

Primeros cinco años del centro de análisis ionosferico de SIRGAS: resultados y perspectivas

Mauricio Gende, Claudio Brunini

Geodesia Espacial y Aeronomía

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

Universidad Nacional de La Plata

CONICET

Argentina



Reunión SIRGAS 2013

24 al 26 de octubre de 2013, Ciudad de Panamá

Los antecedentes

La propuesta de explotar las mediciones SIRGAS-CON para la monitorización de la ionosfera fue planteada por primera vez en la Reunión SIRGAS 2004 (Aguascalientes, México, 9 y 10 de diciembre de 2004).

Por aquellos días, las actividades prioritarias del GT-I incluían diversas mejoras en SIRGAS-CON y la instalación de centros de análisis que contribuyeran con la tarea que recaía totalmente sobre el DGFI.

Paralelamente con aquello, se formulaba la pregunta:

“Dado el creciente interés por desarrollar infraestructuras SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) en América del Sur, Central y el Caribe ¿sería de interés para SIRGAS aprovechar la red de medición continua para el cálculo de mapas ionosféricos regionales?”

Los requisitos:

Fueron señalados por el Consejo Científico y avalados pro el Consejo Directivo de SIRGAS:

- *establecer claramente los objetivos de la empresa, identificar a los beneficiarios de los productos ionosfericos que se desarrollarían y asegurar que esos producto satisfarán las expectativas de la comunidad;*
- *dotar a los productos de SIRGAS de características que los diferenciaran de los que elaboraba la Universidad de Berna y otros grupos internacionales;*
- *analizar la posibilidad de utilizar representaciones regionales que no se basaran en las usuales funciones armónicas esféricas;*
- *demostrar la confiabilidad del producto, que debía ser, cuanto menos, competitiva con los que generaba la Universidad de Berna.*

Primeros resultados

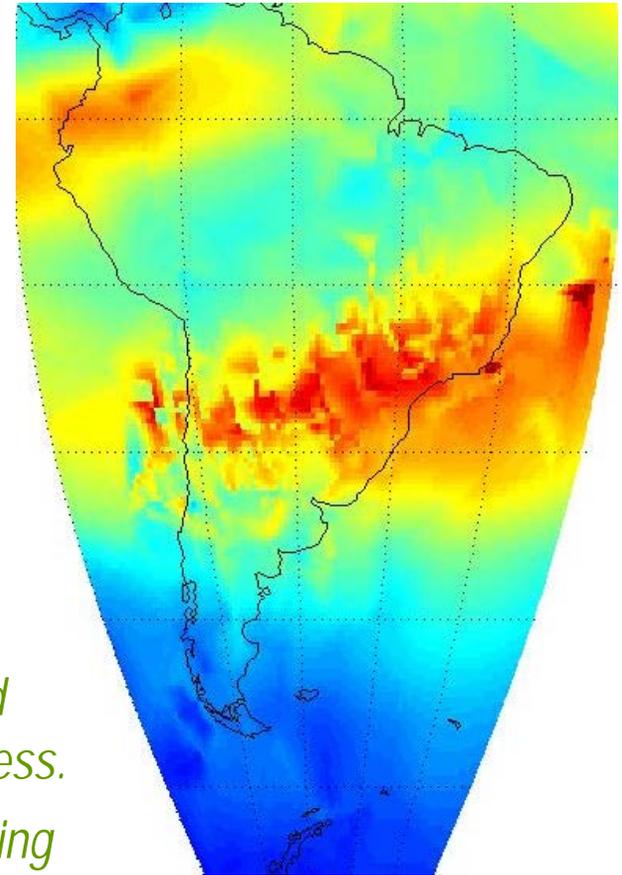
Fueron presentados en la Reunión SIRGAS 2005 (Caracas, 17 y 18 de noviembre de 2005).

Se basaban en un modelo de capa simple y una representación del TEC vertical (vTEC) mediante funciones armónicas esféricas.

Se ofrecían mapas horarios en formato jpg, película diarias en formato avi y grillas horarias de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, a través de un servicio experimental que estuvo disponible en la Internet desde el 1 de julio de 2005, bajo la responsabilidad de Mauricio Gende.

*Brunini et al 2004, A new ionosphere monitoring technology based on GPS, *Astroph & Space Sci* 290, 415-429, Kluwer Academic Press.*

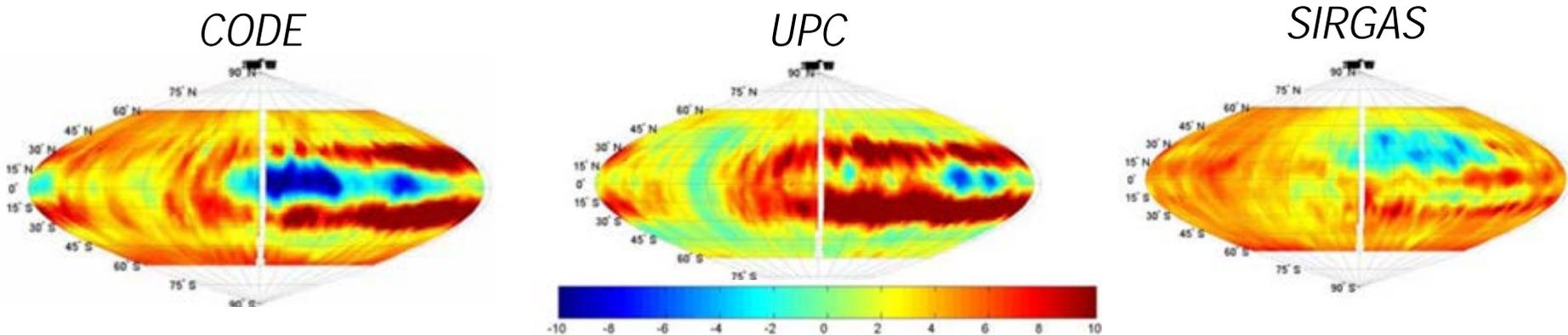
*Azpilicueta et al 2004, Assessment of SH vTEC representation using synthetic data based on NeQuick Ionospheric Model, *International Beacon Satellite Symposium, Trieste, Oct 2004.**



Primeras validaciones

Mediante comparaciones con otras determinaciones de vTEC

- misiones TOPEX/Poseidon y Jason I
- modelos climatológicos IRI, NeQuick y Bent
- resultados generados por otros grupos (Berna, UPC, JPL, etc.).

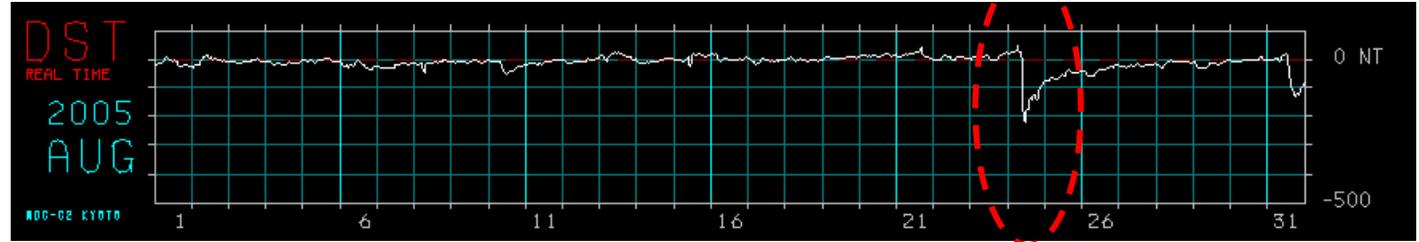


Diferencias entre el TEC vertical derivado de GPS con diferentes modelos y medido por TOPEX y Jason (120 días de medición en el sistema de coordenadas sol-fijo / modip)

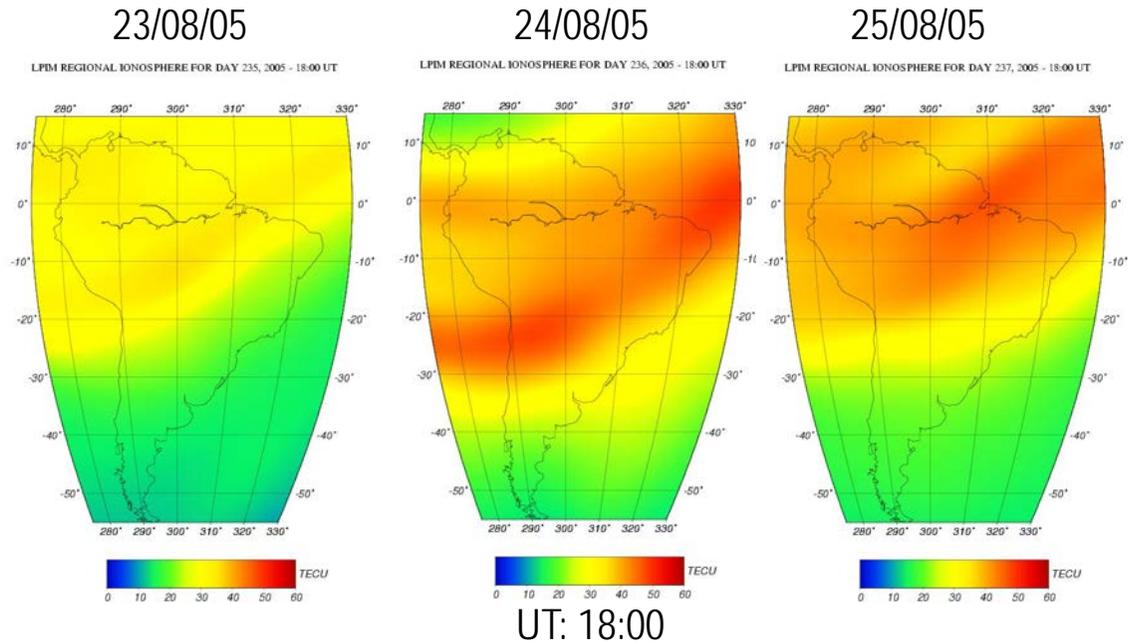
Azpilicueta & Brunini, 2005, Analysis of the bias between TOPEX and GPS vTEC determinations, Radio Sciences, DOI 21.0087/r03456-095.865-a..

Brunini et al 2005, Temporal and spatial variability of the bias between TOPEX- and GPS-derived TEC, J Geod, doi10.1007/s00190-005-0448-z.

Aplicaciones en estudios geofísicos



Meza et al 2005, Vertical total electron content and geomagnetic perturbations at mid and subauroral south latitudes during geomagnetic storms, JASTP, doi 10.11016/j.jastp.2004.07.042



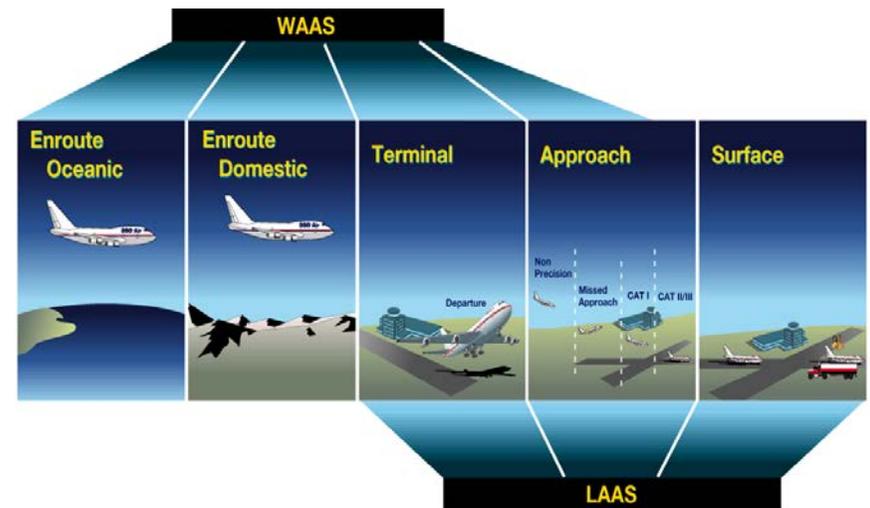
Ezquer et al 2004, GPS-VTEC measurements and IRI predictions in the South American sector, Adv Space Res, doi 10.1016/j.asr.2004.03.015

Aplicación a la navegación apoyada en satélites

En el marco del proyecto Sistema de Aumentación para el Caribe, Centro y Sudamérica (SACCSA) de la organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

Recomendaciones del Seminario Internacional de Navegación Satelital (Naciones Unidas), Bogotá, Sep 2005:

- aprovechar la infraestructura SIRGAS para el desarrollo de SAACSA (OACI)
- desarrollar un modelo ionosférico regional piloto para el área SIRGAS

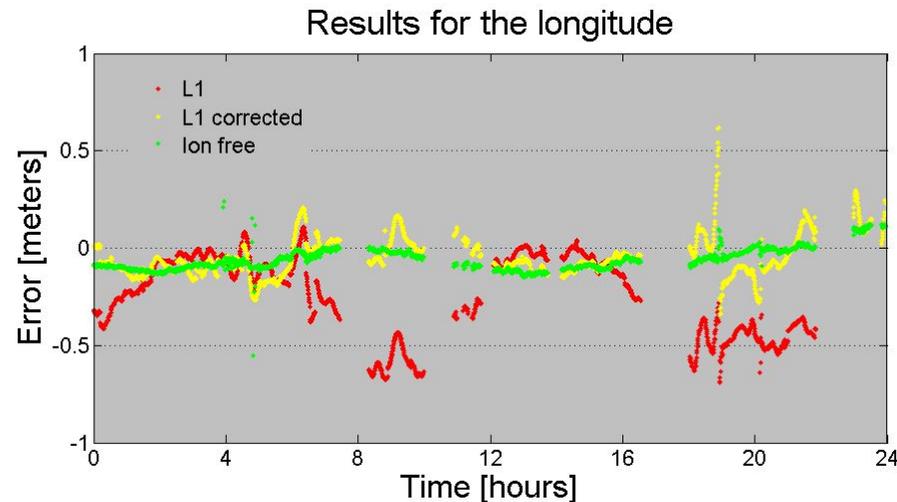


Meza et al 2004, Evaluating the accuracy of ionospheric range delay corrections for navigation at low latitude, Adv Space Res, available online.

Aplicaciones al posicionamiento con receptores de simple frecuencia

Errores medios (día perturbado y bajo la anomalía)

- *posicionamiento puntual instantáneo: 0.42 m / 2.65 m*
- *posicionamiento diferencial (200 km): 0.08 m / 0.16 m*



Mohino 2005, Análisis y mitigación del error ionosférico con receptores de una frecuencia, Tesis doctoral, Universidad Complutense, Madrid.

Diferencias con otros productos del tipo

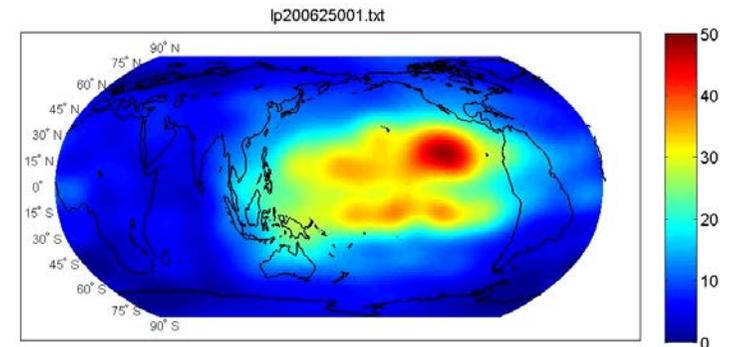
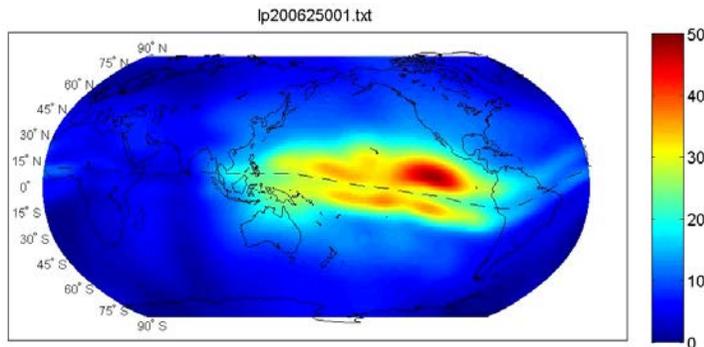
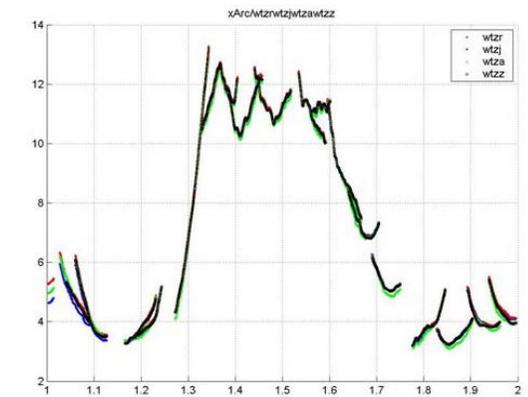
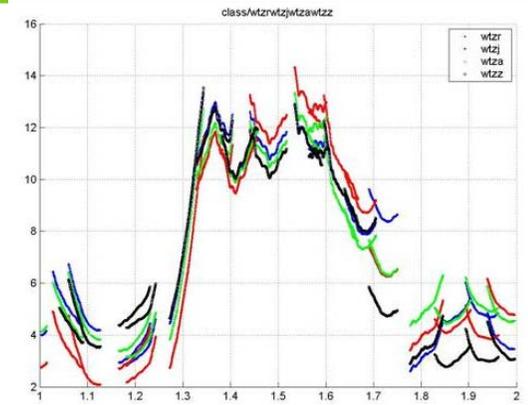
Solución regional (más datos, mayor resolución)

Método de calibración de los retardos de los receptores y los satélites

Ciraolo et al 2005, Calibration errors on experimental slant total electron content determined with GPS, submitted to JoG

Uso de la latitud 'modip'

Azpilicueta et al 2005, Global ionospheric maps from GPS observations using modip latitude, Adv Space Res, available online



Propuestas, preguntas, y respuestas

En la Reunión SIRGAS 2005 (Caracas) se planteaba una propuesta:

Avanzar hacia una modelización con mejor representación de la física ionosférica

Brunini et al 2005, A method for ingesting observed TEC into an empirical ionospheric model, Radio Science.

Y algunas preguntas:

¿Seguimos trabajando?

¿Difundimos los resultados (experimentales) mediante la página web del proyecto?

¿Cuándo? ¿Cómo?

Las respuestas llegaron en el Taller del GT-I (Río de Janeiro, 16 al 18 de agosto de 2006):

Resolución N° 1: establecer en el seno del GT I el proyecto "Estudios Atmosféricos para SIRGAS con el objetivo de implantar un servicio del proyecto SIRGAS.

Primeros pasos al establecimiento de un modelo de densidad electrónica

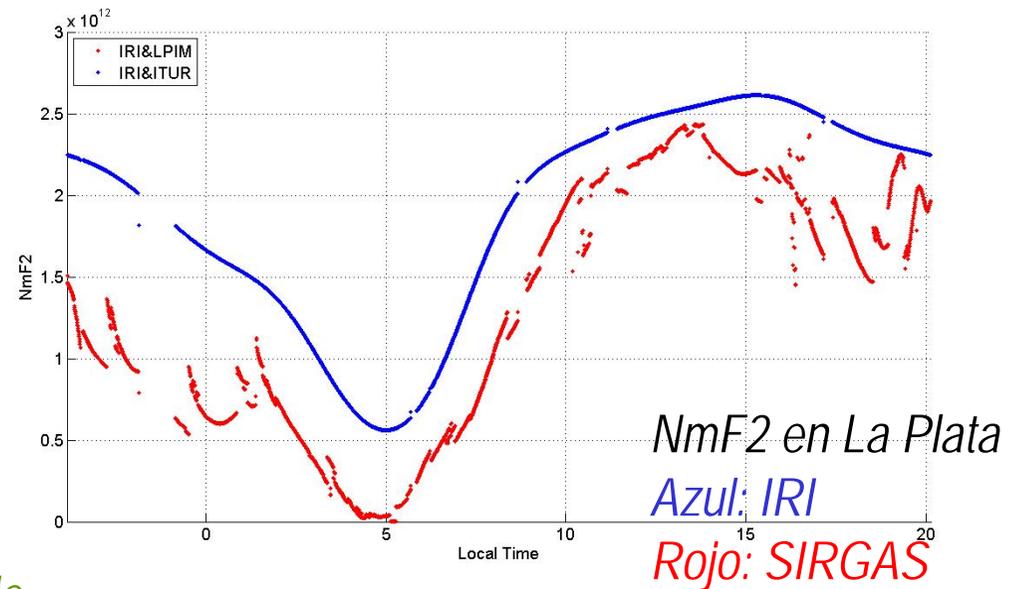
En la Reunión SIRGAS 2008 (Montevideo, Uruguay, 26 al 29 de mayo de 2008) se presentaban los primeros resultados alcanzados con un modelo que tomaba en cuenta la variación de la densidad electrónica con la altura.

Basados en ellos, se proponía "establecer un experimento dentro del proyecto "Estudios Atmosféricos para SIRGAS" tendiente a producir mapas regionales de alta resolución de los parámetros ionosféricos $N_m F2$ y $h_m F2$ ".

Al tiempo, el Consejo Directivo de SIRGAS oficializaba los productos ionosféricos generados por la UNLP.

Brunini et al (2008) South American regional maps of vertical TEC computed by GESA: a service for the ionospheric community, JASR, 42, 737-744.

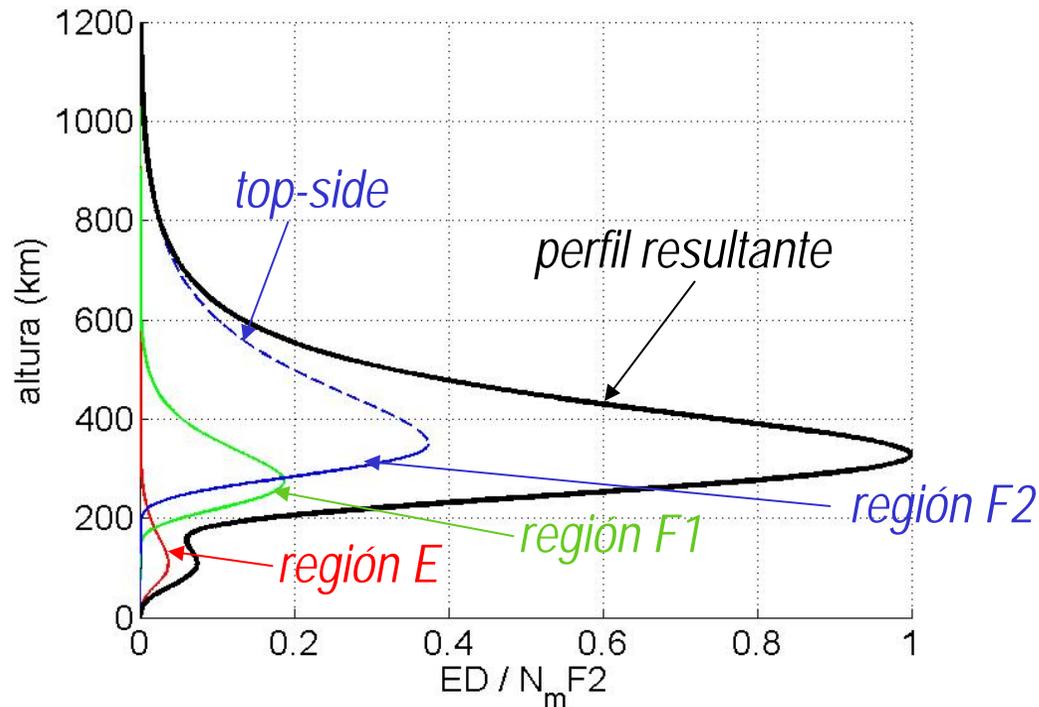
Meza et al (2008) Analysis of a topside ionospheric model using GPS and ionosonde observables, JASR, 42, 712-719.



Evolución del modelo de densidad electrónica

En las Reuniones SIRGAS 2009 (Buenos Aires, Argentina, 31 de agosto al 4 de septiembre de 2009) y 2010 (Lima, Perú, 11 y 12 de noviembre de 2010) se presentaron los resultados alcanzados con un modelo que describía las diferentes regiones ionosféricas (E, F1, F2, perfil de tope) usando la teoría de Chapman.

Los parámetros característicos de cada región (frecuencia crítica, altura del máximo, ancho de escala, altura de transición y factor de forma) se modelan como funciones de la latitud, la longitud, la altura y el tiempo, siguiendo las recomendaciones de la ITU.



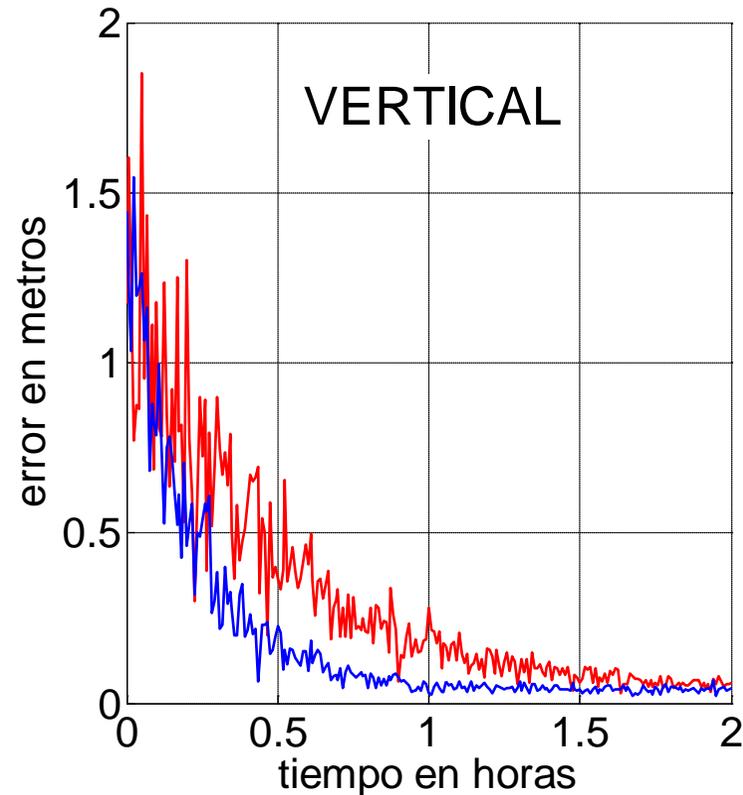
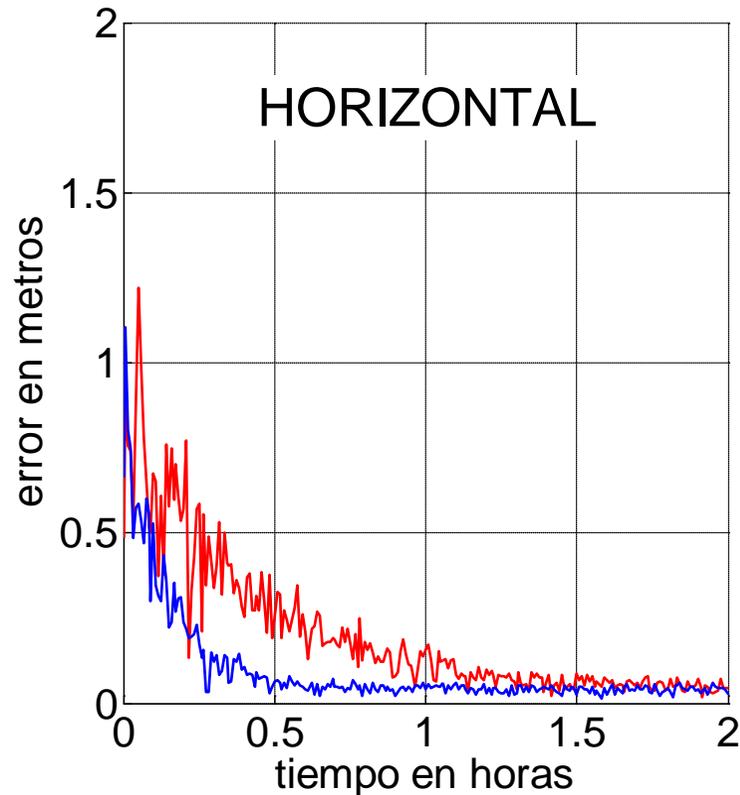
Un conjunto seleccionado de parámetros (~25.000 por día) se ajustan mediante la asimilación de observaciones GPS terrestres y espaciales usando un filtro Kalman.

Brunini et al (2011) Ground- and space-based GPS data ingestion into the SIRGAS model, *Journal of Geodesy*, doi 10.1007/s00190-011-0452-4.

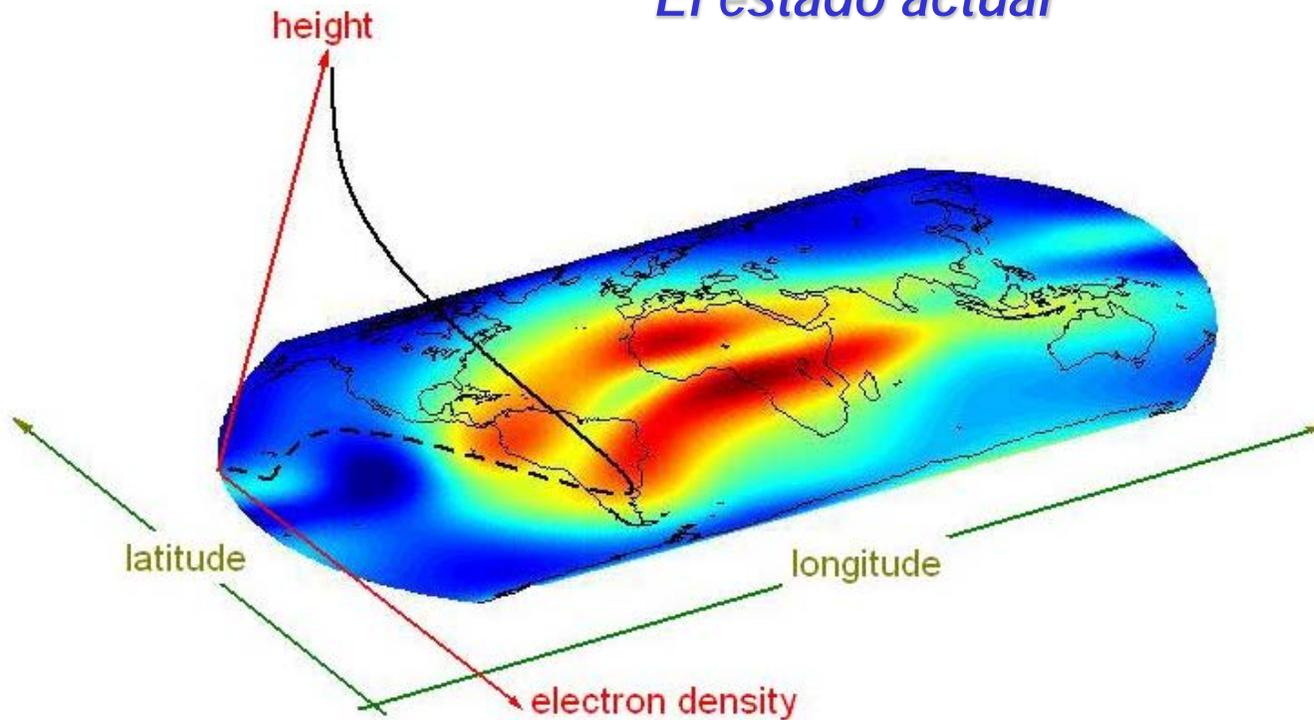
Mejoras del método RT-PPP usando los mapas ionosféricos de SIRGAS

En la Reunión SIRGAS 2011 (Heredia, Costa Rica, 8 al 10 de agosto de 2011) se mostraba la posibilidad de utilizar los mapas ionosférico regionales de SIRGAS en combinación con las órbitas y relojes ultra-rápidos del IGS, para reducir el tiempo de convergencia de las soluciones RT-PPP.

El tiempo necesario para lograr una exactitud mejor que 10 cm en las componentes horizontales se redujo de 70 a 25 minutos y de 100 a 35 minutos para la componente vertical.



El estado actual



En la Reunión SIRGAS 2012 (Concepción, Chile, 29 al 31 de octubre de 2012) se presentaban el modelo que utiliza SIRGAS en la actualidad.

Para una longitud y latitud determinada, a un tiempo determinado, el perfil vertical está 'anclado' a los parámetros del pico F2 en ese lugar y en ese momento.

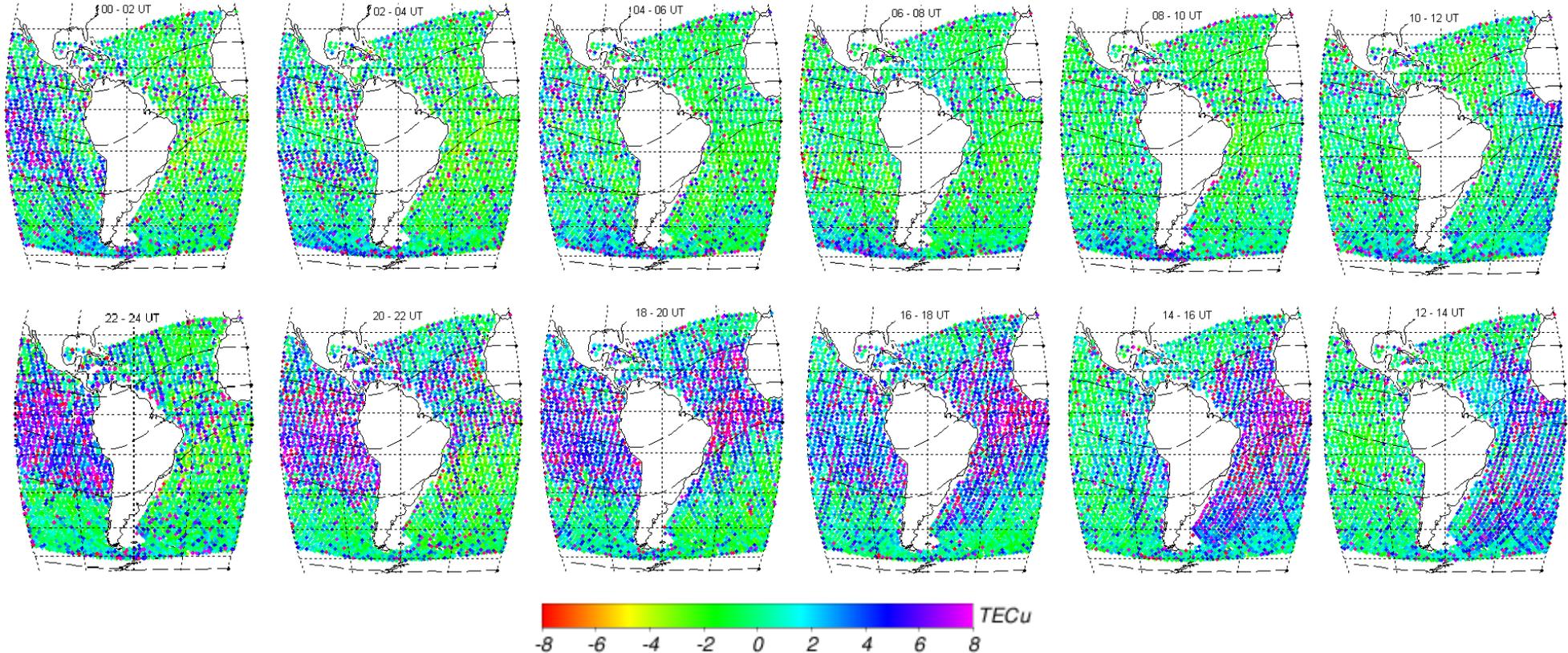
La variación de los parámetros del pico F2 con la longitud y la latitud se modela mediante *colocación por mínimos cuadrados*:

- ✓ para $h_m F2$ se construyen mapas medios mensuales en intervalos de 2^h (12 mapas por mes) usando las mediciones COSMIC;
- ✓ para $N_m F2$ se construyen mapas diarios en intervalos de 2^h (12 mapas por día) usando las mediciones SIRGAS-CON.

Validación

Un año completo (2011) de comparaciones entre el TEC vertical calculado con LPIM y estimado por la misión Jason:

- ✓ Diferencia sistemática SIRGAS – Jason = -1.3 TECu
- ✓ 95% de las diferencias dentro de -1.3 / +6.8 TECu



Conclusiones

Los mapas ionosférico regionales de SIRGAS han evolucionado permanentemente, mejorando y diferenciándose de otros productos similares ofrecidos por la comunidad geodésica internacional (ej.: GIM del IGS).

El modelo empírico simple utilizado para obtener representaciones tomográficas de la distribución espacial del vTEC y de su variabilidad temporal se ha transformado en un modelo semianalítico que permite obtener una representación no-tomográfica de la distribución espacial de la ED y de su variabilidad temporal basándose en:

- ✓ una representación física de los procesos que ocurren en las diferentes regiones ionosféricas (modelo Chapman),*
- ✓ una representación empírica de los principales parámetros que las caracterizan (recomendaciones ITU); y*
- ✓ una técnica sofisticada de asimilación de datos GPS terrestres y espaciales (filtro Kalman).*

SIRGAS avanzará hacia la formulación de un modelo ionosférico basado exclusivamente en principios físicos fundamentales y en la asimilación de datos de la geodesia espacial.

Aplicaciones del modelo ionosferico de SIRGAS

Desde 2004 a los desarrolladores del modelo han publicado 19 trabajos relacionados con el desarrollo en revistas indizadas de circulación internacional; esos trabajos han sido citados en 58 oportunidades (SCOPUS).

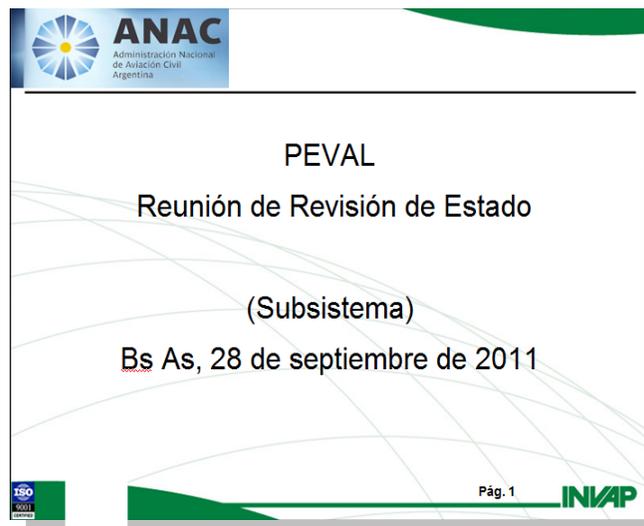
También han realizado 42 presentaciones en reuniones científicas internacionales.

Se tiene constancia de 12 trabajos publicados y 17 presentaciones en congresos realizados por otros autores (Argentina, Brasil, Italia y USA) que utilizan los mapas SIRGAS.



2006 – 2007: *Estudio de factibilidad para un SBAS argentino; Secretaría de Comunicaciones de la Nación (Argentina).*

2007 – 2008: *Estudio ionosfericos para un SBAS en América Latina y el Caribe; Organización de Aviación Civil Internacional.*



2009 – 2010: *Generación de escenarios ionosfericos para el sistema SAACSA; GMV (España).*

Desde 2011: *desarrollo de un Prototipo de Ensayos de Vuelos Aumentados Localmente; INVAP (Argentina)*



EDICION =	A =						
FECHA =	16/03/07 =						

	DIRECCION EJECUTIVA Y TECNICA	DET-GNS - RP - 00100 - A PAGINAS: 16 FECHA: 16/03/07
---	--	--

	NOMBRE =	CARGO =	FIRMA =	FECHA =
GENERADO POR =	Osvaldo Peraldo =			15-03-07 =
REVISADO POR =	Oscar Ignazi =			16-03-07 =
APROBADO POR =	Alberto Ridner =			19-03-07 =

Tabla de contenidos:

- 1.0 INTRODUCCION: 1
- 1.1 Antecedentes: 1
- 1.2 Consideraciones Generales: 1
- 2.0 ANALISIS DE LOS CAPITULOS: 3
- 3.0 OBSERVACIONES: 3
- 4.0 RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS DE CONAE: 16
- 5.0 CONCLUSIONES: 18

2013 – 2015: Implementación de un sistema de navegación precisa para SAR aero-transportado; Comisión de Actividades Espaciales Estudio de factibilidad (Argentina).