

EVIDENCIA DE LA PRESENCIA DE LA GARGANTA DE DENSIDAD ELECTRONICA
EN LOS REGISTROS DE LOS SONDADORES DE LA RED SUDAMERICANA

José R. Manzano, Jorge V. Lascano y Bernardino P. Toledo

Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología
Universidad de Tucumán

Leila Kurban, Marta M. de González, Rogelio Cejas y Rodolfo Perelló
Centro de Investigaciones Regionales, San Juan

RESUMEN

La aparición de la garganta de latitud media en la concentración electrónica ionosférica, ha sido generalmente observada con registros de la ionósfera de tope. El análisis de los datos proporcionados por la red sudamericana de sondadores de superficie, lleva en forma evidente a la conclusión de que esa garganta también se presenta a latitudes menores que la de Puerto Stanley, correspondientes a valores del parámetro de capa L menores que los encontrados para la garganta "vista" desde satélites en otras regiones del globo terrestre.

Asimismo, es clara la presencia de un "pedestal" de incremento de ionización, más allá de la garganta, pero a latitudes aún alejadas del óvalo auroral.

Se atribuyen ambos procesos y su discrepancia con otros resultados en cuanto a ubicación, a la presencia de la anomalía magnética sudamericana.

ABSTRACT

The appearance of the middle latitude trough on the ionospheric electron concentration, has been generally observed with topside ionosphere records. The analysis of data provided by the South American network of surface sounders suggests in an evident way, that the trough is also present at lower latitudes than Pt. Stanley corresponding to L-shell parameter values smaller than those found for the trough "seen" from satellite heights, for other regions of the terrestrial globe.

Likewise, the presence of a "pedestal" of increased ionization is clear, beyond the trough, but at latitudes still somewhat distant from the auroral oval.

Both effects, the trough and the pedestal at lower latitudes than "normal", could be justified by the existence of the South American magnetic anomaly.

INTRODUCCION

Desde los primeros trabajos de Muldrew (1965) ha existido mucho interés en los fenómenos de vaciamiento de partículas cargadas en la región F de latitudes medias y altas, y en su posible conexión con los mecanismos que se consideran responsables de la formación de la plasmapausa, capa límite de la plasmasfera. Esta constituye uno de los sectores de la magnetosfera considerado como reservorio de plasma "frío", consistente de protones, iones pesados y electrones de origen ionosférico en general. Tanto la garganta observada en los perfiles latitudinales de electrones como la observada para iones, llevó a los investigadores a la suposición de que ambas gargantas podían ser consecuencia de mecanismos comunes o similares (Sharp, 1966).

El análisis de la frondosa cantidad de datos proporcionados por los satélites artificiales (p.ej. Ariel, Alouette, Isis, AE-C) ha revelado que la garganta de latitudes medias en la concentración electrónica, es uno de los aspectos más notables de la ionósfera, observada durante la noche principalmente entre latitudes magnéticas invariantes de 40° a 60° (Tulunav y Savers, 1971; Tulunav y Grebowsky, 1975; Tulunav y Grebowsky, 1978).

Un rasgo importante de la garganta de latitud media es su tendencia a disiparse, e incluso a hacerse indistinguible, durante las horas del día, existiendo evidencia experimental de que la posición de la misma se mueve hacia altas latitudes cuando se va pasando de la noche al día.

El análisis de diversos investigadores (Rycroft y Burnell, 1970; Rycroft y Thomas, 1970; Kohnlein y Raitt, 1977), realizado estadísticamente, muestra que la línea de campo geomagnético que pasa por el centro de la garganta marca la posición de la plasmapausa magnetosférica. En cambio, en el trabajo de Grebowsky y otros (1976), basado en un análisis caso por caso, la relación es más dudosa.

Los primeros estudios sugirieron que la garganta de la región F era una consecuencia natural de la competencia de dos mecanismos: la declinación de densidades hacia altas latitudes, por incremento del ángulo cenital del sol, y el incremento de ionización producido por precipitación auroral. La gran dificultad encontrada en aclarar la conexión dinámica entre la garganta y la plasmapausa, ha llevado actualmente a los investigadores a concentrar sus esfuerzos en definir más uniformemente la morfología de la garganta (Men

dillo y Chacko, 1977) y/o en encontrar el modelo físico que mejor explique la formación de la depresión en la región F. La tendencia actual en este último aspecto, está basada en los efectos de la convección magnetosférica sobre la ionósfera de alta latitud y en la importancia de la deriva del plasma en cualquier teoría de formación de la garganta (Spiro y otros, 1978). Banks y otros (1974) sugieren que las grandes velocidades de deriva de los iones incrementarían la rapidez de conversión de O^+ a NO^+ , con el posterior decaimiento del plasma por recombinación, llevando así a las depresiones en la concentración total de iones observada. Las observaciones de Spiro y otros (1978) revelan que en el sector de pre-medianoche, en tiempo local, el plasma deriva generalmente hacia el oeste en la porción polar de la garganta, mientras que la porción de baja latitud rota hacia el este. Observaron que la concentración iónica total varía ligeramente a través de la región donde el flujo se invierte (Punto estacionario). Los resultados sugieren a los autores que ese punto se encuentra entre las 18 y las 24 hs de TL (sector pre-medianoche). La idea consiste en que la garganta se forma por decaimiento ionosférico durante el largo tiempo requerido para que el plasma fluya hasta detenerse y cambiar de dirección. El patrón de flujo está generado por la expresión $\vec{v} = (\vec{E} \times \vec{B}) / B^2$ en un sistema fijo de coordenadas no rotantes. El campo \vec{E} está formado por la proyección del campo eléctrico magnetosférico en la ionósfera y por el campo eléctrico de corotación, siendo \vec{B} el campo geomagnético.

ANALISIS DE MEDICIONES

El trabajo presente está basado en datos proporcionados por la red sudamericana de sondadores. Dada la escasez de sondadores y la dispersión de los mismos, no es posible pensar en una estructura fina del proceso. El análisis realizado no puede ser tomado estrictamente, desde un punto de vista cuantitativo, sino como una descripción cualitativa pero con suficiente fuerza como para probar la validez de los mecanismos de formación de la garganta e incluso del mecanismo que conduce a la aparición del pedestal de alta latitud.

La figura 1 representa una imagen "tridimensional" de los datos de foF2 para la red de sondadores sudamericana y antártica. Los datos corresponden a la mediana mensual de los valores horarios para

setiembre de 1971, representándose solamente el intervalo de tiempo entre las 15 hs y las 24 hs de tiempo estandar local. De la observación de la misma se puede confirmar que en las horas diurnas no existen vestigios de garganta, aunque ésto no implica que la misma no pueda manifestarse hacia mayores latitudes, no alcanzadas por los sondadores disponibles. Recién a partir de las 18 hs y hasta las 22 hs se observa una significativa garganta en $foF2$, o lo que es equivalente, en la concentración electrónica $NmF2$. A partir de las 23 hs la garganta empieza a disiparse. El mínimo en la garganta se manifiesta en esta figura prácticamente para la latitud de Puerto Stanley, que corresponde a una latitud geomagnética de $-40,4^\circ$ y a un parámetro de capa $L=1,58$. Los resultados basados en mediciones de satélites ubican ese mínimo en una latitud geomagnética de -60° y $L=4$ a $4,5$.

La figura 2 representa $foF2$ para la misma red, pero sin incluir Huancayo, para el sector pre-medianoche del día posterior a la iniciación de una tormenta magnética, cuyo SC tuvo lugar el 26 de setiembre a las 14 hs de tiempo local. La representación corresponde al día 27 de setiembre de 1971. Si bien se manifiesta el mínimo de la garganta nuevamente hacia la latitud de Puerto Stanley, su duración (19 a 22 hs) es menor en tiempo que en el caso anterior (18 a 23 hs), con un comienzo más brusco en su aparición. El aspecto llamativo de la representación es el extraño comportamiento de $foF2$ hacia la latitud de Concepción, con un pico que hasta ahora no ha sido posible explicar. ¿Se debe el mismo a un efecto real, o es una falla del correspondiente sondador?. Nuestra tendencia sería a considerarlo como un inconveniente de equipo, dado que el efecto no se manifiesta en forma sistemática, sino más bien azarosa.

El período analizado en las figuras 1 ($Rz=50,2$; $\Sigma Kp=17,4$ /promedios mensuales) y 2 ($Rz=40$; $\Sigma Kp=35-$) corresponde a la mitad del camino de decrecimiento de la actividad solar. En cuanto a las figuras 3 ($Rz=32$; $\Sigma Kp=8,2$ /promedios 4 días), 4 ($Rz=23$; $\Sigma Kp=46+$) y 5 ($Rz=23$; $\Sigma Kp=21+$) están ubicadas en el comienzo del crecimiento de la actividad solar.

La figura 3 corresponde al promedio horario sobre cuatro días tranquilos del mes de marzo de 1976, incluídos dentro de uno de los períodos de ASHAY (Antarctic and South Hemisphere Aeronomic Year). En esta representación, así como en las siguientes, no están incluí

dos datos de San Juan y Concepción pero sí los de Ushuaia (Lat.gm=-43,3°; Dip=-50,6°;L=1,69). Nuevamente notamos la aparición de la garganta, pero ahora con una significativa diferencia, la presencia del "pedestal" conformado por las estaciones de Puerto Stanley, Ushuaia e Islas Argentinas. No podemos decir que este efecto no se haya manifestado en setiembre de 1971, dado que los datos de Ushuaia no fueron accesibles. Otro rasgo de esta representación es la mayor extensión en el tiempo del proceso de formación de la garganta, desde las 17 hs (donde empieza a insinuarse) hasta mas allá de la medianoche. Debe tenerse bien presente que la zona del incremento abarca un rango de latitudes geomagnéticas desde los -40° a -54°, bastante abajo de las latitudes encontradas por otros autores para mediciones de satélite y para ambos hemisferios.

Es evidente que el máximo hacia la latitud de Tucumán corresponde a la formación de la anomalía ecuatorial.

La figura 4 corresponde al sector pre-medianoche, un día posterior a la iniciación de una tormenta magnética, el 31 de marzo de 1976 con SC a las 22,55 hs de T.L. Notablemente, se puede observar que el proceso se manifiesta inclusive en períodos de luz diurna. Infortunadamente, no hemos analizado todavía las horas anteriores, ni las comprendidas entre las 01 y 14 del día 2 de abril, para poder concluir si el proceso se manifiesta en el transcurso de todas las horas del día.

La figura 5 evidentemente es una manifestación de la fase negativa de la tormenta anterior, afectando inclusive a bajas latitudes. El pedestal de aumento de ionización persiste, pero la garganta ha sido destruída.

Es imprescindible seguir analizando más intensamente este interesante período.

DISCUSION

Si bien el hemisferio Sur fue analizado con información de ionósfera de tope, proporcionada por satélites, nunca se había trabajado con la red de sondadores sudamericanos para buscar la posible presencia del efecto de garganta.

Es indudable la presencia de este mínimo en los gráficos analizados, confirmando los resultados encontrados por otros autores, pero con un inesperado desplazamiento hacia latitudes bastante menores tanto del mínimo de la garganta como del pedestal de incremen-

to en la ionización, el mínimo ubicándose en valores menores que $L=1,6$ (-40° de latitud geomagnética) y el incremento extendiéndose en valores de L desde 1,6 a 2,4 (-40° a -54° latitud geomagnética).

La presencia del mínimo de la garganta hacia latitudes inesperadas, no coincidentes con las medidas para la ionósfera de tope en otras regiones del globo, solo podría ser justificada por la presencia de la anomalía magnética sudamericana, que implicaría un mayor efecto de erosión de la plasmasfera. El incremento a mayores latitudes, que no sería explicado por precipitación de partículas en la zona auroral dado su alejamiento del óvalo correspondiente, quizás pueda ser justificado también por la dinámica de la anomalía a través de la precipitación de partículas de los cinturones de radiación atrapada, que encuentran su punto especular ya en el ámbito de la atmósfera densa.

La explicación del comportamiento del día 2 de abril (figura 5) entra en el marco de los modelos físicos que pretenden explicar la fase negativa de las tormentas ionosféricas.

Lamentablemente, no hay forma de correlacionar la información presentada, con datos de la posición de la rodilla de la plasmapausa en el plano ecuatorial.

Es evidente que la persistencia de los resultados obtenidos, por lo inesperados, abren una interesante perspectiva de investigación.

BIBLIOGRAFIA

- Banks, P. M., Schunk, R. W. y Raitt, W. J., 1974: NO^+ and O^+ in the high latitude F region; *Geophys. Res. Lett.*, 1, 239.
- Grebowsky, J. M., Maynard, N. C., Tulunay, Y. K. y Lanzerotti, L. J., 1976: Coincident observations of ionospheric troughs and the equatorial plasmopause; *Planet. Space Sci.*, 24, 1177.
- Kohnlein, W. y Raitt, W. J., 1977: Position of the mid-latitude trough in the topside ionosphere as deduced from ESRO 4 observations; *Planet. Space Sci.*, 25, 600.
- Mendillo, M. y Chacko, C. C., 1977: The baselevel ionospheric trough; *J. Geophys. Res.*, 82, 5129.
- Muldrew, D. B., 1965: F-layer ionization troughs deduced from Alouette data; *J. Geophys. Res.*, 70, 2635.
- Rycroft, M. J. y Burnell, S. J., 1970: Statistical analysis of the ionospheric trough and the plasmopause; *J. Geophys. Res.*, 75, 5600.

- Rycroft, M. J. y Thomas, J. O., 1970: The magnetospheric plasmapause and the electron density trough at the Alouette I orbit; *Planet. Space Sci.*, 18, 65.
- Sharp, G. W., 1966: Mid-latitude trough in the night ionosphere; *J. Geophys. Res.*, 71, 1345.
- Spiro, R. W., Heelis, R. A. y Hanson, W. B., 1978: Ion convection and the formation of the mid-latitude F region ionization trough; *J. Geophys. Res.*, 83, 4255.
- Tulunay, Y. K. y Sayers, J., 1971: Characteristics of the mid-latitude trough as determined by the electron density experiment on Ariel 3; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 33, 1737.
- Tulunay, Y. K. y Grebowsky, J. M., 1975: Temporal variations in the dawn and dusk mid-latitude trough positions - measured (Ariel 3, Ariel 4) and modelled; *Ann. Geophys.*, 31, 29.
- Tulunay, Y. K. y Grebowsky, J. M., 1978: The noon and midnight mid-latitude trough as seen by Ariel 4; *J. Atmos. Terr. Phys.*, 40, 845.

EPIGRAFES DE LAS FIGURAS

- Fig. 1: Visión "tridimensional" del comportamiento de f_oF_2 en función de la latitud de dip y la hora estandar local, para la red latinoamericana de sondadores. Corresponde a la mediana mensual de setiembre de 1971.
- Fig. 2: Iden anterior, pero para el día posterior a la tormenta magnética del 26 de setiembre de 1971.
- Fig. 3: Iden anterior, pero para el período 21 al 24 de marzo de 1976, correspondiendo a días tranquilos.
- Fig. 4: Iden anterior, pero para el día posterior a la tormenta magnética del 31 de marzo de 1976.
- Fig. 5: Iden anterior, pero para dos días después de la tormenta magnética del 31 de marzo de 1976.







