



LA ALTA ATMÓSFERA SOBRE EL PERÚ

FEBRERO 2022



Durante el mes de febrero de 2022 fuimos testigos de cómo el aumento de la actividad solar se manifestó en las características de la irregularidades ionosféricas que normalmente estudiamos: ecos que empiezan más tarde, tienen menor duración, que comprenden rangos de alturas más limitados que otros meses para la capa de 150 km y una disminución de la actividad después de la medianoche para la F-dispersa. Durante los días 4, 5 y 6 la altura virtual de la capa F medida por el enlace entre la estación ubicada en Ancón y la ubicada en el Radio Observatorio de Jicamarca del sistema HF mostró un comportamiento irregular entre la medianoche y las 4 de la mañana, debido a presencia de F-dispersa, como se aprecia en la [Figura 1](#).

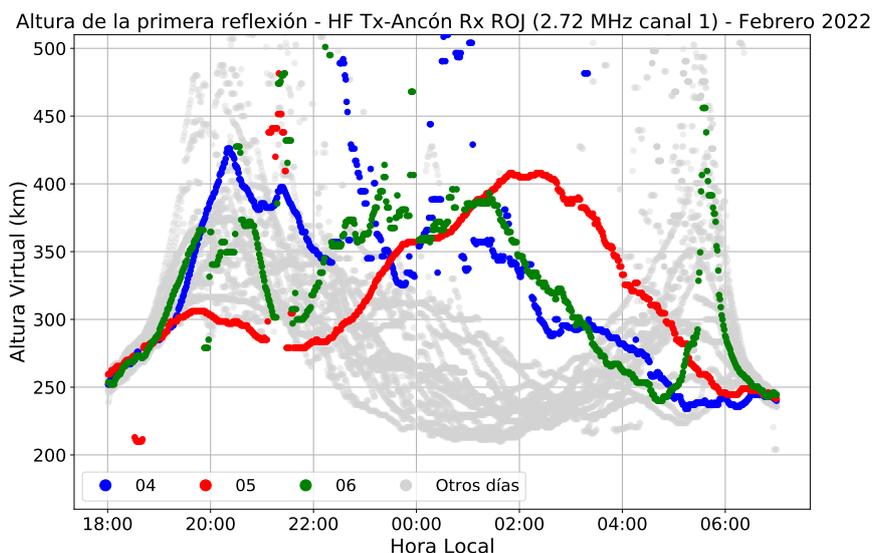


Figura 1. Alturas virtuales de la primera reflexión de las señales del sistema HF para las estación de transmisión de Ancón y de recepción del Radio Observatorio de Jicamarca durante el mes de febrero del 2022.

Tabla 1. Resumen de las mediciones de parámetros ionosféricos, y condiciones predominantes del clima espacial del mes de febrero de 2022.

Derivas verticales promedio (Ecos de 150 km) [m/s]		Variación máxima de campo geomagnético horizontal (H) [nT]	
Mínimo	Máximo	LIM: 104	AQP: 65
0	12	HYO: 96	PIU: 56
		NZC: 63	
ACTIVIDAD GEOMAGNÉTICA: TRANQUILA		ACTIVIDAD SOLAR: MODERADA	

¿SABÍAS QUÉ?

La actividad solar y su influencia directa sobre el geoespacio es crucial para entender la evolución de fenómenos de gran importancia en el clima espacial. Una manera de cuantificar estas variables en el orden de unas pocas horas puede resumirse mediante el índice F10.7[1] y el índice geomagnético Kp[2]. El índice F10.7 representa la intensidad horaria de radiación solar en la longitud de onda $\lambda = 10.7$ nm, medida en el Observatorio Astrofísico Dominion en Penticton, Canadá y da cuenta directamente de la actividad solar mientras que el índice Kp se estima como el promedio de la variación máxima en H registrada cada 3 horas en 3 estaciones ubicadas en distintas partes del mundo e intenta capturar la respuesta del campo geomagnético a cambios en la actividad solar.

Estos índices nos permiten registrar de manera cuantitativa eventos que pueden tener consecuencias nefastas en los sistemas de comunicación y de navegación que utiliza el hombre, tal como pasó con la pérdida de 40 de los 49 satélites lanzados por "SpaceX"

el 3 de febrero[3] debido a la tormenta geomagnética de nivel G1 del 4 de febrero, que puede apreciarse en los valores del índice Kp en la Figura 2.

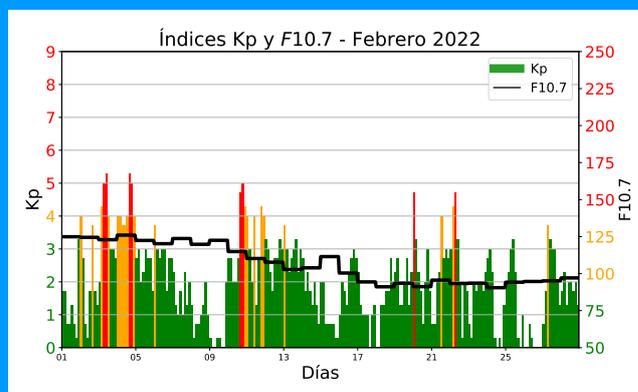


Figura 2. El índice geomagnético Kp muestra que la actividad geomagnética fue mayoritariamente baja durante el mes. La actividad solar fue moderada ($F10.7 > 100$ s.f.u) la mayor parte del tiempo. Valores extraídos de "OMNIWeb Data Explorer"[4] y GFZ Helmholtz Centre Potsdam[5].

1. Climatología del mes

La actividad geomagnética (índice Kp) fue predominantemente tranquila en un 87% del tiempo, moderada en un 9% y alta en un 4%; por otro lado la actividad solar (índice F10.7) fue baja hasta en un 43% del tiempo y 57% en régimen moderado (Figura 2 y Tabla 1). Por otro lado, investigaciones previas señalan que hay una clara relación entre la variabilidad diaria y estacional de la componente horizontal del campo geomagnético (H), lo que coincide con las mediciones[6][7].

Estudios previos realizados con el radar ionosférico de Jicamarca[8] describen las características de los Ecos de 150 km medidas para las actuales condiciones del clima espacial. Éstos exhiben su característica forma de collar que se extiende desde alturas cercanas a los 140 km hasta cerca de los 170 km de altura, entre las 09:00 horas y las 16:00 horas. En este periodo encontramos que las alturas de menor y mayor aparición de los ecos son menores a lo esperado en 10 km y 5 km respectivamente.

Se espera una mayor ocurrencia de F-dispersa entre las 21:00 y 23:00 horas y entre alturas que comprenden entre los 200 km a 600 km, con alturas máximas entre las 21:00 y 23:00 horas. Después de la medianoche, se espera que éstos tengan una menor ocurrencia y se observen a alturas menores

a 400 km aproximadamente. Este comportamiento concuerda con las observaciones realizadas[9].

2. Observaciones con el radar ionosférico de Jicamarca

Los Ecos de 150 km se observaron entre los 130 y 165 km de altura, como se muestra en la Figura 3, lo que discrepa con la climatología en cerca de 10 km menos en la altura inferior y 5 km menos en la altura superior de aparición de los Ecos[8]. Los valores promedio de las derivas verticales (Figura 4) durante las horas del día fueron ascendentes con un máximo de aproximadamente 12 m/s cerca de las 13:00 horas.

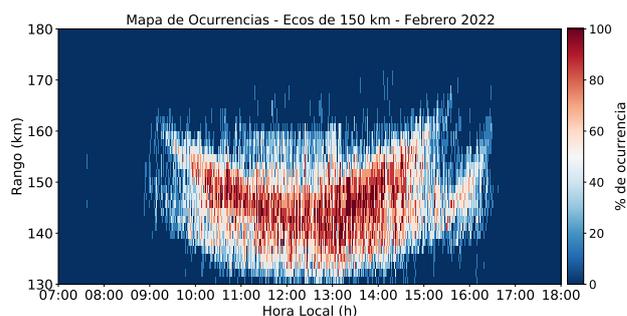


Figura 3. Mapa de ocurrencias de los Ecos de 150 km durante el mes de febrero 2022.

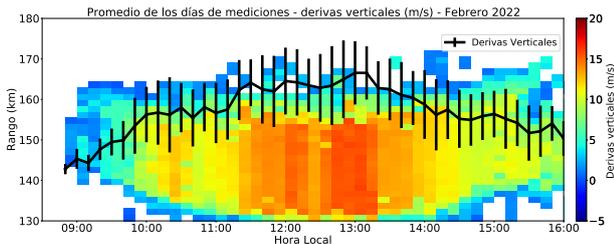


Figura 4. Promedio de las derivas verticales de los Ecos de 150 km obtenidos cada 10 minutos.

Durante el mes de febrero se pudo apreciar una ocurrencia moderada de burbujas de plasma: 11 burbujas en 12 días con presencia de F-Dispersa de los 13 días disponibles de mediciones. La morfología dominante fue la del tipo 'Pluma de Radar', con un 46%; le siguen el tipo 'Bottomside', con 36%, 'Post-Midnight', con 9%; y 'Bottom-type', con 9%. Las burbujas ocurrieron en un rango de alturas entre los 200 y 650 km, como puede apreciarse en la Figura 5. La mayor incidencia de aparición fue de 81 % durante el periodo comprendido entre las 19:30 horas y las 21:00 horas y el 81 % de burbujas tuvo una duración entre 2 y 4.5 horas.

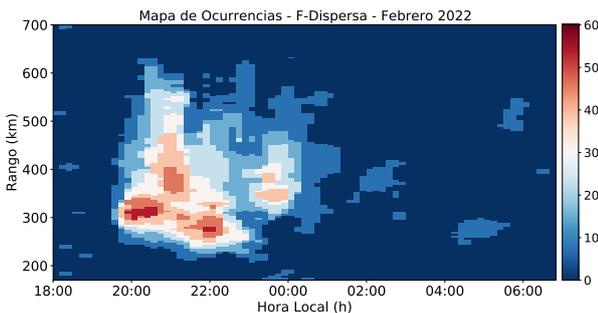


Figura 5. Mapa de ocurrencias de F-Dispersa para el mes. Se observa que la mayor incidencia de los ecos ocurre antes de la medianoche.

3. Sistema HF

Las alturas de la primera reflexión de las señales también conocidas como alturas virtuales de la capa F medidas por el enlace entre el Radio Observatorio de Jicamarca y el Observatorio de Ancón del sistema HF para los días con mediciones de febrero son mostradas en la Figura 1. Podemos apreciar, en líneas grises, que el intervalo que le sigue a la puesta de Sol (18:00 a 22:00 horas) muestra un incremento en la altura virtual debido a la elevación de la ionosfera en esas horas y a alguna presencia de F-Dispersa, entre las 20:00 y las 22:00 horas, sin embargo, esto no necesariamente indica un incremento en la altura de la capa F. Para el periodo anterior a la puesta del Sol (04:00-07:00) también se presenta un aumento en los valores de la altura virtual, pero esto debe a que durante la madrugada, la ionósfera se enfría tanto que la recombinación hace que la densidad de partículas cargadas disminuya y la reflexión de las ondas se realiza a una mayor altura, incluso, ocasionalmente la ionósfera es transparente para las señales emitidas

de 2.72 MHz del sistema HF. Finalmente, durante los días 4, 5 y 6 la altura virtual de la capa F mostró un comportamiento irregular entre la medianoche y las 4 de la mañana, debido a presencia de F-dispersa.

4. 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 Instituto Geofísico del Perú se presentan en la Figura 6. 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 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 mensual de H por cada estación: Jicamarca, 104 nT; Huancayo, 96 nT; Arequipa, 65 nT; Nazca, 63 nT y Piura, 56 nT.

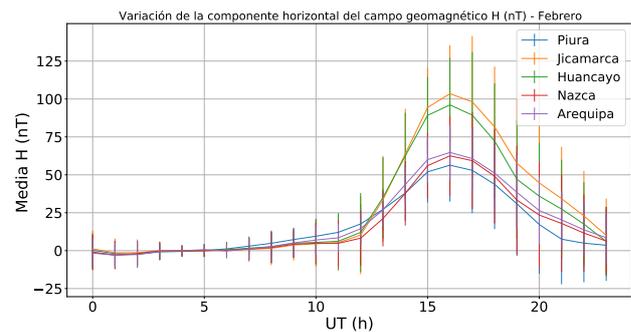


Figura 6. Valores de la variación diurna de H promedio mensuales por hora para todas las estaciones magnéticas operativas durante el mes.

Los valores de la amplitud máxima de las cintilaciones GPS (índice S4) de las estaciones de Piura, Jicamarca, Huancayo y Tacna se muestran en la Figura 7. Se observa actividad moderada y alta. Todas las estaciones presentaron valores de S4 superiores a 1.0 en algún momento del mes. El valor máximo (1.57) ocurrió en la estación de Huancayo el día 16 de febrero a las 00:20 horas aproximadamente.

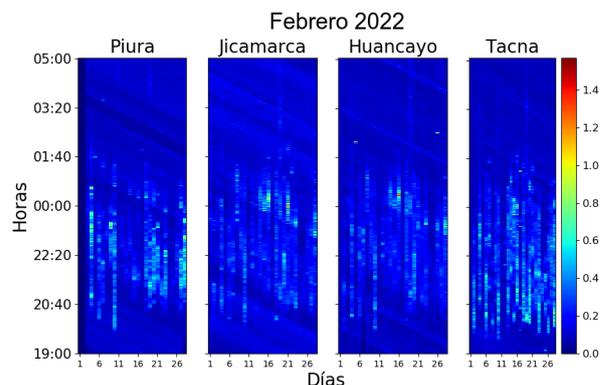


Figura 7. Valores diarios máximos de S4 para las estaciones de Piura, Jicamarca, Huancayo y Tacna durante el mes.

5. Conclusiones

- Los índices geomagnéticos medidos con una frecuencia de unas pocas horas proveen información de tal importancia sobre el geoespacio que nos permiten cuantificar la magnitud de eventos y prevenir problemas que estos puedan generar mediante un adecuado pronóstico.
- Los valores de la altura virtual de la capa F mostraron su valor máximo de aproximadamente 500 km cerca de las 20:00 horas para la mayoría de los días. Los valores mínimos son cerca de 250 km.
- La amplitud de las cintilaciones GPS (índice S4) tuvieron alta variabilidad siendo su máximo valor 1.57, detectado en la estación de Tacna el día 16 de febrero, el cual podría haber causado un efecto en las señales de sistemas GNSS.
- Las burbujas de plasma tuvieron una mediana ocurrencia: 11 burbujas en 12 días con presencia de F-Dispersa de los 13 días disponibles de mediciones. Las burbujas tuvieron mayor predominancia en el periodo comprendido entre las 19:00 horas y las 21:30 horas lo que coincide con la climatología. Estos eventos pudieron perturbar las comunicaciones en las bandas HF y VHF.

6. Referencias

- [1] "F10.7 cm Radio Emissions | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center," Jul 2020, Accessed on: Mar. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions>
- [2] "The Kp-index | Help," Oct 2020, Accessed on: Mar. 10, 2022. [Online].

Available: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html>

- [3] "SpaceX loses 40 satellites to geomagnetic storm a day after launch," 2022, Accessed on: Feb. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/news/world-60317806>
- [4] N. Papitashvili, "OMNIWeb Data Explorer," Oct 2020, Accessed on: Mar. 10, 2022. [Online]. Available: <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- [5] "Helmholtz Centre Potsdam Kp Index | Indices of Global Geomagnetic Activity," Accessed on: Mar. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.gfz-potsdam.de/en/kp-index/>
- [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] D. Rosales and E. Vidal, "Seasonal effect on the diurnal variation of the geomagnetic field registered in huancayo observatory," *arXiv preprint arXiv:1603.09221*, 2016.
- [8] J. Chau and E. Kudeki, "Statistics of 150-km echoes over jicamarca based on low-power vhf observations," in *Annales Geophysicae*, vol. 24, no. 5. Copernicus GmbH, 2006, pp. 1305–1310.
- [9] 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.

Elaborado por:

Bach. Juan Pablo Velásquez Ormaeche
 Bach. Roberto Flores Arroyo
 Bach. George Fajardo Soria
 Mag. César De La Jara Sánchez
 Mag. Luis Condori Illahuamán

Diseño y diagramación:

Bach. Roberto Flores Arroyo

Colaboradores:

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

Contacto:

roj@igpp.gob.pe