

Ionosfera colombiana recurso natural y tesoro nacional

Jaime Villalobos Velasco^{1,*} y Cesar Valladares²

¹ Departamento de Física. Laboratorio de Física Espacial, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá

² Institute for Scientific Research, Boston College

Resumen

Al igual que los mares y el espectro electromagnético, la ionosfera es un recurso natural de Colombia y como tal es susceptible de estudiarse y de ser explotado para beneficio de la humanidad. La ionosfera es una región de la alta atmósfera que surge de la interacción de la atmósfera terrestre neutra con la fuerte radiación solar, principalmente en la parte del espectro ultravioleta, y también, aunque en menor escala, con viento ionizado que proviene del Sol. En esta región ocurren diversos fenómenos cuyos alcances impactan nuestro diario vivir y son materia de estudio de varios grupos científicos interdisciplinarios alrededor de todo el mundo. De la ionosfera se estudia su dinámica, su electrodinámica, su contenido total de electrones en función del tiempo y del espacio, su interacción con otras regiones o capas atmosféricas, como la magnetosfera, y su relación con el viento solar; además se construyen modelos analíticos y últimamente se estudian medios para predecir el clima espacial. También se investiga el impacto que esta capa produce en las comunicaciones satelitales y en los sistemas de posicionamiento global, cada día aparecen nuevos tópicos de investigación y aplicación. En este artículo se presenta la física de la ionosfera como una nueva área de investigación en el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia y se describen los recursos existentes disponibles para su estudio. También se presenta la dinámica propia y autónoma local de este proyecto de investigación y se ilustra cómo se interactúa con científicos de otros países interesados en estudiar la ionosfera a nivel global y en particular alrededor del meridiano 75 Oeste. Finalmente, aunque este artículo es de divulgación y está dirigido a una audiencia general, en él se reporta por primera vez la existencia de irregularidades de la densidad del plasma ionosférico en Colombia (15° latitud norte) y la coherencia de las mediciones locales con las obtenidas en otras estaciones de Sur América.

Palabras claves: Ionosfera, plasma, GPS

*: jvillalobosv@unal.edu.co

Abstract

Like the oceans and the electromagnetic spectrum, the local ionosphere is another natural resource of Colombia, and therefore, is capable of being studied and exploited for the benefit of mankind. The ionosphere is a region of the upper atmosphere that is generated by the strong interaction of our neutral atmosphere gases with the solar radiation, mainly by the ultra-violet part of the solar spectrum, and to a smaller degree by the ionized solar wind. In the ionosphere there occur many natural phenomena that affect our daily life and are presently investigated by several multi-disciplinary scientific groups around the Globe. Key topics of investigation are the ionosphere's dynamics, its total electron content as a function of space and time, the interaction with other regions like the magnetosphere and the solar wind, the construction of analytical models, and lately devising means to forecast the space weather. Another theme is the impact that this layer has on the satellite communications and the global position systems; new topics of research and applications emerge every day. This article presents the physics of the ionosphere as a new area of investigation in the Physics Department of the Universidad Nacional de Colombia and describes the existing resources that are available for the study of the ionosphere. We present the dynamics and local autonomy of this research project and illustrate how we interact with scientists from other countries who are interested in the study of the worldwide aspects of the ionosphere, more specifically around the 75 (west meridian. Finally, in spite that the intention of this article is to reach a general audience, we report for the first time the existence of plasma density irregularities in Colombia (15° N latitude) and the coherence with measurements carried out in other places of South America.

1. Introducción

Para un país es importante saber qué hay y dónde están localizados sobre su territorio las montañas, llanuras, ríos, mesetas, etc. Además, resulta interesante saber qué hay al interior de sus mares, debajo de su superficie terrestre, el contenido de minas, recursos, agua, petróleo, oro, esmeraldas, carbón, entre otros. No menos importante es el conocimiento de su baja y alta atmósfera. En la baja atmósfera, región denominada troposfera esta el aire respirable, las nubes, y su contenido de humedad. Es bueno conocer los patrones del comportamiento de los vientos, cambios de presión y la temperatura debido a que estos cambios meteorológicos impactan directamente en nuestra vida diaria. En la alta atmósfera, a partir de una altura de 80 km, se encuentra una región mas grande denominada ionosfera que tiene un gran contenido de plasma donde ocurren muchos fenómenos a los que tradicionalmente no se les ha dado importancia

porque nunca se había pensado que podrían afectar o beneficiar al ser humano; por estas razones la ionosfera es una región que ha sido explorada muy poco. Sin embargo, la ionosfera deteriora las comunicaciones vía satélite y produce errores en la información que proviene de los sistemas de navegación que usan los satélites de posicionamiento global (GPS). En Colombia, la ionosfera es un territorio virgen y un recurso natural que merece la atención de la población de científicos e ingenieros y como tal debe ser tratado con todo el rigor científico y técnico. Solo así se podrán explotar sus características, y mitigar el efecto que produce en las telecomunicaciones. Muchos países se interesan en conocer su territorio ionosférico y le dedican apreciables recursos para su estudio. Japón, Norte América, la Unión Europea y la India son países líderes en estos estudios. En América, aparte de Estados Unidos están interesados, en el estudio de las características sus ionosferas, Brasil, Argentina, Chile y Perú. Colombia fue uno de los países líderes durante el Año Geofísico Internacional, IGY 1957 (International Geophysical Year). Durante este año, por muchos países, se realizó un despliegue de equipos y estaciones terrestres basadas en ionosondas, para estudiar la ionosfera global. Es de anotar que en este tiempo no existían satélites. Durante los años siguientes, el Instituto Geofísico de los Andes Colombianos de la Universidad Pontificia Javeriana, dirigido por el Padre Jesús Emilio Ramírez, continuó tomando datos con los equipos adquiridos durante el IGY, pero luego vino un gran período de inactividad científica. En este artículo se discutirá brevemente el trabajo que en Colombia se está haciendo en la actualidad para conocer las características de su ionosfera. En particular, se informará sobre la técnica de estudio que se está llevando a cabo en el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Colombia. También se darán a conocer los esfuerzos, académicos, científicos y de gestión, que se están llevando a cabo para hacer parte de un trabajo global en el que intervienen muchos grupos de investigación.

2. Estación Ionosférica de Rastreo Satelital Permanente

El Departamento de Física cuenta con una estación ionosférica que, de manera permanente, rastrea la constelación de satélites NAVSTAR también conocida como grupo de satélites GPS que se usan fundamentalmente para extraer información útil acerca del comportamiento regional y global de la ionosfera. La estación consta de dos antenas receptoras de microondas, dos receptores GPS, un computador con dos entradas RS232, y un programa que procesa los datos de la amplitud de la señal recibida y calcula en tiempo real el índice S_4 , que es almacenado en medio magnético para un futuro procesamiento. Tam-

bién la estación cuenta con otros programas que calculan el contenido total de electrones y otros parámetros de la ionosfera, así como varios algoritmos para modelar la ionosfera local. Estos programas han sido adquiridos legalmente y se respetan los reglamentos de la propiedad intelectual.

Esta estación es un centro permanente de acopio de datos de la ionosfera, que funciona 24 horas diarias los 365 días del año a una rata de 10 datos por segundo. El equipo se instaló en agosto 21 de 2001, comenzó a funcionar desde finales del mismo mes y desde entonces se han recolectado datos sin interrupción. La información y los datos están disponibles para toda la comunidad científica nacional e internacional, promovándose así la cooperación científica y el entendimiento de la ionosfera global. Los datos contienen información útil que se usa para modelar la ionosfera a nivel local de Bogotá o a nivel regional dependiendo del tamaño de la huella del satélite, cuya circunferencia abarca a Colombia entera y sus alrededores. Globalmente esta información se identifica como descriptora de la ionosfera ecuatorial meridiano 75.

Los modelos ionosféricos que se trabajan aquí, a partir de los datos que se recolectan continuamente, pueden ser usados para calcular el contenido total de electrones y dibujar sus respectivos mapas, de esta información. Se puede también calcular el índice de refracción de la ionosfera, se pueden caracterizar las variaciones del contenido de plasma alrededor de 350 km de la superficie y en general se puede investigar el comportamiento estocástico del sistema ionosférico así como las influencias sistemáticas y aleatorias del mismo en diferentes áreas de interés práctico, académico y teórico.

3. Técnica de Centelleo

Esta es una poderosa técnica de caracterización de la ionosfera que se utiliza en las estaciones terrestres de rastreo satelital. Esta técnica se denomina de centelleo porque ha sido diseñada para medir las fluctuaciones, en la amplitud y fase, que las señales de radio, en la banda de microondas, originadas en los satélites GPS, sufren en su trayectoria al atravesar zonas de la ionosfera caracterizadas por irregularidades en la densidad del plasma y que finalmente llegan a los receptores de la estación de rastreo en la superficie de la Tierra.

Con una frecuencia de 10 Hz se mide simultáneamente la amplitud de las señales de 8 satélites GPS de los 31 que se encuentran en la línea de visión. Cada minuto se calcula la desviación estándar media y se compara con un umbral predefinido, si es mayor que éste la información se guarda y de lo contrario el dato es rechazado. El cálculo de estas operaciones las realiza el computador automáticamente, entregando lo que se denomina el índice S_4 que es uno de los parámetros que caracteriza la ionosfera.

4. Resultados Experimentales

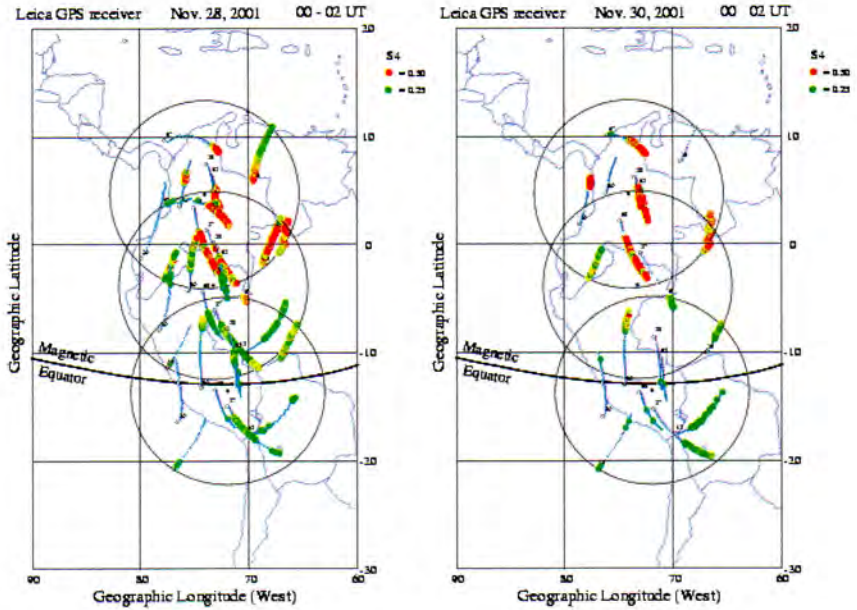


Figura 1. Mapa del índice de centelleo S_4 a lo largo de los puntos de intersección sub-ionosferico para tres estaciones localizadas en Colombia y Perú. La magnitud de los índices S_4 esta codificada a colores usando la escala que se muestra en la parte superior derecha de cada recuadro. El índice S_4 se calcula en tiempo real midiendo 10 valores de la amplitud por segundo de la señal L1 del satélite GPS. La publicación de los datos de Iquitos y Cuzco fue autorizada por los respectivos grupos de investigación.

La figura 1 muestra mediciones del índice S_4 tomadas en noviembre 28 y 30 de 2001 por tres estaciones terrestres de rastreo satelital permanente, localizadas una en Bogotá, Colombia y dos en Perú, en Iquitos y Cuzco. La característica mas prominente de este gráfico es la existencia de centelleos, representados por los puntos de colores, en latitudes que alcanzan a llegar hasta los 23° del ecuador magnético. Una región perturbada a una altitud de 350 km a esta latitud se mapea a una altitud máxima de 1600 km en el ecuador magnético. Esta es la primera vez que se miden y se reportan centelleos en esta región.

También se muestra en esta figura el receptor GPS de Bogotá que sirve para indicar la máxima latitud (y correspondientes longitud y altitud) en la que se

presentan las depresiones de plasma en la ionosfera local. Análisis preliminares del contenido total de electrones, TEC (Total Electron Content), muestran que en estos días la anomalía se desplazó hacia los polos y las relaciones de pico-a-valle eran mucho mayores.

5. Proyecciones

Se está buscando financiación para colocar un nuevo receptor GPS en el norte de Colombia, posiblemente en la ciudad de Cúcuta y así extender el rango de observación de estos fenómenos a unas latitudes geográficas de 15° ($\approx 27^\circ$ latitud magnética). Los centelleos que se buscan a esta latitud se mapearán a altitudes de cerca de 2000 km en el ecuador magnético. Con estas estaciones terrestres de rastreo satelital permanente estaremos en capacidad de detectar todos los casos en que las burbujas de baja densidad del plasma ionosférico alcancen 2000 km y simultáneamente examinar las distribuciones del contenido total de electrones en la ionosfera durante esos días.

6. Conclusión

La formación de la ionosfera en la alta atmósfera que proviene de la interacción de la atmósfera neutra con la atmósfera del Sol no respeta los límites políticos de los países, es por esto que es importante tener presente que el estudio de la ionosfera de un país no se puede hacer aislado del resto del mundo y debe ser coherente con la investigación llevada a cabo por todos los grupos científicos del planeta. En el hemisferio sur a lo largo del meridiano 75 se venían estudiando diferentes características de la ionosfera desde la latitud 40° sur hasta 5° sur utilizando 9 estaciones terrestres de permanente rastreo satelital (4 en Chile y 5 en Perú). Colombia entra a ser parte activa de ese equipo internacional de investigadores situando la décima estación de rastreo satelital permanente y ampliando el rango de estudio de la ionosfera hasta alrededor de 15° norte, cubriendo así la zona ecuatorial geográfica.

Referencias

- [1] *Características de la Ionosfera* Instituto Geofísico de los Andes Colombianos e Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Multilith I. G. A. C., Bogotá, (1960)
- [2] M. C. Kelley *The Earth's Ionosphere, Plasma Physics and Electrodynamics* 2nd edition, Academic Press (2003)

- [3] Urs Wild *Ionosphere and Geodetic Satellite Systems. Permanent GPS Tracking data for Modelling and Monitoring* (1994)
- [4] F.C.E. Valladares, R. Sheehan y J Villalobos *A Latitudinal Network of GPS Receivers Dedicated to Studies of Equatorial Spreadf Preprint* Aceptado para publicación en *Radio Science* (2003)