



# Modelo de la Interacción del Campo Magnético Ionosférico con las Señales Electromagnéticas GNSS sobre El Territorio Colombiano

Andrés Cárdenas Contreras <sup>1,2</sup>  
Javier Leonardo Araque Quijano <sup>1</sup>

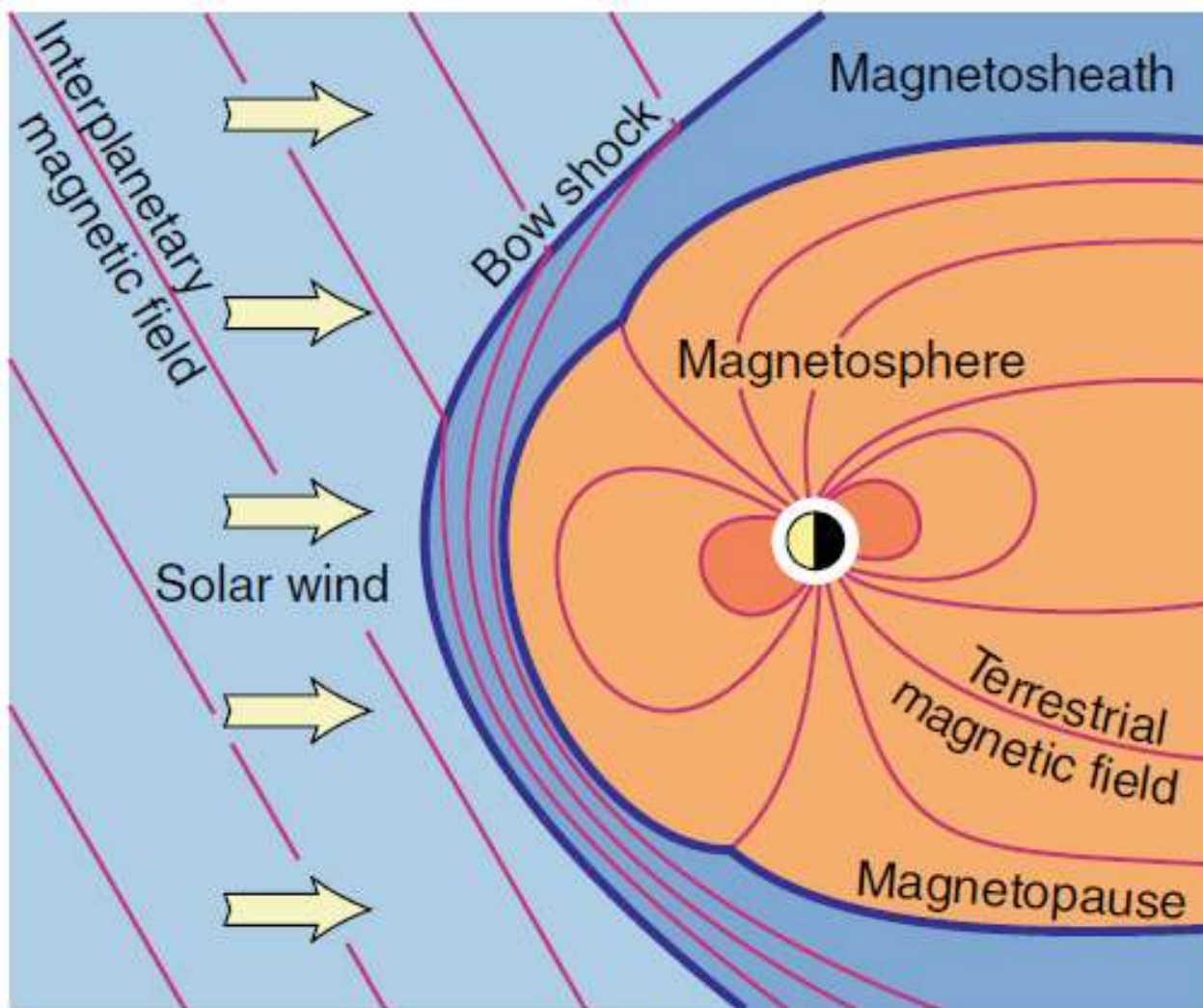
1. Universidad Nacional de Colombia
2. Universidad Distrital FJC



# Tabla de Contenido

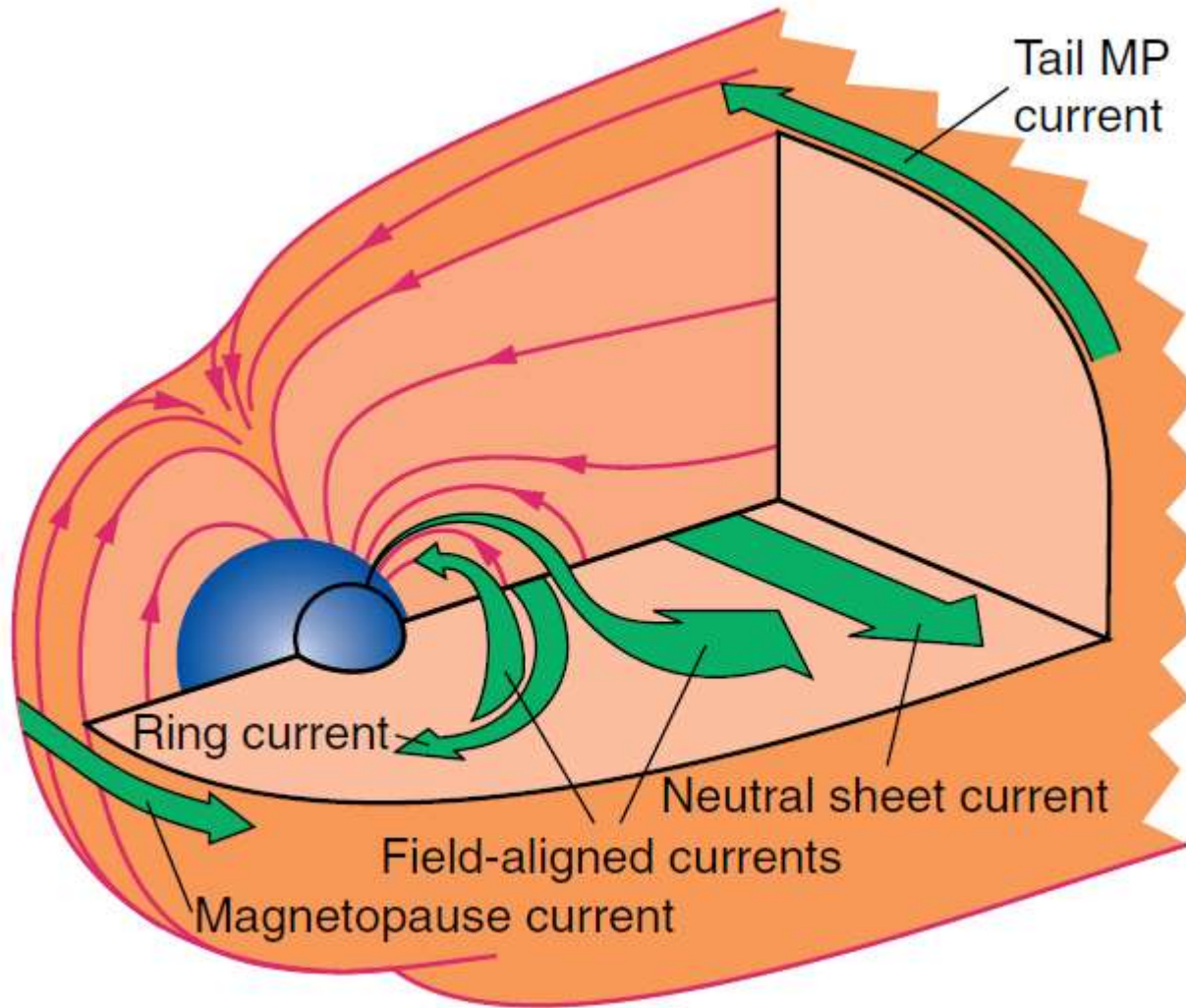
1. Algunos Conceptos Generales
2. Modelo de Interacción GNSS –  
Campo Magnético
3. Resultados
4. Conclusiones

# 1.1. Viento Solar y Campo Magnético Interplanetario



Fuente: (Baumjohan and Nakamura, 2007)

# 1.2. Sistemas de Corrientes Ionosféricas



Fuente: (Baumjohan and Nakamura, 2007)

# 1.3. Capas de la Ionosfera

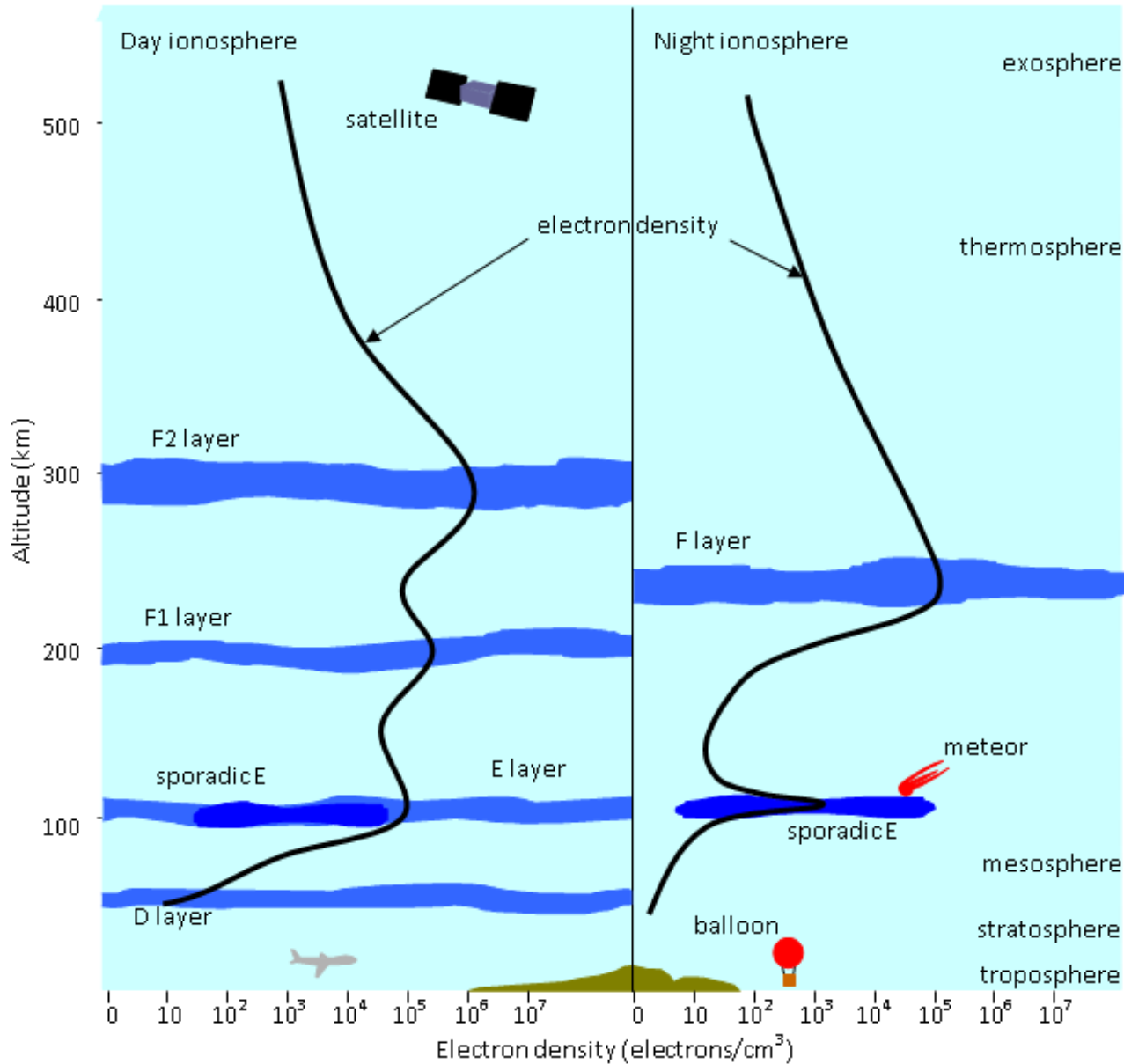
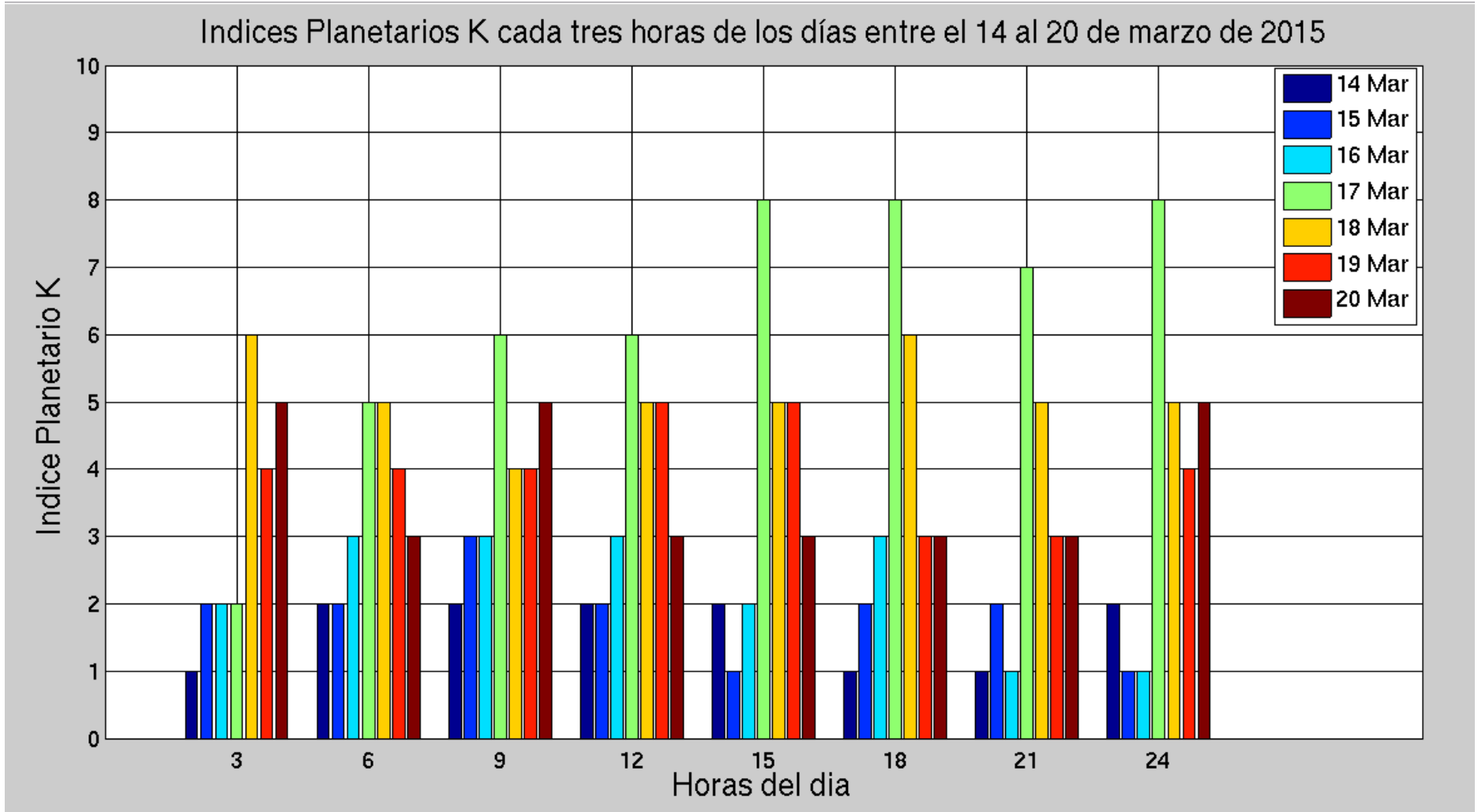


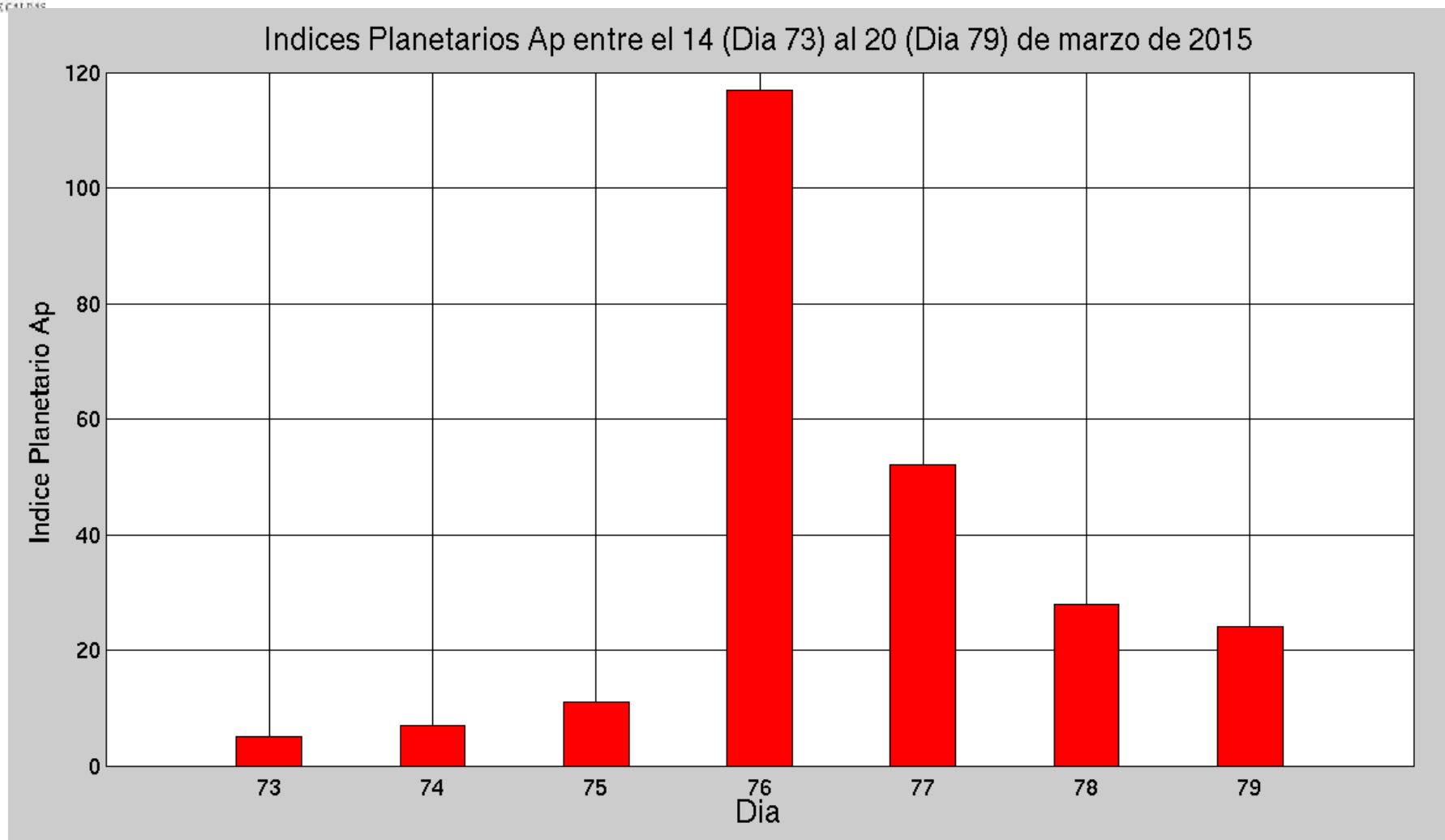
Figura: <http://www.sws.bom.gov.au/Educational>

# 1.4. Índices Planetario Kp



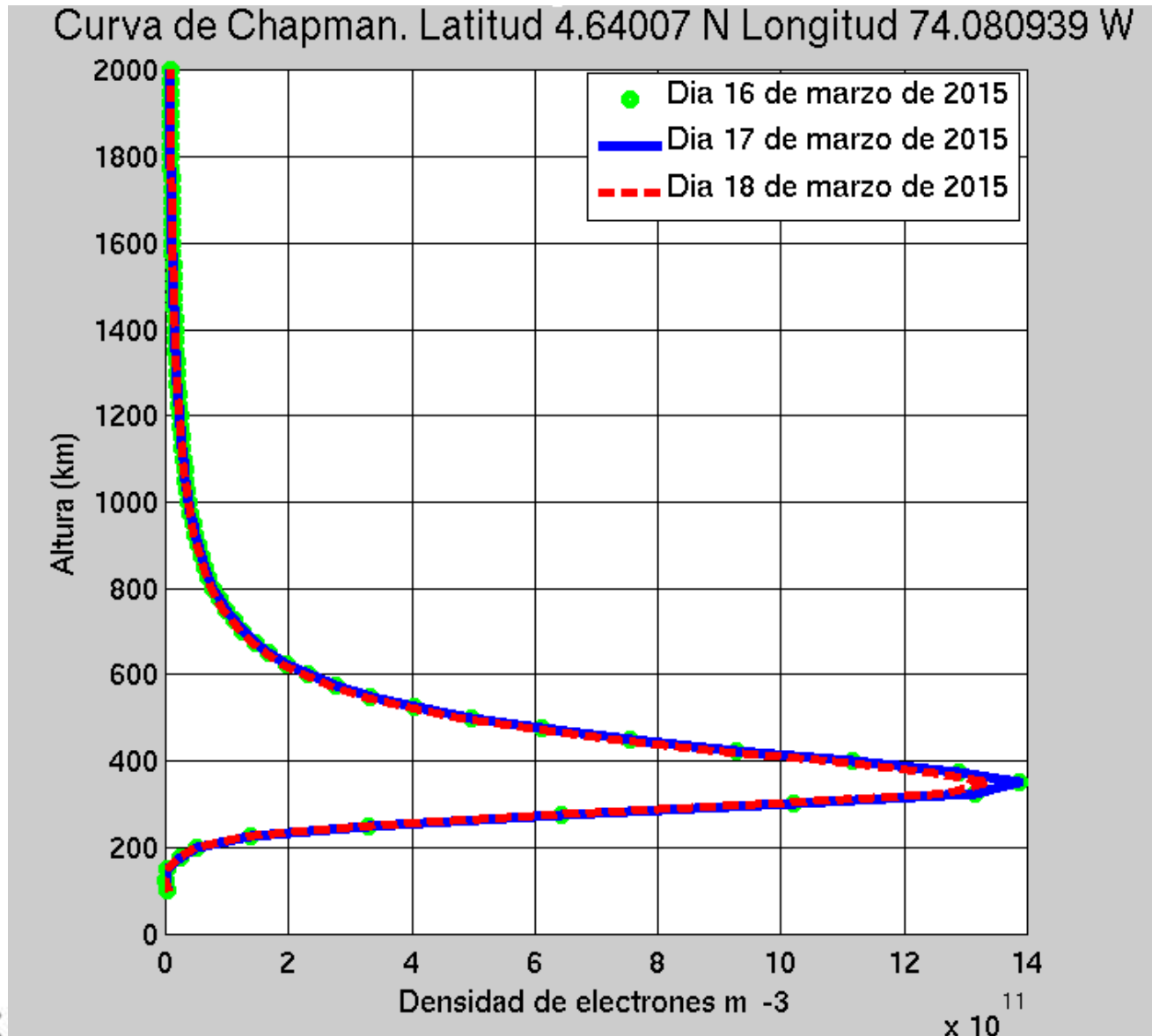
Fuente de datos: [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old\\_indices/2015\\_DGD.txt](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/2015_DGD.txt)

## 1.5. Índices Planetario Ap



Fuente de datos: [ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old\\_indices/2015\\_DGD.txt](ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/2015_DGD.txt)

# 1.6. Curva de Chapman con información del Modelo IRI 2016

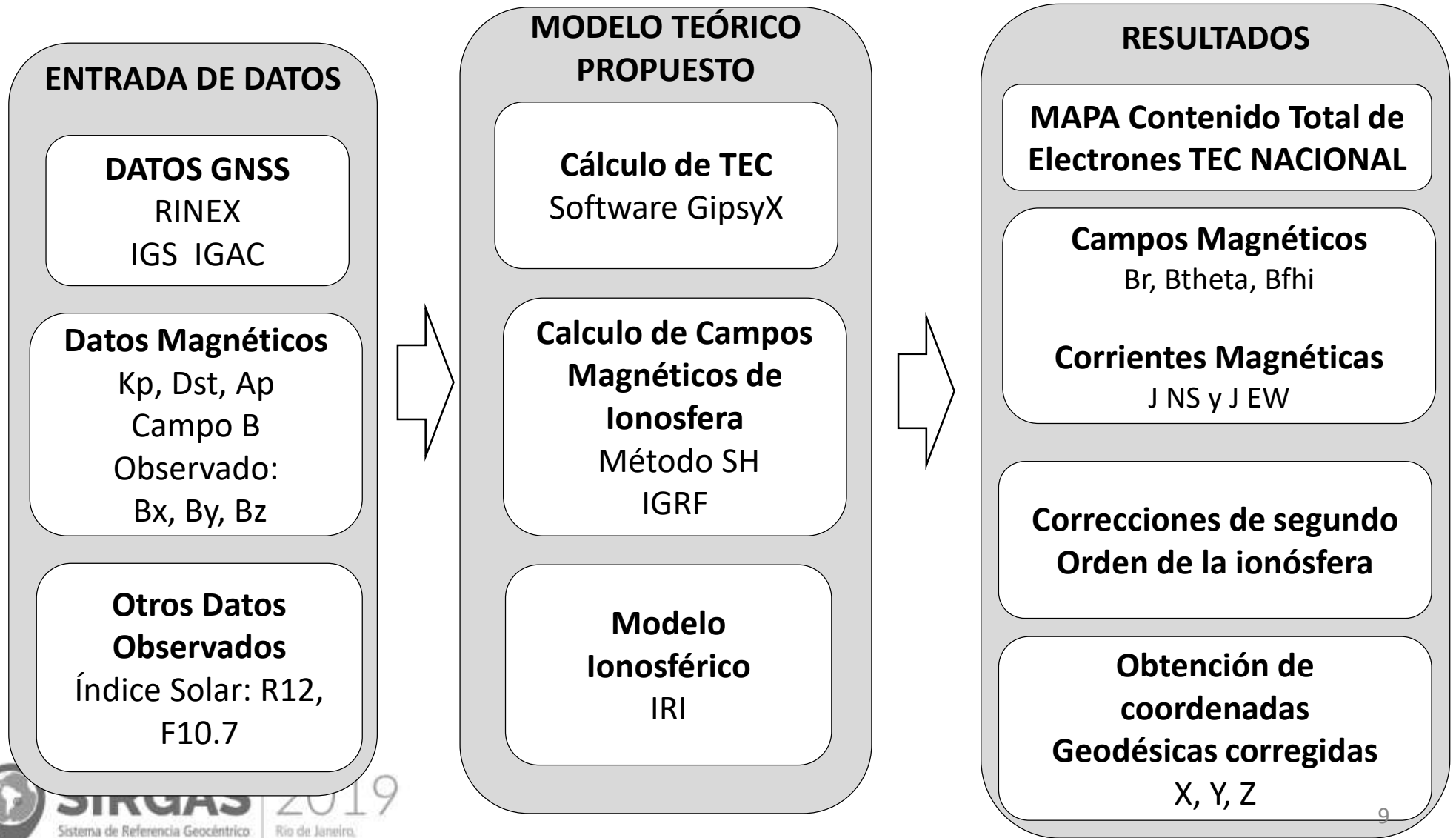


Fuente de datos: [https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016\\_vitmo.php](https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php)

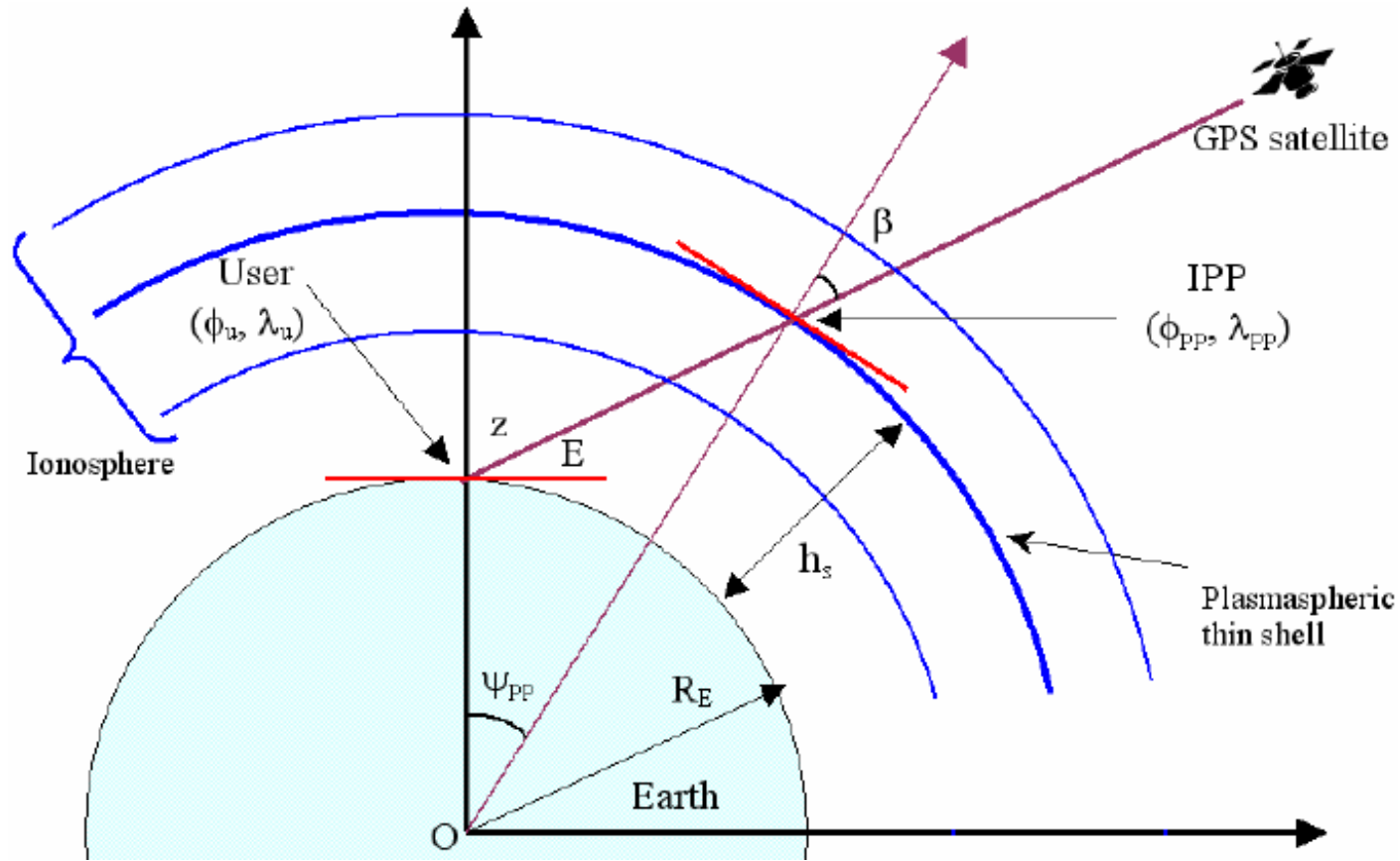


# 2. Modelo Interacción GNSS - Geofísica

Modelo sobre el territorio Colombiano



## 2.1. Contenido Total de Electrones TEC



Fuente: <https://www.researchgate.net>

## 2.2. Calculo de los retrasos ionosféricos de segundo orden en el Software GipsyX

*STEC* puede ser calculado así: *VTEC* es la ubicación del punto de perforación y se obtiene de la interpolación de mapas ionosféricos globales en el formato IONEX, *VTEC* se transforma en *STEC* utilizando una función de mapeo, Schaer et al. [1998 ]

$$STEC = m(\varepsilon, h_m, R_E) \cdot VTEC$$

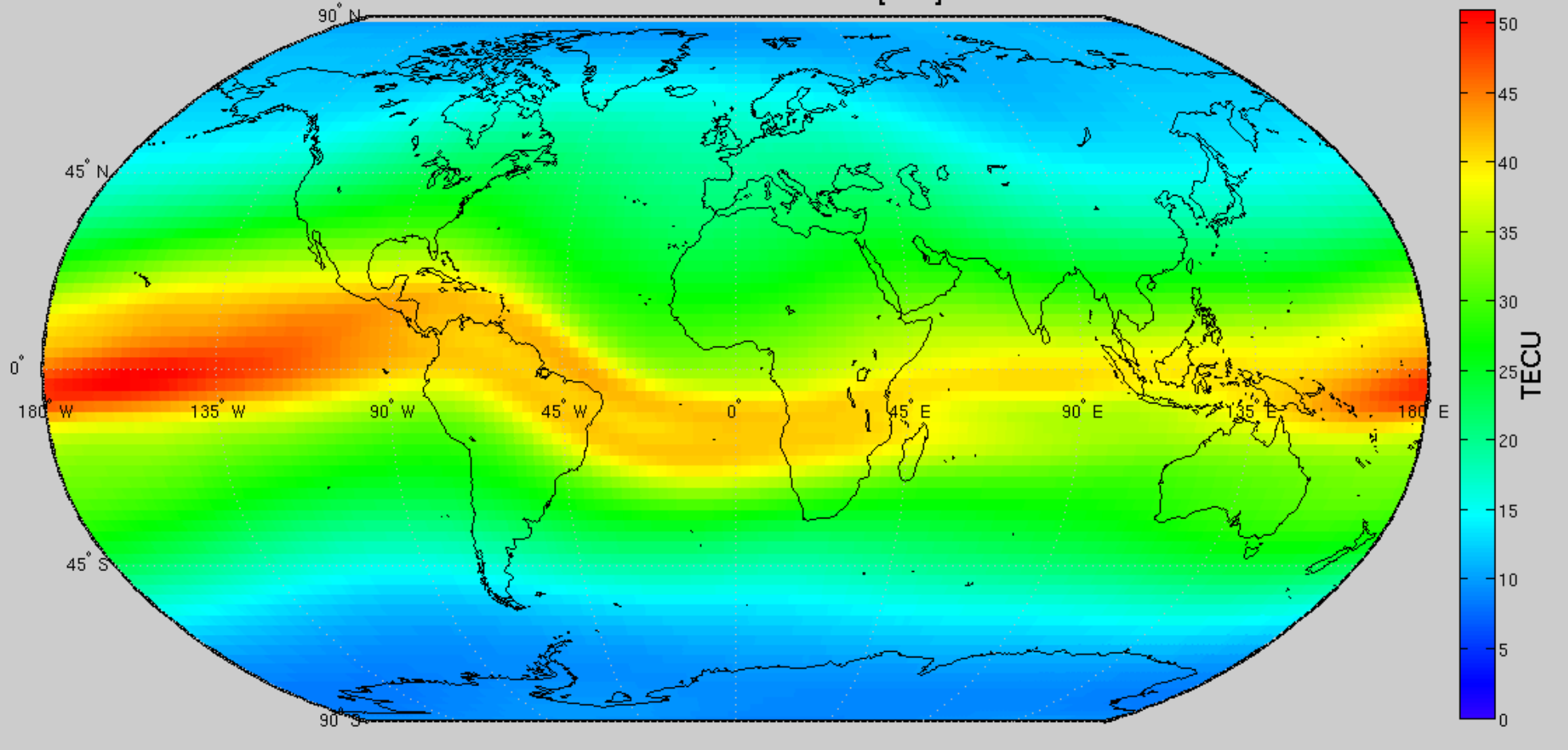
Donde  $m$  se define en función de la altura de elevación  $h_m$  con un ángulo de elevación  $\varepsilon$  y un radio de la tierra es  $R_E$

$$m(\varepsilon, h_m, R_E) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R_E}{h_m \cos \varepsilon}\right)^2}}$$

# 3.1. Mapas resultado IONEX – GIPSYX IRI

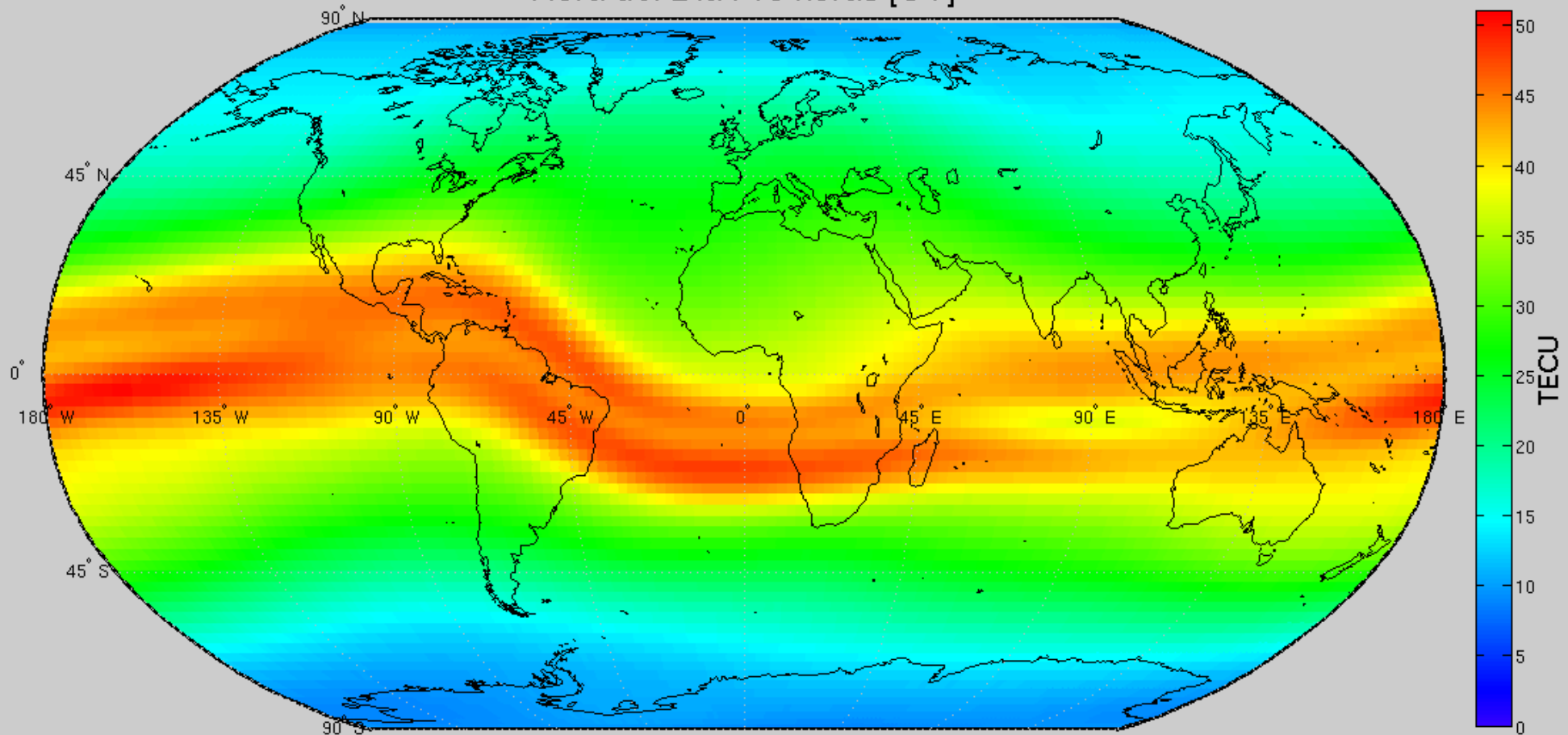
17 de marzo de 2015 , h = 350 km

CONTENIDO TOTAL DE ELECTRONES-IRI-GipsyX.1.2-2015/3/17  
Hora del Dia : 16 horas [UT]

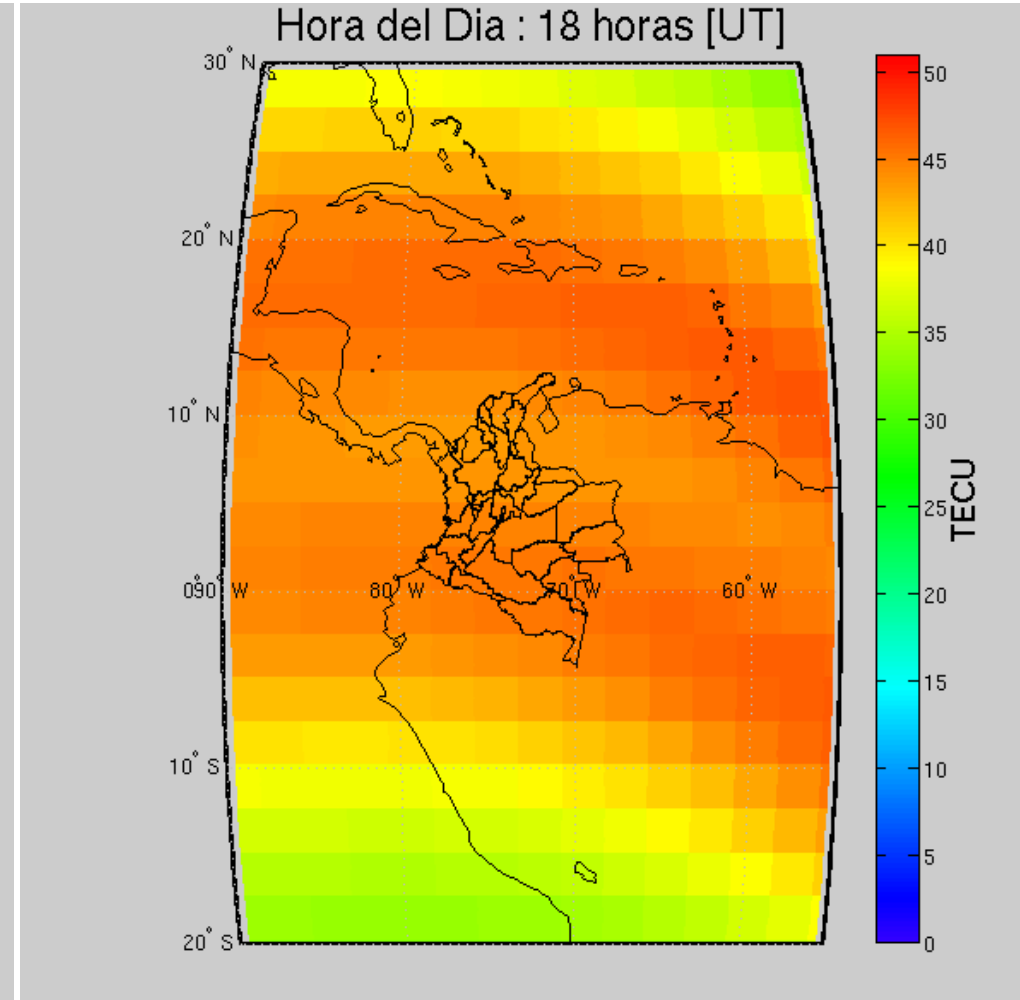
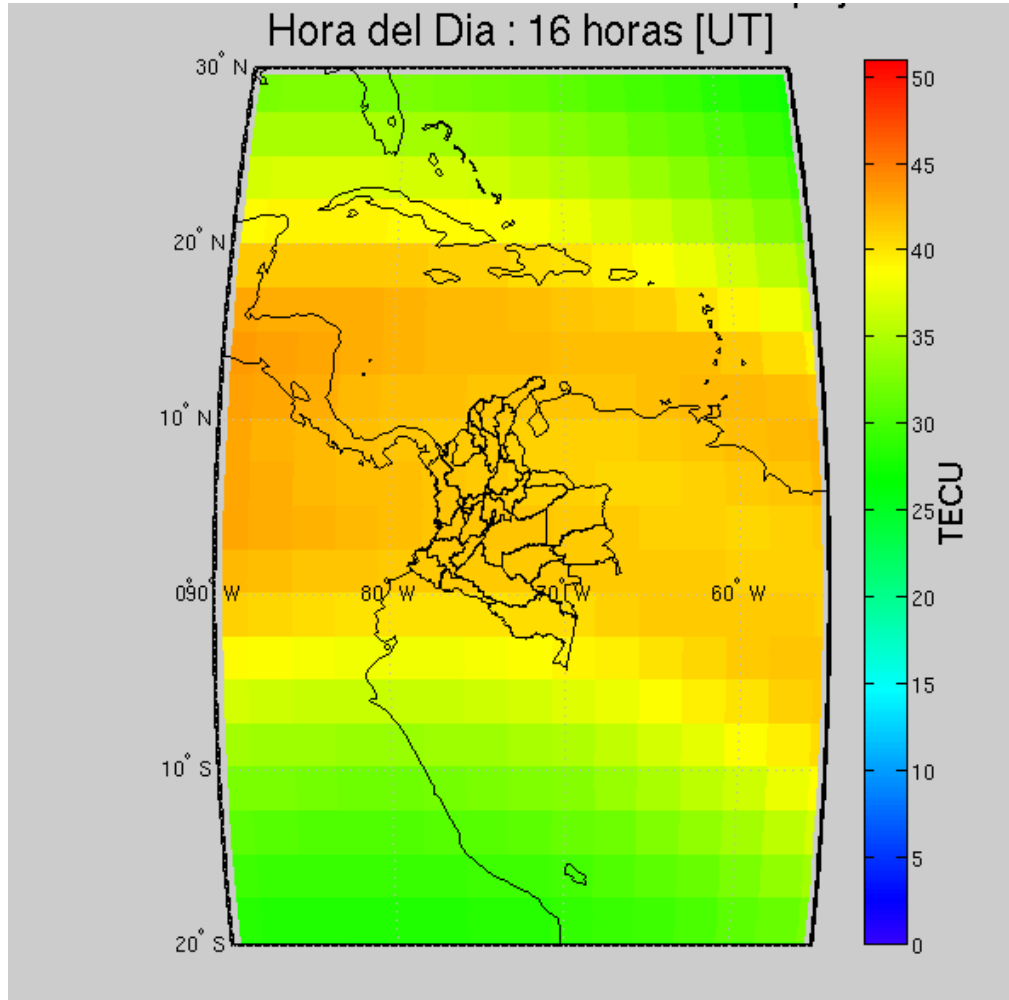


## 3.2. Mapas resultado IONEX – GIPSYX IRI 17 de marzo de 2015 , h = 350 km

CONTENIDO TOTAL DE ELECTRONES-IRI-GipsyX.1.2-2015/3/17  
Hora del Dia : 18 horas [UT]

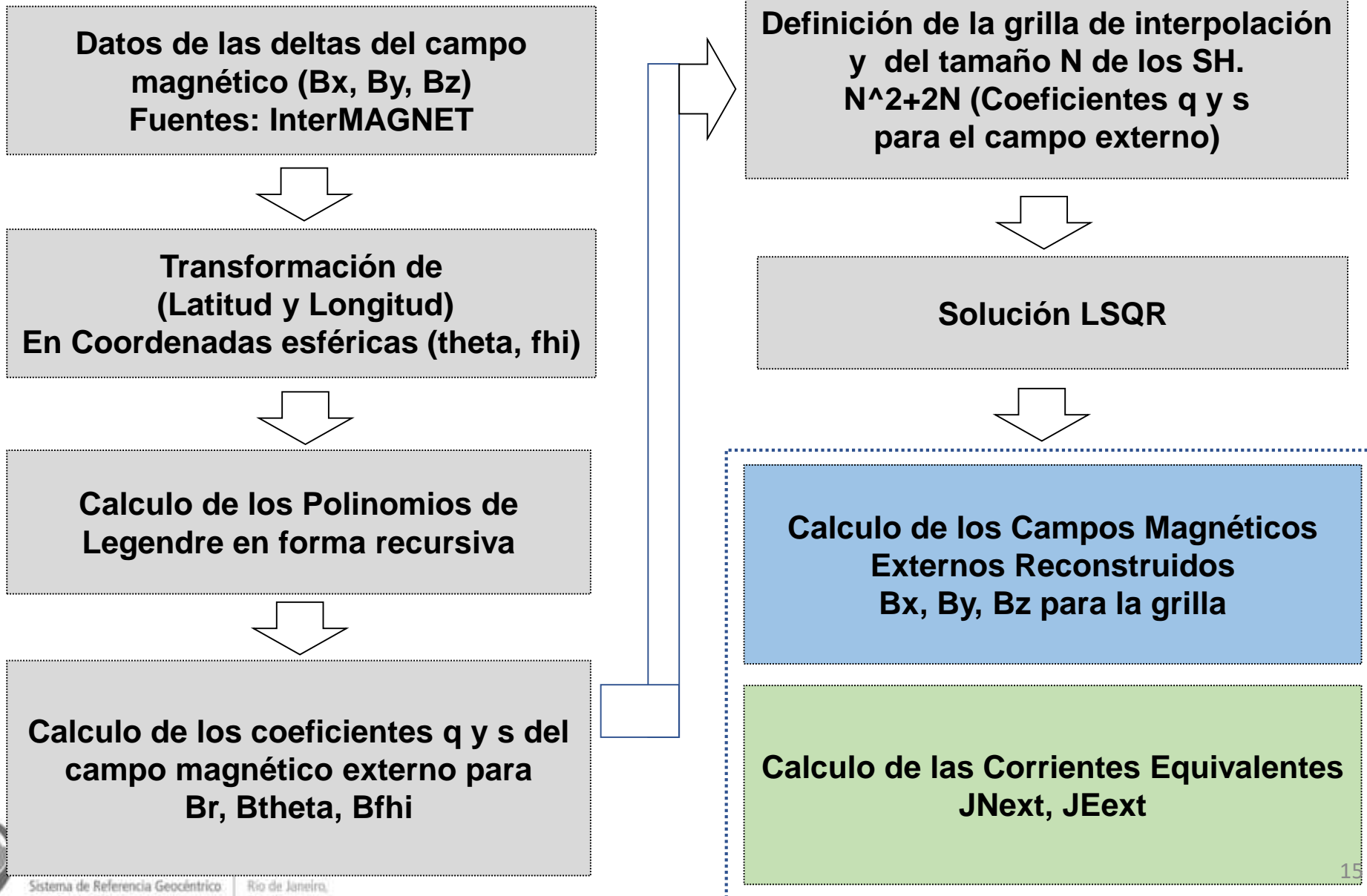


### 3.3. Mapas resultado IONEX – GIPSYX IRI 17 de marzo de 2015 , h = 350 km



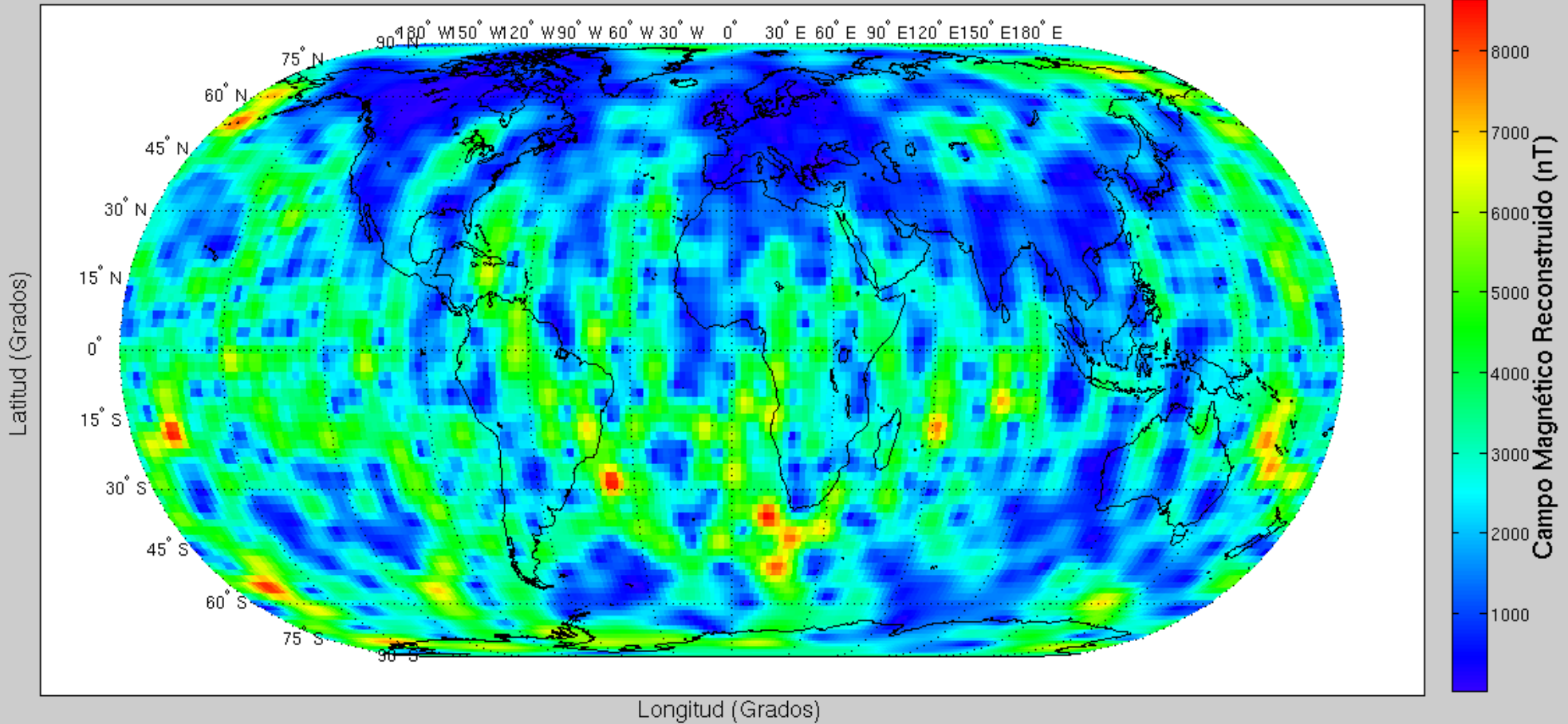


## 3.4. Campo Magnético Externo y Corrientes Equivalentes



# 3.5. Campo Magnético Externo Reconstruido con información INTERMAGNET y SH

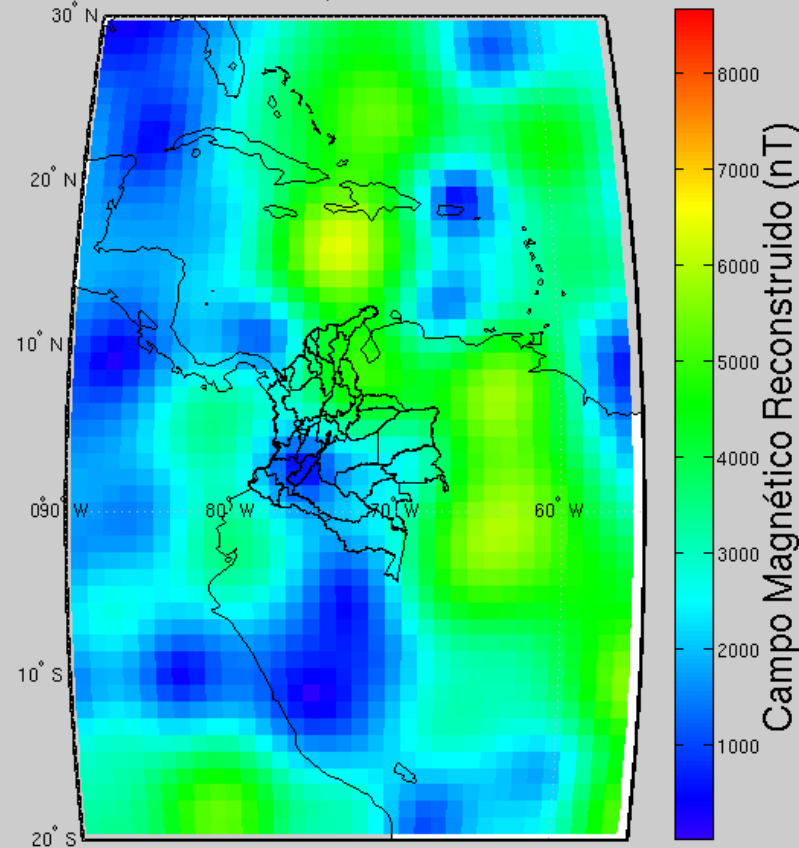
Campo magnetico reconstruido SD, Marzo 17 de 2015, N = 31, Coeficientes SH = 1023  
Residual de entrenamiento = 4.0693e-15, Residual de datos medidos = 1.9551e-15





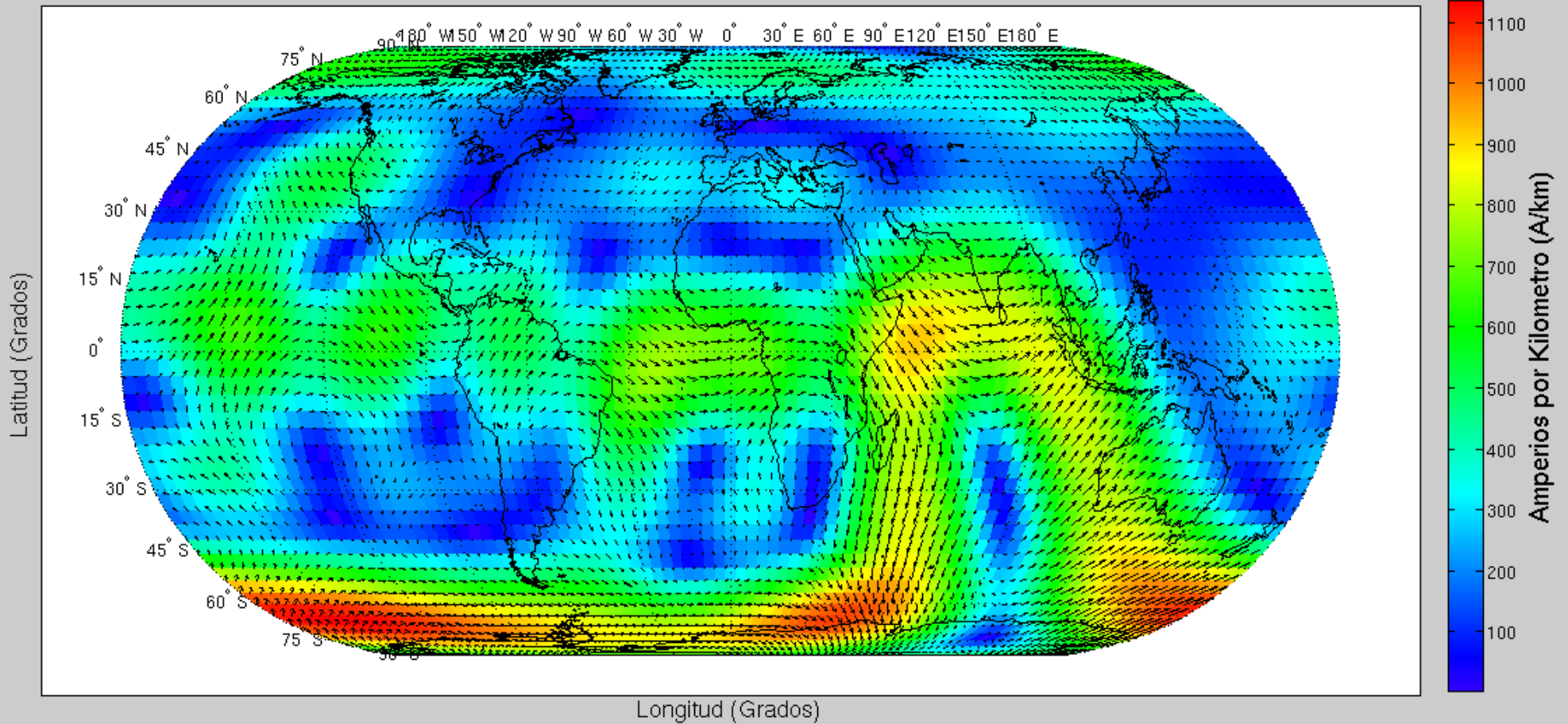
## 3.6. Campo Magnético Externo Reconstruido con información INTERMAGNET y SH

Campo magnético reconstruido LSQR, Marzo 17 de 2015,  $N = 31$ , Coeficientes SH = 1023  
Residual de entrenamiento =  $7.32e-13$ , Residual de datos medidos =  $1.4923e-12$



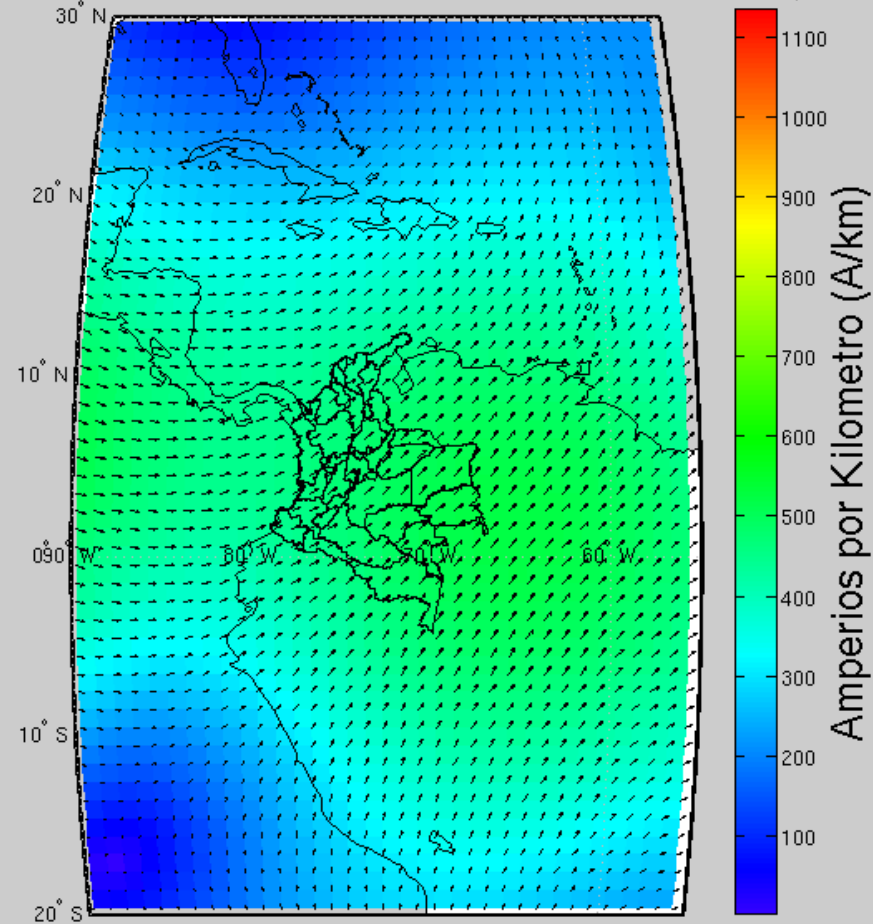
# 3.7. Corrientes Equivalentes del Campo Magnético Externo SH

Densidad de Corriente (J) con LSQR, Marzo 17 de 2015. Estaciones InterMAGNET  
N = 5; Expansion Armonicos Esfericos de 35 coeficientes , h = 350 km



## 3.8. Corrientes Equivalentes del Campo Magnético Externo SH

Densidad de Corriente (J) con LSQR, Marzo 17 de 2015. Estaciones InterMAGNET  
 $N = 5$ ; Expansion Armonicos Esfericos de 35 coeficientes,  $h = 350$  km

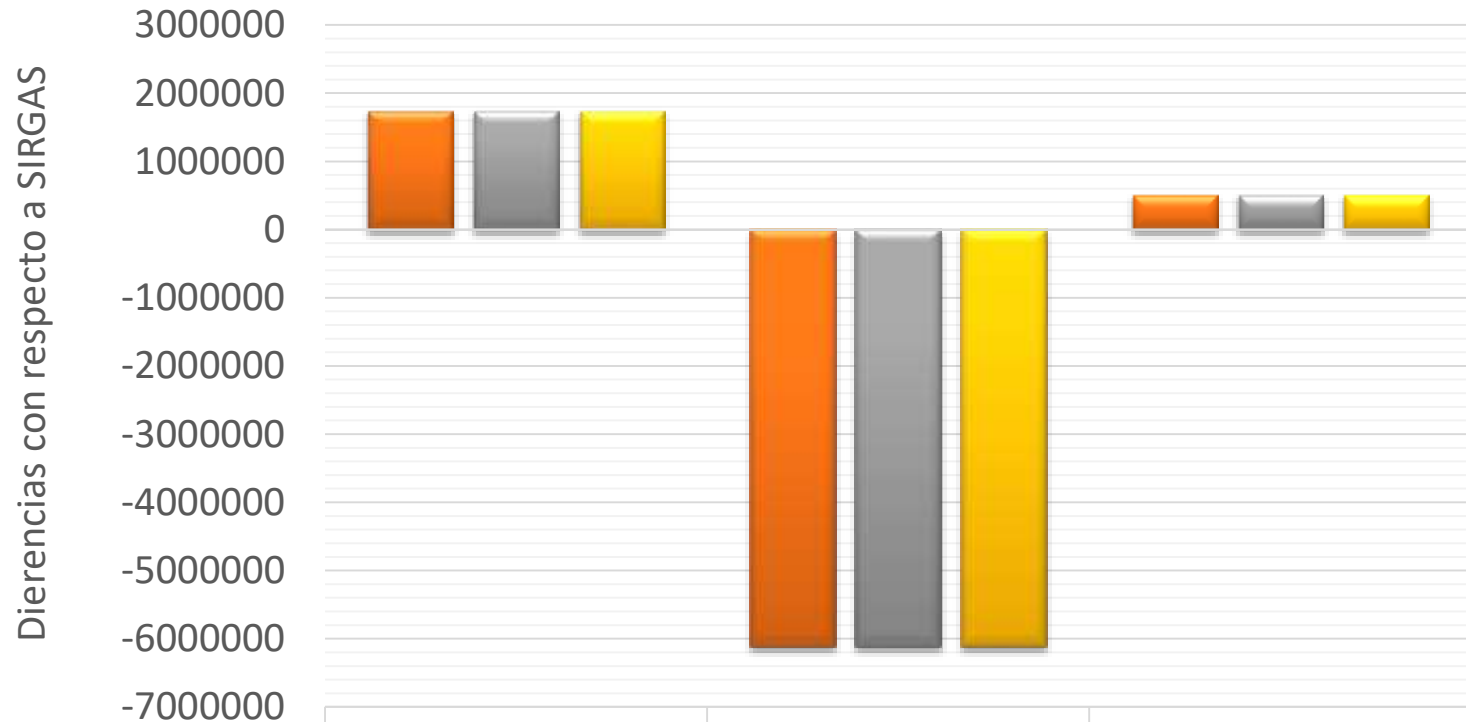


## 3.9. Procesamiento PPP GipsyX - JPL

Item	Estrategia de Procesamiento
Observación	Combinación Ionosfera Libre
Señales Seleccionadas	L1, L2
Estimador	Filtro Kalman
Corrección Ionosférica	IRI – GipsyX
Función de Mapeo Troposférica	GMF
Orbitas del Satélite	Efemérides precisas finales IGS
Reloj del Satélite	Productos finales de Relojes IGS

## 3.12. Análisis de Resultados Método PPP - BOGT

### Variación coordenadas Obtenidas BOGT 17-03-15 con GipsyX PPP y Solución SIRGAS semana 1835



	X	Y	Z
■ BOGT 17-03-15 -Sin Corr Ionos	1744398.909014	-6116037.106938	512731.845769
■ BOGT 17-03-15 Con Corr Ionos	1744398.909042	-6116037.107401	512731.845387
■ BOGT 17-03-15 SIRGAS	1744398.909042	-6116037.109760	512731.846790

### 3.13. Análisis de Resultados Método PPP - BOGT

#### Variación coordenadas Obtenidas BOGT 17-03-15 con GipsyX PPP con respecto a SIRGAS



	X	Y	Z	Total
■ Var Sin Corr Ionos- SIRGAS	-0.001756	0.002822	-0.001021	0.003476733
■ Var con Corr Ionos - SIRGAS	-0.001729	0.002359	-0.001403	0.002744686



## 4. Conclusiones

1. Mediante los datos de las estaciones magnéticas de la red INTERMAGNET, se realizó un modelo cuya base se realizó en armónicos esféricos (SH) y sus coeficientes se calcularon con el método de Sistemas Lineales LSQR, los cuales permiten obtener el magnético vectorial y las corrientes ionosféricas equivalentes sobre el territorio Colombiano
2. Al corregir las coordenadas geocéntricas de las estaciones como el ejemplo presentado de la estación BOGT (IGAC IGS) con el segundo orden ionosférico con el método PPP en el software GipsyX del JPL de la NASA se obtienen mejores resultados en la precisión de los datos dado que incluye los parámetros del clima espacial presentes en el modelo IRI
3. Con este proyecto de investigación de la Interacción de la Geofísica de la Alta Atmósfera y procesamiento GNSS con software científico se aporta al conocimiento para la definición de un Modelo Ionosférico Local para Latitudes Geográficas Bajas sobre el Territorio Nacional y futura implementación de los sistemas GBAS y SBAS en los aeropuertos Colombianos