 10, 2022. [Online]. Available: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- [8] 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.
- [9] "Instituto Geofísico del Perú, "Realtime at Jicamarca," Aug. 2021, [Online; accessed 12. may. 2023]. [Online]. Available: [https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/Boletin\\_Agosto.pdf](https://www.igp.gob.pe/observatorios/radio-observatorio-jicamarca/realtime/static/reports/2022/Boletin_Agosto.pdf)
- [10] 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.

**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  
Bach. Roberto Flores Arroyo

**Colaboradores:**

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

**Contacto:**

[roj@igp.gob.pe](mailto:roj@igp.gob.pe)