

# Densidad Electrónica a 600 Km de Altitud. Comparación de las Mediciones del Satélite Hinotori y las Predicciones del Modelo Nequick2.

Electronic Density at 600 Km of Altitude. Comparison of the Measurements of the Hinotori Satellite and the Predictions of the Nequick2 Model.

Presentación: 18/12/2018

Aprobación: 06/03/2019

## **Marcelo Albornoz**

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
marceloalb@gmail.com

## **Rodolfo G. Ezquer**

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
Laboratorio de Ionósfera, Dpto. De Física, FACET, Universidad Nacional de Tucumán- Argentina  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Argentina  
rezquer@gmail.com

## **Joaquin Lopez**

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
joaquinmarcelolopez@gmail.com

## **Gonzalo Emmanuel Lescano**

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
onzalo@gmail.com

## **Exequiel Garay**

CIASUR, Facultad Regional Tucumán – Universidad Tecnológica Nacional - Argentina  
exequielgaray@gmail.com

## Resumen

En el presente trabajo se analizó el desempeño del modelo ionosférico NeQuick2 para predecir los valores de densidad de electrones libres (Ne) a 600 Km de altura, en un período de alta actividad solar y para las latitudes geomagnéticas  $-15^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$  y  $+15^{\circ}$ , las cuales corresponden a la franja de la anomalía ecuatorial.

Las predicciones del modelo, fueron comparadas con datos de mediciones de Ne, obtenidas por el satélite japonés Hinotori; que realizó mediciones desde Febrero de 1981 hasta Junio de 1982.

Solo se consideraron los registros con valores de F10.7 entre 63 y 193 para seguir recomendaciones de la ITU incluidas en Modelo NeQuick2, lo cual dejó un total de más de 450 mil registros a analizar.

Los resultados obtenidos en este trabajo sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales que lleven a una mejor representación del perfil de tope de Ne dada por el modelo.

**Palabras clave:** Modelo, NeQuick2, Hinotori, Densidad, Electrones, F10.7

## Abstract

In the present work the performance of the ionospheric model NeQuick2 to predict the values of free electron density (Ne) at 600 km of height, in a period of high solar activity and for the geomagnetic latitudes  $-15^{\circ}$ ,  $0^{\circ}$  and  $+15^{\circ}$ , which correspond to the fringe of the equatorial anomaly, was analyzed.

The predictions of the model, were compared with data of measurements of Ne, obtained by the Japanese satellite Hinotori, from February of 1981 to June of 1982.

Only records with values of F10.7 between 63 and 193 were considered to follow recommendations of the ITU included in the NeQuick2 model, which left a total of more than 450 thousand records to analyze.

The results obtained in this work suggest the need to carry out additional studies that lead to a better representation of the Ne topside profile given by the model.

**Keywords:** Model, NeQuick2, Hinotori, Density, Electrons, F10.7

## Introducción

La zona de la atmósfera que va desde los 50 Km hasta los 2000 Km de altura, presenta ionización suficiente como para afectar las ondas de radio que a través de ella se propagan. La ionización presente en la ionósfera es producida principalmente por la actividad del sol, por eso es importante tener en cuenta los ciclos solares al realizar estudios sobre esta región de la atmósfera. La principal fuente de radiación son los rayos ultravioleta y rayos X.

El hecho, que la ionosfera, esté constituida por partículas eléctricamente cargadas, la convierte en un instrumento de vital importancia para las radiocomunicaciones.

Si bien hace más de 80 años que se analiza la ionosfera, su estudio ha cobrado especial importancia durante el transcurso de las últimas décadas del siglo pasado. Fue durante las décadas de 1990 y 2000 que el conocimiento de las características físicas de la ionosfera se convirtió en una necesidad de extrema importancia, puesto que la capacidad de predicción de los fenómenos ionosféricos resulta esencial para la optimización de los sistemas de radiocomunicaciones y los de navegación global basados en satélites.

Esta necesidad de conocimiento y capacidad de predicción ionosféricas requiere de instrumentación de alta sensibilidad y confiabilidad, así como también de modelos que, basados en hipótesis teóricas, incorporen los datos medidos por los instrumentos disponibles para mejorar la descripción de la física de la ionosfera, y de esta manera, logren una predicción precisa de los fenómenos que en ella ocurren a partir de la verificación y/o corrección de las hipótesis establecidas a priori. En consecuencia, gran cantidad de instrumentos han sido desarrollados, mejorados e instalados alrededor del mundo y a bordo de satélites artificiales. Esto, en conjunción con el crecimiento exponencial de la tecnología, ha permitido que hoy en día se cuente con una cantidad y variedad de datos ionosféricos sin precedentes. Y es justamente esta variedad y disponibilidad de datos observacionales, la que coloca a los modelos ionosféricos semi-empíricos en la vanguardia del estudio de la ionosfera y sus propiedades físicas.

Si bien existe una gran familia de modelos ionosféricos; el principal modelo de ionosfera, y estándar de referencia internacional en la gran mayoría de las investigaciones ionosféricas, es el International Reference Ionosphere (IRI; Bilitza, 2001).

En los últimos años otro modelo fue tomando gran importancia, ese modelo es el NeQuick (Nava et al. 2008) y es un modelo de densidad electrónica ionosférica. Desarrollado en el Laboratorio de Aeronomía y Radiopropagación del Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica (ICTP), Trieste, Italia y en el Instituto de Geofísica, Astrofísica y Meteorología de la Universidad de Graz, Austria.

En este trabajo evaluaremos la capacidad del modelo Nequick2 para estimar la densidad de electrones libres (Ne) a 600 Km de altura, en un periodo de alta actividad solar y para las latitudes geomagnéticas  $-15^\circ$ ,  $0^\circ$  y  $+15^\circ$ , las cuales corresponden a la franja de la anomalía ecuatorial.

## Instrumento de medición y Modelos:

## Satelite Hinotori

Hinotori, también conocido como ASTRO-A antes del lanzamiento, fue el primer satélite de astronomía de rayos X de Japón. Fue desarrollado por el Instituto de Ciencias Espaciales y Astronáuticas (ISAS).

Los instrumentos a bordo del HINOTORI para el estudio del sol, son un telescopio solar de rayos X (SXT), un sensor de aspecto solar de rayos X (SXA), un monitor de rayos X de alta energía (HXM), un detector solar de rayos gamma (SGR), un monitor de destellos (FLM) y los espectrómetros de rayos X blandos (SOX).

Su misión principal era estudiar las erupciones solares que emanan del Sol durante el máximo solar. Se lanzó con éxito el 21 de febrero de 1981 usando un cohete M-3S como el vehículo del Centro Espacial Uchinoura (conocido en ese momento como Kagoshima). Después del inicio de la operación normal, observó una gran erupción solar y, un mes más tarde, logró observar 41 bengalas de diferentes tamaños desde el sol. Volvió a entrar en la atmósfera el 11 de julio de 1991.

Este satélite se encontraba en una órbita de baja inclinación (31.3 grados), circular (600 km). Las Sondas de Plasma Hinotori observaron la ionosfera de la parte superior ecuatorial midiendo la densidad y temperatura de los electrones desde el 23 de febrero de 1981 hasta el 19 de junio de 1982 (años de máxima actividad solar).

## Modelo: NeQuick 2

El modelo NeQuick2 fue desarrollado en el Laboratorio de Aeronomía y Radiopropagación (actual Telecommunications/ ICT for Development Laboratory) del Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italia y en el Institute for Geophysics, Astrophysics and Meteorology de la Universidad de Graz, Austria, en el marco de un proyecto de la European Commission COST (Co-operation in the field of Scientific and Technical Research) Action 251.

NeQuick2 es un modelo ionosférico para la determinación de la densidad de electrones en la ionósfera. Este modelo se basa en el modelo DGR (Di Giovanni and Radicella, 1990) que utiliza una sumatoria de semicapas Epstein para reproducir la distribución de densidad electrónica analíticamente. La construcción de la función analítica se basa en “puntos de anclaje” que se relacionan a las características obtenidas rutinariamente del escalado de ionogramas ( $f_oF_2$ ,  $f_oF_1$ ,  $f_oE$ ,  $M(3000)F_2$ ). De este modo se pueden usar estos datos obtenidos experimentalmente o modelados.

Las mejoras a este modelo fueron introducidas por Radicella y Zhang (1995) donde se introduce una descripción de la parte superior de la región F2 mediante un factor de forma constante  $k$  que modifica el parámetro de espesor de esa región en función de la altura. .

Sucesivamente se introdujo una modificación del perfil de base propuesta por Leitinger et al (2005).

Un perfil de tope modificado fue propuesto por Coisson et al (2006). Las mejoras mencionadas llevaron a una nueva versión del modelo, presentada por Nava et al (2008).

El NeQuick tiene como datos de entrada la posición, el tiempo y el flujo solar, y los datos obtenidos son: la concentración de electrones en una dada localización y tiempo, y el TEC.

Una versión específica de NeQuick ha sido adoptada en el sistema de posicionamiento Galileo (NeQuick2-G).

El modelo Nequick2 se lo puede encontrar en dos versiones.

- NeQuick2 Online: <https://t-ict4d.ictp.it/nequick2/nequick-2-web-model>
- NeQuick2 Software (version ITU-R): <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.531-13-201609-I/>

en

En este trabajo se utilizó la versión ITU-R del modelo Nequick, desarrollado en el lenguaje de programación Fortran.

Datos y Comparación:

Datos: Satelite Hinotori a 600km e Indice F107

Se plantea analizar el desempeño del modelo NeQuick2 para describir el comportamiento de la densidad electrónica a 600 Km de altura utilizando las mediciones del satélite Hinotori.

Para realizar este el análisis sobre el desempeño del modelo NeQuick2, se utilizaron los siguientes conjuntos de datos:

- Conjunto de Datos de Hinotori: <https://spdf.sci.gsfc.nasa.gov/pub/data/hinotori/>
- Conjunto de datos de flujo solar F10.7 <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>
- Conjunto de datos obtenidos del Modelo NeQuick 2: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.531-13-201609-I/>

El conjunto de datos de Hinotori provee las mediciones de densidad electrónica, acompañadas de la fecha, hora y la posición geodésica, es decir latitud geográfica, longitud geográfica y altura sobre el nivel del mar.

Para obtener los datos, tras ejecutar el modelo Nequick 2, se necesitaron como parámetros de entrada: el tiempo, la posición, y el índice de flujo solar diario F10.7. Se agrega entonces a cada predicción del modelo el índice F10.7 correspondiente al día de cada predicción.

NeQuick2, establece en su sitio web y en su código fuente, que los límites de flujo solar en que el modelo es válido son entre 69 y 193, según la recomendación ITU-R P.1239 (<https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1239/>). Para cada corrida del modelo, se tuvo en cuenta dicha recomendación.

Terminado este proceso se tiene un valor predicho por NeQuick 2 para cada medición del satélite Hinotori.

Para realizar una comparación de los datos a nivel climático, se los agrupó según:

- Estación: Solsticio de Junio (mayo, junio, julio). Solsticio de diciembre (noviembre, diciembre, enero). Equinoccio de Marzo (febrero, marzo, junio) y Equinoccio de Septiembre (agosto, septiembre, octubre).
- Latitud Geomagnética:  $-15^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ ,  $0^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$ ,  $15^{\circ} \pm 2.5^{\circ}$
- Hora Local: (0, 1, 2 ..., 23)h  $\pm 0.5$  h.
- Fuente de datos: Medición de Hinotori y predicción de NeQuick2

A cada grupo se le calcularon la mediana, el cuartil superior y el cuartil inferior. Las medianas fueron graficadas según estación y latitud geográfica y fuente de datos.

### **Comparación y conclusión:**

A continuación, se muestran los resultados con una breve descripción:

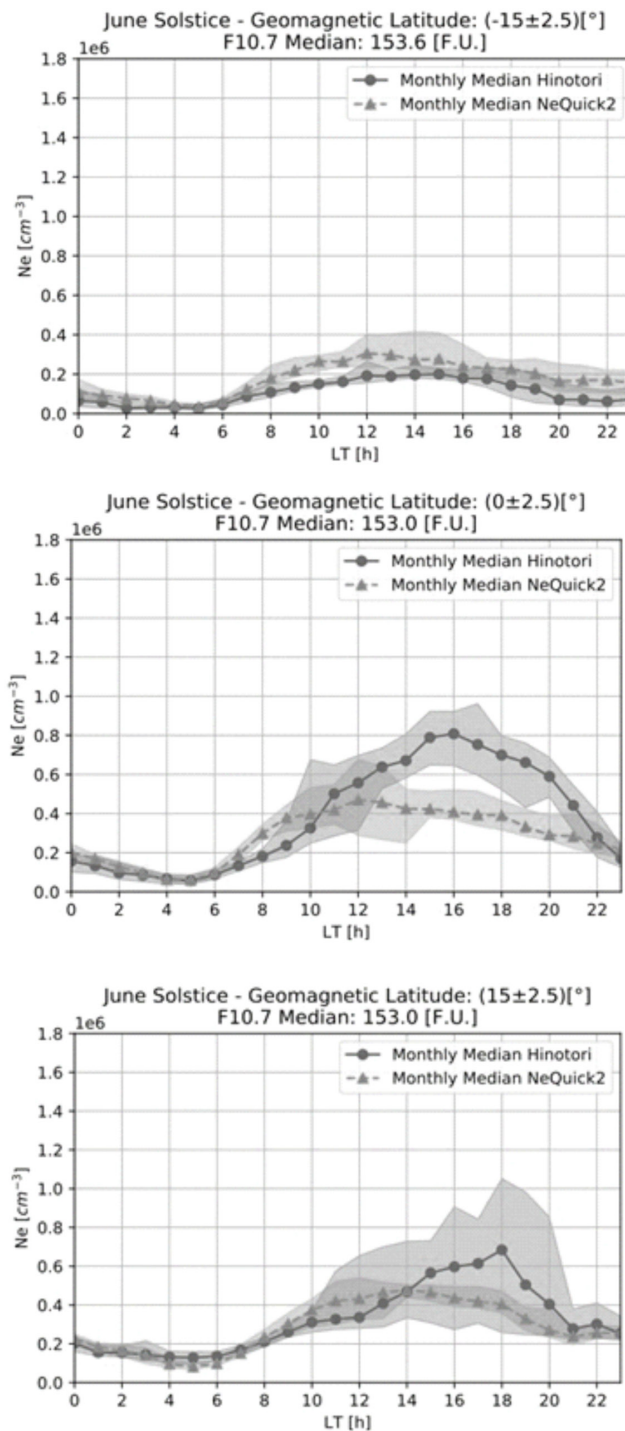


Fig. 1: Comportamiento del modelo Nequick2 en el Solsticio de Junio.

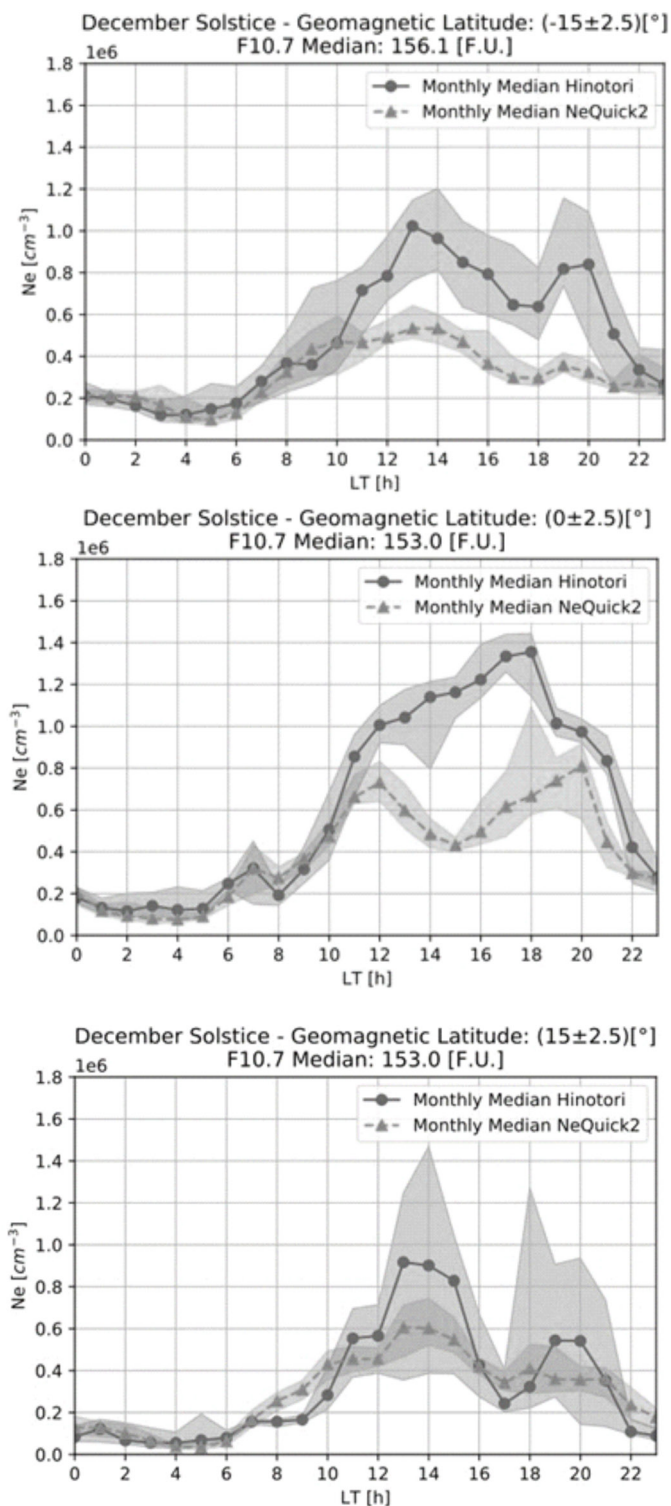


Fig. 2: Comportamiento del modelo Nequick2 en el Solsticio de Diciembre.



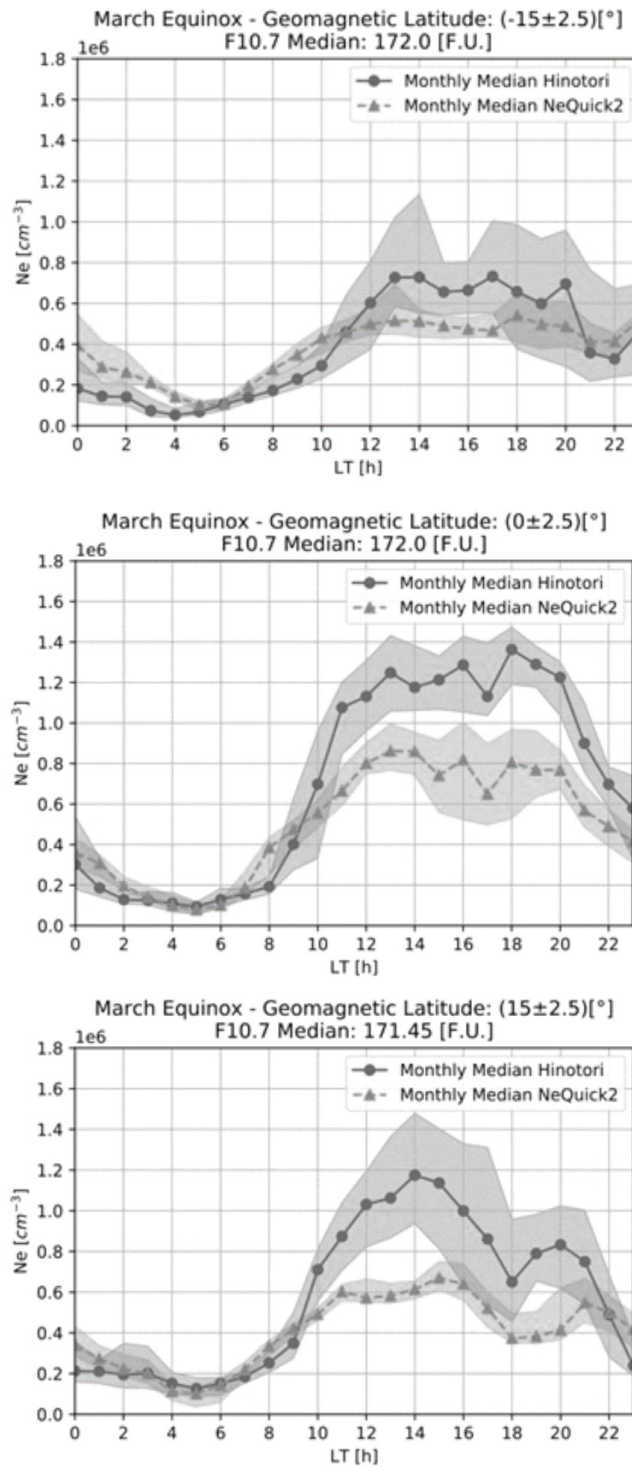


Fig. 3: Comportamiento del modelo Nequick2 en el Equinocio de Marzo.

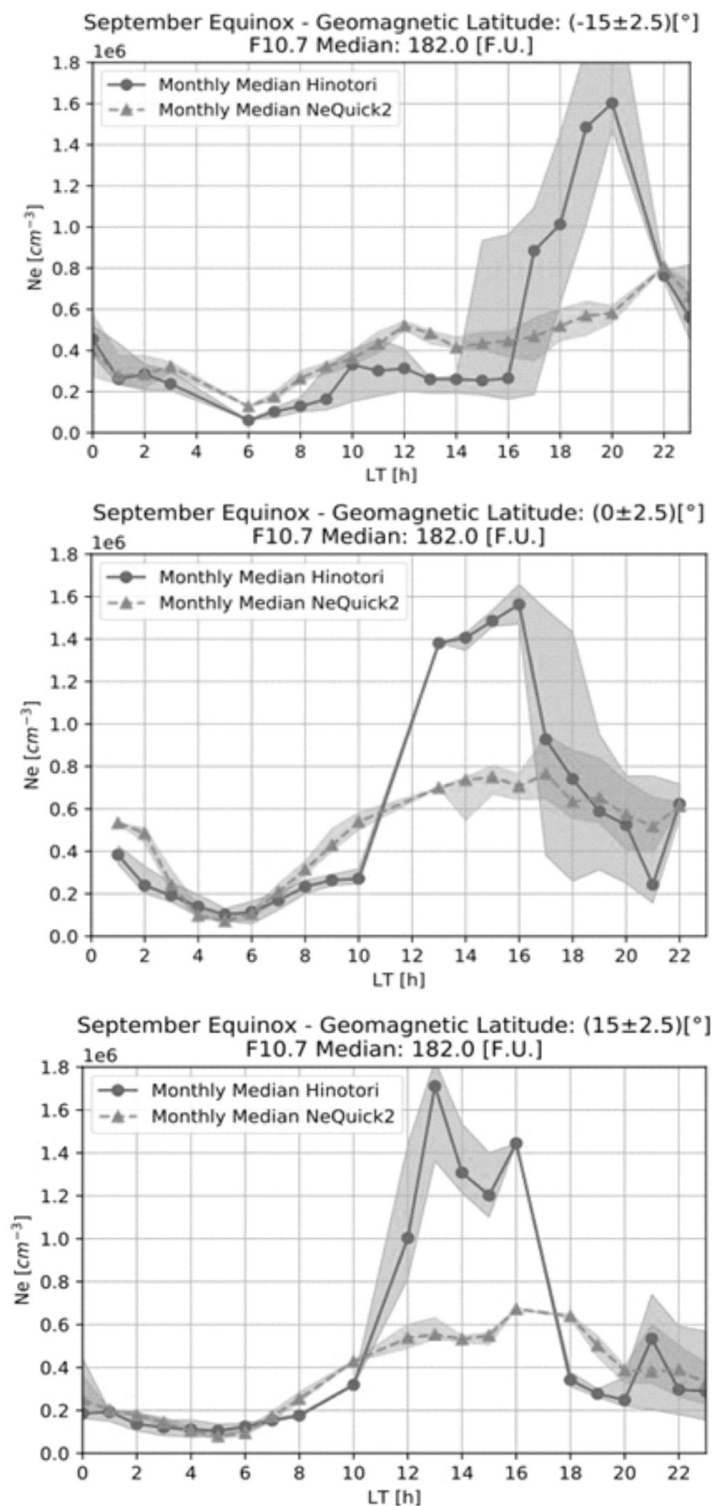


Fig. 4: Comportamiento del modelo Nequick2 en el Equinocio de Septiembre.

En las figuras fig 1. y fig 2., que representan el comportamiento del modelo para los solsticios de junio y diciembre, se puede apreciar que, entre las 0 am y las 8 am, horas de mínima ionización, el modelo está realizando una buena predicción. Sin embargo, en las horas de máxima ionización, que va entre las 10 am y las 20 pm; se observa que el modelo tiende a subestimar los valores de Ne.

En las figuras fig. 3 y fig. 4 se puede ver el comportamiento del modelo en los equinoxios de marzo y septiembre. Podemos observar que para las horas de mínima ionización, el modelo en general tiende a sobreestimar los valores de Ne; y para las horas de máxima ionización, al igual que en los solsticios, el modelo tiende a subestimar los valores de Ne.

Podemos agregar que el modelo presenta su mejor desempeño en el solsticio de junio a los  $-15^{\circ}$  de latitud geomagnética.

Para terminar, podemos decir que los resultados obtenidos en este trabajo sugieren la necesidad de realizar estudios adicionales que lleven a una mejor representación de los valores de Ne dada por el modelo.

## Agradecimientos

Agradecemos al Telecommunications/ICT for Development (T/ICT4D) Laboratory of the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy por la distribución del modelo Nequick 2 en su versión ITU-R:

<http://www.itu.int/rec/R-REC-P.531-13-201609-I/en>

## Referencias

Bilitza, D. International Reference Ionosphere 2000, Radio Sci., vol 36, 261-275, 2001.

Di Giovanni, G., Radicella S.M., “Analytical model of the electron density profile in the ionosphere”, Adv. Space Res., 10-11, 27-30, 1990.

Nava, B., P. Coisson and S.M. Radicella (2008): A new version of the NeQuick ionosphere electron density model, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, doi:10.1016/j.jastp.2008.01.015.

RADICELLA, S.M. and M.L. ZHANG (1995): The improved DGR analytical model of electron density height profile and total electron content in the ionosphere, Annali di Geofisica, XXXVIII (1), 35-41.