

# **“Un Marco de Referencia Nacional basado en la red de estaciones permanentes GNSS”**

*Mateo, María Laura (\*) (\*\*); Mackern, María Virginia (\*\*, \*\*\*); Robin, Ana María (\*); Calori, Andrea (\*\*);*

*(\*) IANIGLA – CONICET – CCT Mendoza  
(\*\*) Instituto de Geodesia y Geodinámica. UNCuyo  
(\*\*\*) Facultad de Ingeniería – Universidad Juan A. Maza*

[lmateo@conicet-mendoza.gov.ar](mailto:lmateo@conicet-mendoza.gov.ar); [vmackern@conicet-mendoza.gov.ar](mailto:vmackern@conicet-mendoza.gov.ar);  
[amrobin@conicet-mendoza.gov.ar](mailto:amrobin@conicet-mendoza.gov.ar); [acalori@conicet-mendoza.gov.ar](mailto:acalori@conicet-mendoza.gov.ar)

## **Resumen**

La red de estaciones permanentes en Argentina ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a la colaboración de instituciones públicas que con gran esfuerzo humano han instalado, mantenido y actualizado, tanto la estructura de la estación permanente GNSS como la permanencia y disponibilidad de los datos que estas recopilan.

Sin embargo existe una discordancia en las coordenadas que cada institución publica para cada estación de medición continua. Esto se debe a que si bien Argentina cuenta con un marco de referencia geodésico oficial global (POSGAR94), el mismo fue medido entre 1993 y 1994 época en la cual sólo existían 2 de las 20 EP actuales. Dicho Marco de referencia materializa WGS84 por lo cual hoy frente a las sucesivas soluciones del IERS resultaría inexacta su utilización. Frente a este inconveniente nace la iniciativa desde el centro de procesamiento local de la red SIRGAS (CIMA-IGG) de generar un marco geocéntrico para Argentina vinculado a la red SIRGAS-CON. El mismo incluye tanto a las estaciones GNSS de medición continua que ya pertenecen a dicha red como aquellas que servirán como densificación. Aumentando así la existencia de puntos SIRGAS dentro del territorio nacional y estableciendo un marco único, geocéntrico, preciso y actualizado para la Argentina.

La definición de este marco geocéntrico beneficiará a instituciones públicas, privadas y profesionales que realizan actividades que requieren georreferenciación de precisión. Los cuales podrán utilizar indistintamente estaciones GNSS interprovinciales y hasta internacionales, en función de su necesidad, ya que las mismas contarán con coordenadas en un mismo sistema de referencia.

En este trabajo se muestra la metodología empleada para el cálculo de este marco de referencia, los resultados obtenidos, y la descripción de una metodología de implementación.

## **Introducción**

Los sistemas de referencia fueron materializados a lo largo del tiempo por redes geodésicas pasivas. Estas redes se median en forma muy precisa con técnicas tradicionales, determinando muy buenas coordenadas de los puntos en sistemas locales. Con estas técnicas de medición la densificación de sistemas de referencia globales se dificultaba ya que las campañas, el procesamiento y ajuste de las mismas era un proceso laborioso y lento, lo que elevaba los costos y tiempos de ejecución. Con la implementación de la tecnología GPS estos tiempos se

Hoy en día la densificación de marcos de referencia por medio de redes pasivas tiende a disminuir y hasta desaparecer ya que su mantenimiento produce un alto costo económico y la necesidad de contar con gran cantidad de personal especializado.

## Red de Estaciones Permanentes GNSS Argentina



El problema principal que presentan las estaciones permanentes es que no cuenta con coordenadas actualizadas a la demanda presente por ser la mayoría de estas estaciones instaladas posteriormente al cálculo de la red oficial de la República Argentina (POSGAR 94). Además muchas provincias adoptaron marcos de referencia distintos, según la necesidad que cada una de ellas requería, para sus relevamientos cartográficos y catastrales. De este modo no existe unanimidad en el marco de referencia Nacional.

procesamiento oficial de la red SIRGAS en Argentina (CIMA-IGG). Definiendo de esta manera un Marco único, geocéntrico, preciso y actualizado para la Argentina que densificase a SIRGAS dentro del territorio Nacional

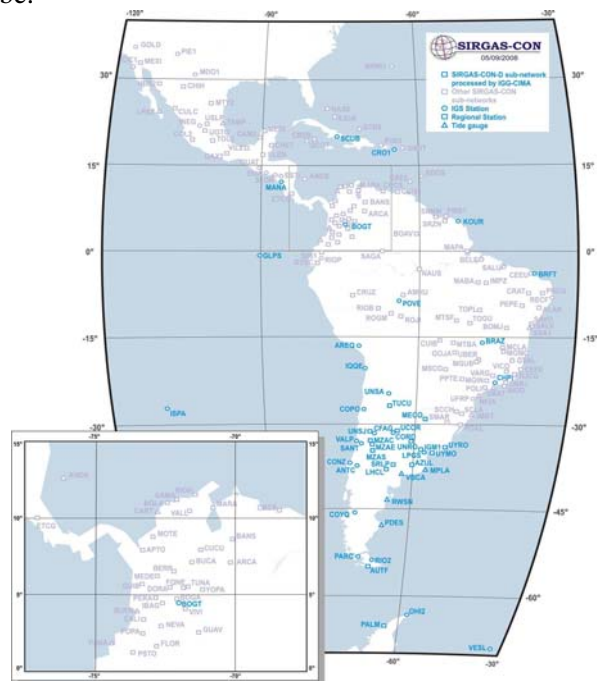
## 2

SIRGAS (Sistema de referencia Geocéntrico para las Américas) es un proyecto que nace con la iniciativa de densificar el Marco de Referencia Internacional (ITRF) en América de Sur, más adelante se suman América Central y el Caribe.

Esta red cuenta con un centro de procesamiento oficial en la República Argentina, el mismo tiene lugar físico en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo provincia de Mendoza. En él se procesan semanalmente un gran numero de observaciones GNSS correspondientes a la red de estaciones permanentes. Estas son las ubicadas en los siguientes países: Argentina, Bolivia, Chile, Paraguay Uruguay, además de aquellas que pertenecen a la red IGS (figura 2).

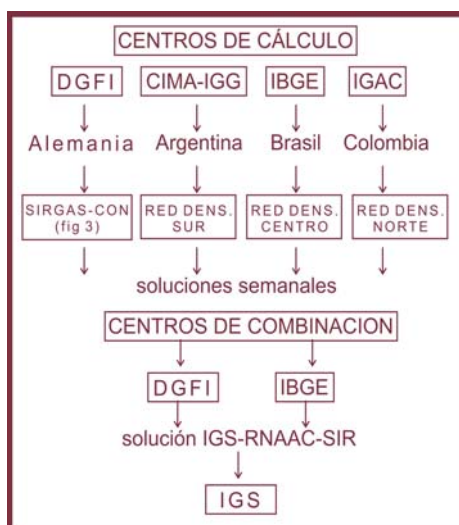
Las soluciones semanales generadas en el centro de procesamiento CIMA-IGG son enviada a uno de los centro de combinación, donde junto a las otras tres soluciones (IBGE-Brasil, INEGI-Colombia y DGFI-Alemania) conforman una única solución a la red. (figura 3).

Anualmente estas soluciones semanales son combinadas por el centro de combinación (DGFI) para generar un único grupo de coordenadas y velocidades de la red SIRGAS en el marco de referencia geocéntrico ITRF. Las mismas son publicadas por el DGFI en la página web del Proyecto SIRGAS ([www.sirgas.org](http://www.sirgas.org)).



**Figura 2. Red SIRGAS-CON-SUR**

## Metodología de cálculo



**Figura 3. Esquema de análisis y procesamiento Red SIRGAS**

Cada centro de procesamiento perteneciente al proyecto SIRGAS debe cumplir con la metodología, requisitos y condiciones que periódicamente se establecen en las reuniones de trabajo del Grupo I del mencionado proyecto. Actualmente se deben cumplimentar requisitos mínimos los cuales hacen que todas las ecuaciones normales generadas en los distintos centros sean compatibles para su posterior combinación. CIMA-IGG cumple con ellos de manera que se obtienen buenos resultados totalmente comparables con los generados en DGFI (Alemania). Los mismos pueden verificarse en los gráficos que adelante se detallan (figura 4).

La metodología propuesta desde el centro de procesamiento es la de generar soluciones vinculadas al marco de referencia ITRF más actualizado, existente

a la fecha de medición, además de las generadas semanalmente como red libre. Con ello se contará con un sistema de referencia único para Argentina y lo mas moderno y preciso posible.

## Análisis de Resultados

### Calidad de las soluciones obtenidas por el centro de procesamiento CIMA-IGG

Los siguientes gráficos (figura 4) muestran la calidad de las soluciones producidas por el centro de procesamiento en los últimos dos años. La misma es una comparación entre las soluciones semanales de IGG-CIMA y las soluciones semanales de DGFI-Alemania, luego de una transformación de similaridad donde se eliminan todos los efectos sistemáticos. Cabe destacar que los resultados obtenidos hasta la semana 1478 se refieren al periodo de prueba, luego de esta fecha, el centro fue reconocido como oficial debido a la alta calidad de las soluciones mostradas en la reunión de trabajo del Grupo I, realizada en Mayo de 2008 en Montevideo – Uruguay.

Podemos expresar estos resultados diciendo que la red calculada por CIMA\_IGG presenta una exactitud de 2.5 mm el horizontal y 4.5 mm en vertical. Ya que las diferencia encontradas entre las dos soluciones, luego de una transformación de similaridad no superan estos valores.

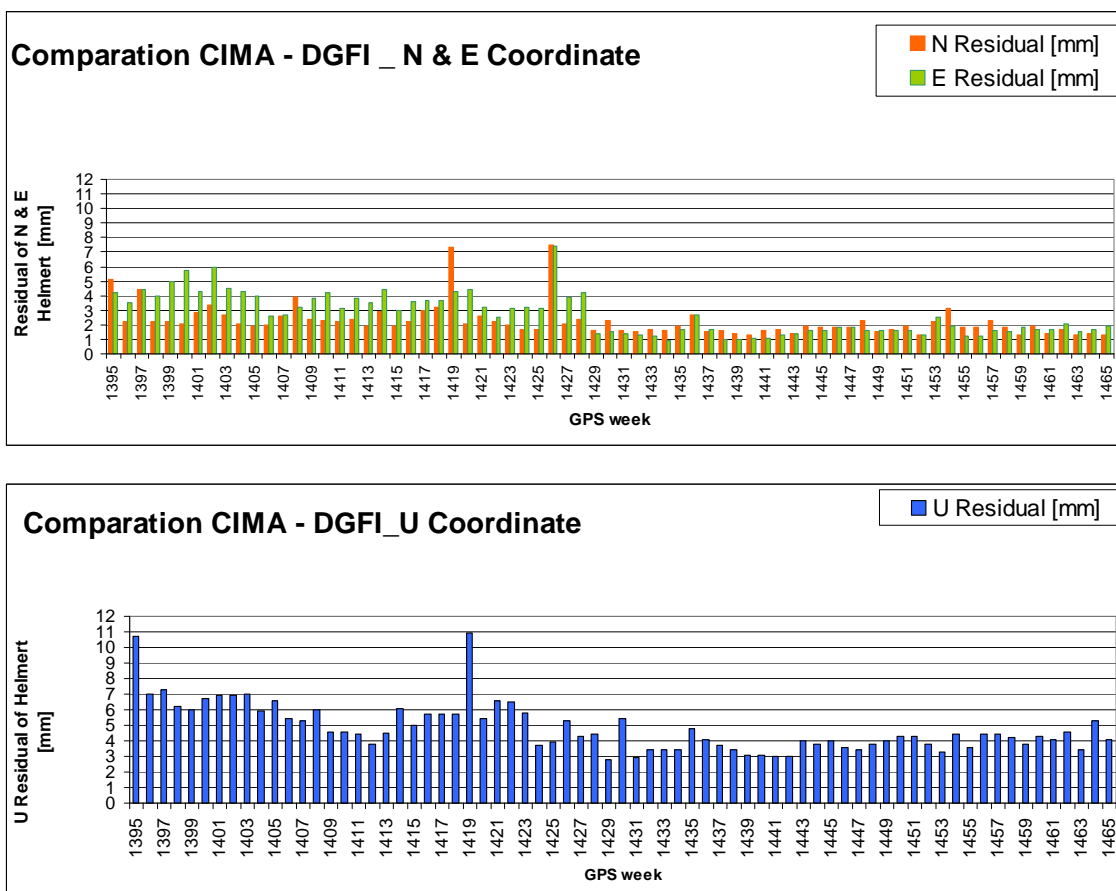
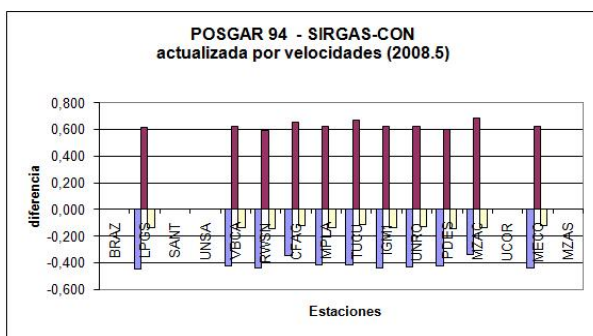
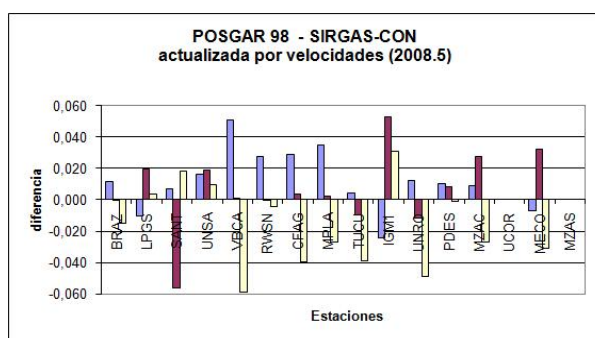


Fig. 4. Comparación CIMA-IGG vs DGI, luego de una transformación de similaridad

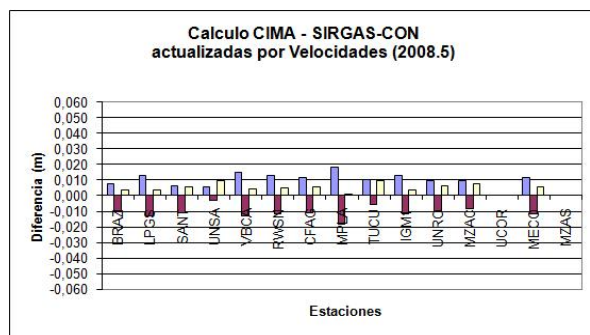
## Comparación entre los marcos de referencia (PGAR94, PGAR98 y CIMA-IGG)



**Figura 5**



**Figura 6**



**Figura 7**

presenta una exactitud de  $\pm 0.005$  m. y una precisión relativa de  $\pm 0.004$  m. (figura 7)

Frente a la co-existencia mayoritaria en las distintas provincias argentinas, de dos marcos de referencia: PGAR94 y PGAR98, se hizo un análisis de la precisión que adoptaría la red si se efectuase un ajuste de la misma a cada uno de ellos. El objeto fue evaluar la factibilidad de adoptarlos o no como marco de control.

Para comparar las precisiones y exactitudes con respecto a ITRF 2005, se tomó como marco patrón al obtenido por SIRGAS (precisión planimétrica 2,5 mm y altimétrica 4 mm). Los gráficos 5, 6 y 7 muestran las diferencias obtenidas. Las mismas se llevaron a cabo realizando diferencia de coordenadas sin eliminar efectos sistemáticos, es decir es una comparación coordinada a coordinada.

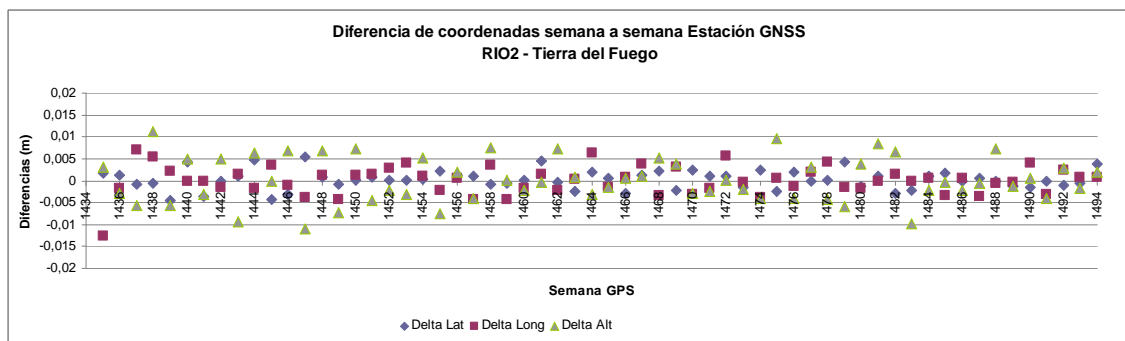
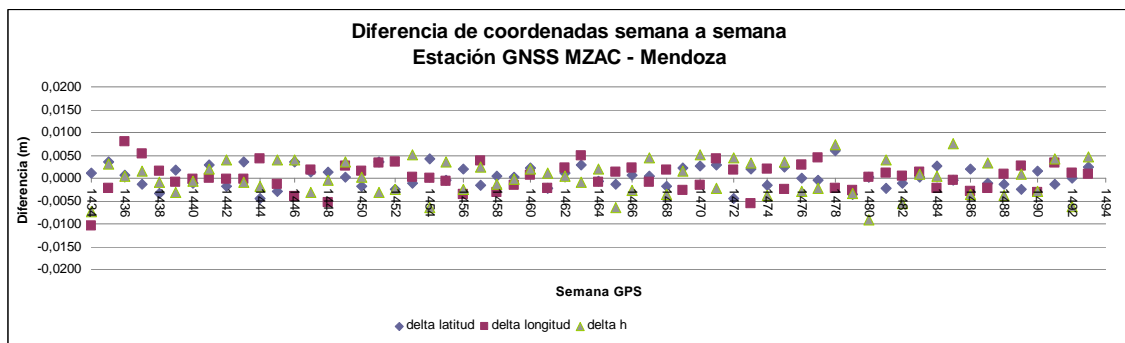
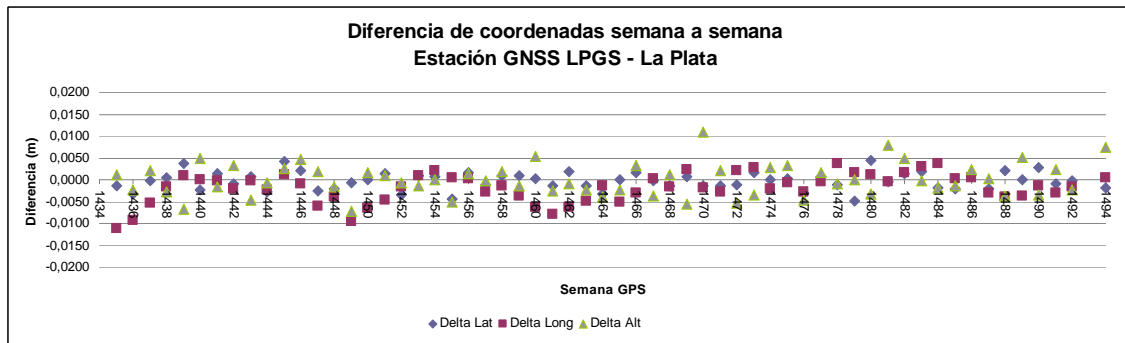
- El marco POSGAR 94 presenta una exactitud de  $\pm 0.50$  m. y una precisión relativa de  $\pm 0.10$  m. (figura 5)
- El marco POSGAR 98 presenta una exactitud de  $\pm 0.05$  m. y una precisión relativa de  $\pm 0.02$  m. (figura 6)
- La solución CIMA-IGG

Es notorio de concluir que ninguno de los dos marcos POSGAR cumplen con la precisión requerida para una red de primer orden. La figura 7 evidencia las precisiones subcentimétricas del marco de referencia calculado por CIMA bajo los requerimientos de SIRGAS y fundamenta la propuesta de adoptarlo como marco de referencia para la red de EP GNSS argentina.

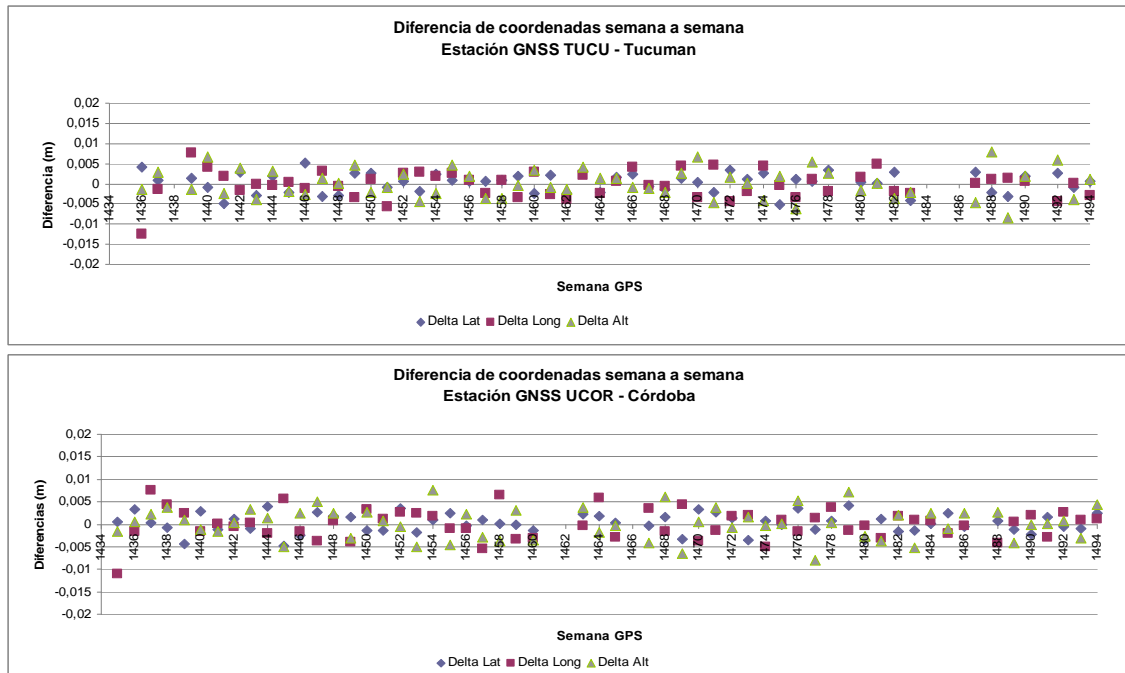
## Variabilidad Semanal de las coordenadas

Se realizó el seguimiento de las coordenadas de cada estación de la red semana a semana para analizar la variabilidad que presenta cada una de ellas. Los gráficos siguientes muestran las diferencias obtenidas tanto en latitud, longitud y altura para cada estación de medición continua.

De un total de 19 estaciones se eligieron 5 de las más representativas, ubicadas en distintas zonas de la red. LPGS ubicada al este, MZAC al oeste, RIO2 al sur, TUCU al norte y UCOR al centro. Los gráficos respectivos se analizan a continuación.







(figura 8)

Se deduce que la diferencia en la coordenada semanal se encuentra dentro de los 0.005 m promedio (figura 8). Esto indica que la diferencia de coordenada semana a semana es mínima. Lo cual implica que no es necesario generar una coordenada semanal. Este resultado nos llevó a analizar los que sucedería si la solución fuese de un periodo mayor.

El mismo análisis se realizó para el total de la red, obteniéndose los siguientes resultados que resumen las variabilidades analizadas:

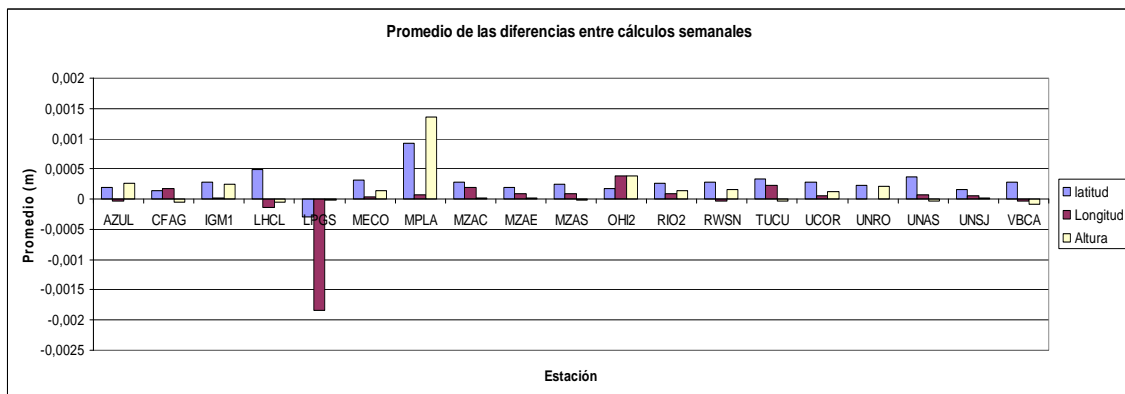
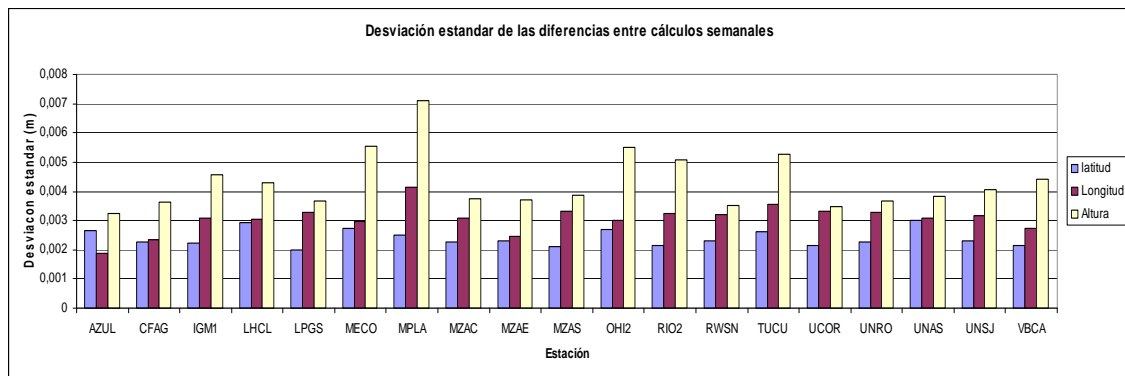


Figura 9

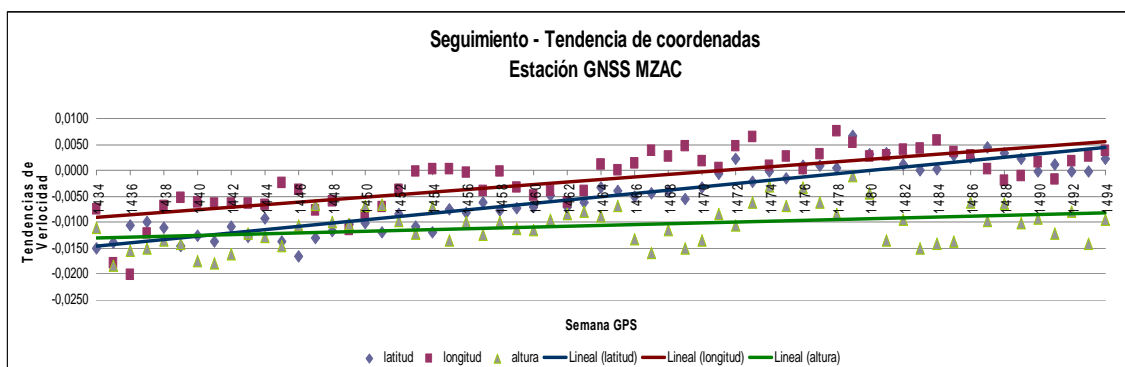
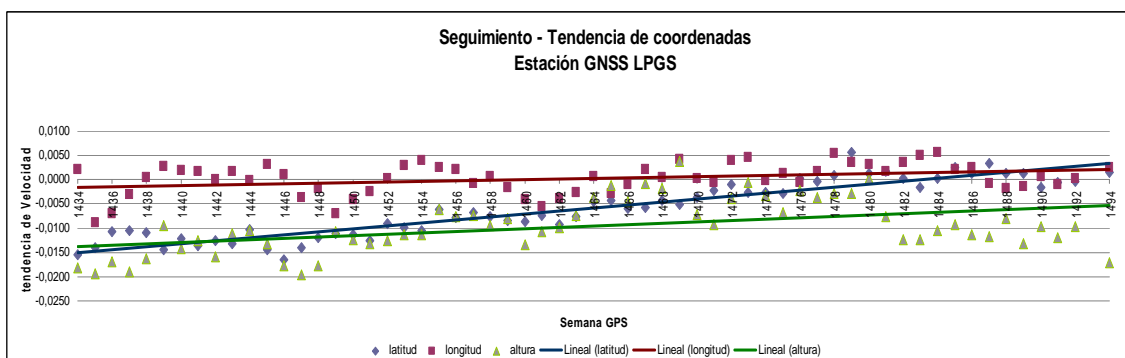


**Figura 10**

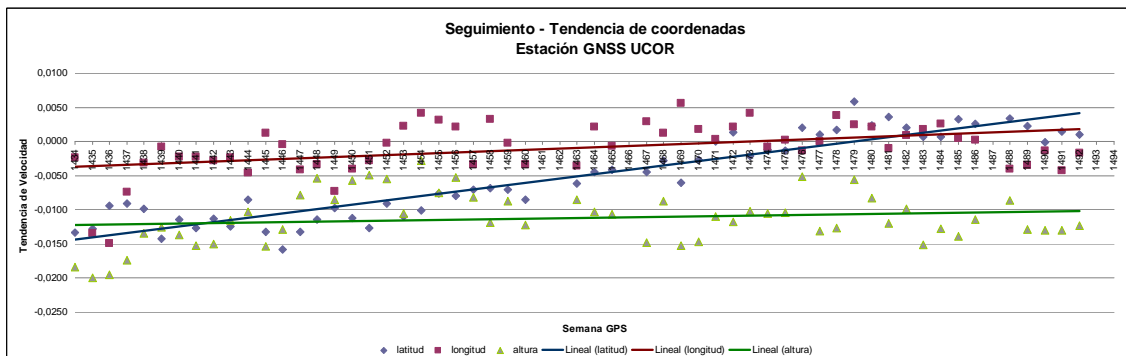
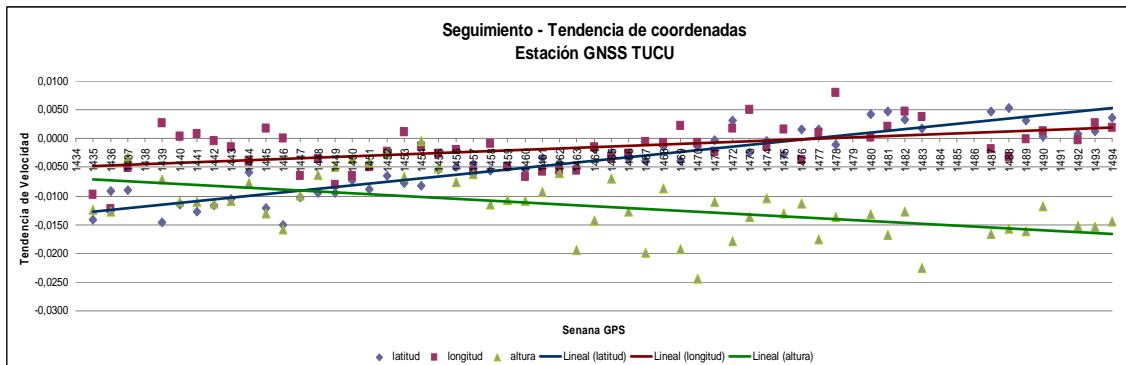
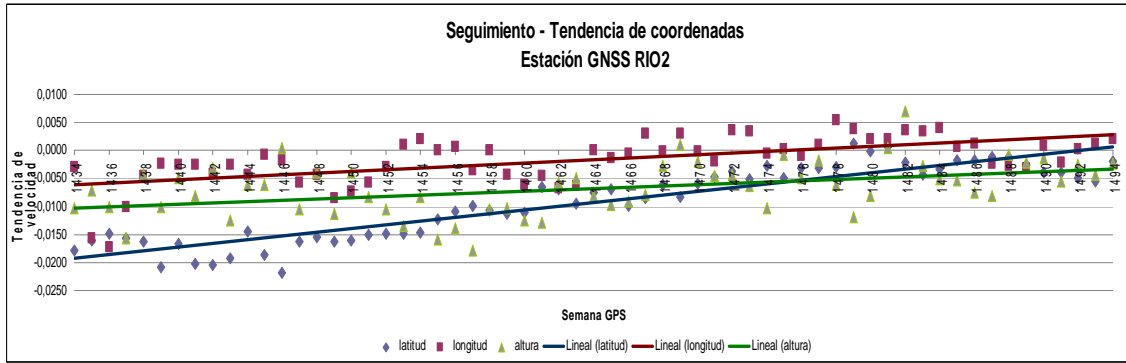
La figura nº 9 y 10 resume los gráficos de variabilidad. En ella observamos el promedio en cada estación y la variación estándar que presenta cada estación de medición continua respecto a la media. Como puede observarse estos valores son considerablemente pequeños, siendo el promedio menos a 0.002 m y la desviación estándar menor a 0.004 m en planimetría y menor a 0.007 m en altura.

### Seguimiento de coordenadas – Líneas de tendencia

Analizamos las diferencias obtenidas entre cada solución semanal y una solución acumulada anual, donde además se pudieron observar algunas tendencias de variación de coordenadas (figura 11), lo que más adelante con mayor intervalo de información se traducirá en velocidades de desplazamiento (figura 11).







(figura 11)

Al igual que en el apartado de variabilidad semanal se eligieron las mismas 5 estaciones de medición continua.

## Conclusiones

Como puede observarse en los gráficos anteriores las soluciones obtenidas por el centro de procesamiento CIMA-IGG son de alta calidad. Esto llevó a definir en el “VI Taller Nacional de Estaciones Permanentes – Tucumán 2008”, que las coordenadas que unificarían a la red de Estaciones Permanentes Argentina estarían calculadas por el centro de procesamiento oficial de la red SIRGAS en Argentina (CIMA-IGG). Materializando de esta manera un Marco único, geocéntrico, preciso y actualizado para la Argentina que densificase a SIRGAS dentro del territorio Nacional.

Del análisis de las figuras N° 9 se observa la necesidad de mantener el marco actualizado en el tiempo. Por lo tanto se analizó la variabilidad que presentan las soluciones semanales.

Encontrándose esta dentro de los 5 mm, se decidió publicar una solución (coordenadas y velocidades) que será actualizada semestralmente. Dentro de este período las coordenadas podrán ser actualizadas a la época de medición a través de las velocidades estimadas por este centro y en el mismo marco de referencia.

Debido a lo expresado en el párrafo anterior una nueva estación tendrá coordenadas provisionales luego de un pequeño período de observación. Y será procesada y evaluada durante un lapso de seis meses, pasado este tiempo la nueva Estación GNSS contará con coordenadas precisas, y formará parte de la densificación de la Red SIRGAS en Argentina.

## Referencias

- Lenzano, Luis E. “*Marco Geodésico de la Provincia de Mendoza .Ajuste Libre y Vinculado de la Red Geodésica en POSGAR98. Método de Diagonalización a partir de Matrices Simétricas mediante el Software MATLAB. Comparación de resultados entre el Ajuste con Software MATLAB y FILLNET.* AAGG2004. Buenos Aires. 2004.
- Boucher C., Z. Altamimi, P. Sillard, The 1997 **International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)**, IERS Paris, Technical Note No.27, 1999.
- Mackern M.V., *Materialización de un sistema de referencia geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS.* Tesis doctoral. Facultad de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. UN de Catamarca. 2003.
- Mackern M.V., *Redes de estaciones permanentes gps. Una respuesta al problema de materializar el sistema de referencia terrestre .* Academia Nacional de Ingeniería. Premio Baglietto 2004. Bs.As. 2005
- Moirano J., *Materialización del Sistema de Referencia Terrestre mediante observaciones GPS.* Tesis doctoral. FCAG. UNLP. 2000.