



La Red Gns Continua, el Mejor Marco de Referencia Frente a los Procesos Geodinámicos

**M.F. Camisay(1,3); M.V. Mackern(1,4); C. Milone(1);
V. Gilisto (1); M. L. Mateo(2,3) y A. Calori(3,4).**

(1)Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza.

(2) Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales

(3)Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza.

(4)Fac. de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. fcamisay@conicet.gov.ar

Resumen

La implementación de un marco de referencia geocéntrico, basado en la red argentina de estaciones GNSS continuas ha sido el objetivo principal del proyecto que este grupo de investigación desarrolla en la Universidad Juan A. Maza. Investigadores y becarios han trabajado en colaboración con el Centro de Procesamiento CIMA, dependiente de la Universidad Nacional de Cuyo, calculando desde el 2007 la red de monitoreo continuo de Argentina en el marco del Proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). El proyecto SIRGAS, provee coordenadas de referencia para aplicaciones prácticas como proyectos de ingeniería, administración digital de información geográfica, infraestructuras de datos espaciales, etc. y ha resultado por sobre todo, una plataforma exitosa para aplicaciones científicas permitiendo la estimación de deformaciones de la corteza terrestre, ya que si bien es uno de los marcos de referencia más utilizados en el continente americano, se destaca por densificar en América Latina el Marco de Referencia Global con alta precisión.

El proyecto que se lleva a cabo tiene como objetivo describir la infraestructura necesaria y óptima de una red GNSS continua como marco de referencia nacional. Se ha abocado a realizar experiencias de aplicación comprobando la hipótesis de que tales redes activas resultan en el mejor marco de referencia haciendo hincapié en su mantenimiento en el tiempo. En el marco de dicho proyecto se ha asesorado a profesionales del área de las Geomáticas dentro del país y de países latinoamericanos sobre la implementación, administración y mantenimiento de dichos marcos activos. Dentro de la evolución misma del proyecto sucedió un fenómeno natural extremo que permitió

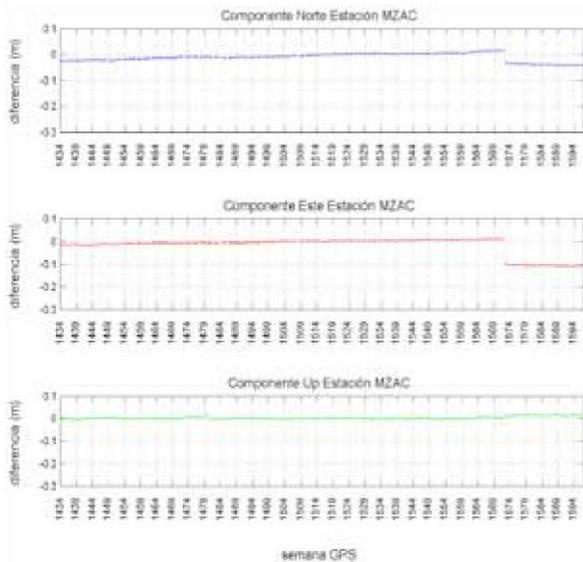
remarcar los beneficios de dichos marcos activos. El 27 de febrero de 2010, un fuerte terremoto, de magnitud 8.8 en la escala de Richter, estremeció la región occidental de Chile. Sin duda este evento de tal magnitud nos llevó a investigar sobre los desplazamientos producidos en la corteza terrestre de la región y a analizar la influencia que estos ocasionarían sobre los marcos de referencia adoptados por la comunidad.

Con el objeto de estimar las deformaciones producidas en la región central de Argentina y Chile se trabajó a partir del análisis de las soluciones generadas por SIRGAS. Se centró el estudio en las estaciones cercanas al epicentro. En este trabajo se muestran los resultados encontrados respecto a la tendencia de desplazamiento que mostraban las estaciones permanentes analizadas antes del sismo, el cambio abrupto en las coordenadas de las mismas, motivo del terremoto y los desplazamientos observados en los meses posteriores. Por último se evalúa el impacto que estos desplazamientos produjeron sobre la georreferenciación regional, considerando que este fenómeno provocó cambios en la posición de las estaciones GNSS permanentes a lo largo y ancho de ambos países.

Se concluye en la trascendencia de los marcos activos que permiten su monitoreo y actualización permanente por sobre los marcos pasivos.

Introducción

El desarrollo de las regiones y países está asociado a su territorio y a las riquezas que sobre el mismo existen. La Planificación urbana y el cuidado del medio ambiente, dos aspectos que hoy son fundamentales en el desarrollo de las micro y macrorregiones, necesitan de la georreferenciación de los atributos que sobre el suelo se encuentran y surge de inmediato la necesidad de contar



con las coordenadas de puntos y la confección de cartografía que permita con precisión planificar sobre una base amplia, compatible a distintos países y regiones. En respuesta a este requerimiento surgió el proyecto SIRGAS en el año 1994, con el objeto de ofrecer un marco de referencia unificado para todos los países de América del Sur. Luego en el año 2000 se sumaron América central, el Caribe y América del Norte. Desde entonces la comunidad científica de los países latinoamericanos que participan en el proyecto se ha preocupado por mantener dicho marco en el tiempo y densificarlo en cada nación.

Argentina ha participado activamente en el proyecto, desde la primera campaña realizada en mayo de 1995 hasta la fecha. Se han sumado más de 20 estaciones GNSS continuas ubicadas en el país, se ha capacitado recurso humano y se trabaja activamente en el cálculo semanal del marco de referencia a través del Centro de procesamiento oficial CIMA (Centro de Ingeniería Mendoza Argentina) coordinado por la Dra. M.V. Mackern directora de este proyecto. En el mismo participan todos los investigadores y becarios del proyecto. CIMA tiene a cargo el procesamiento semanal de una de las tres subredes de densificación de SIRGAS la Red de densificación SUR, [Mackern et al, 2009]. A partir del cálculo semanal es posible conocer la tendencia de desplazamiento de las estaciones continuas y monitorear movimientos anómalos, como lo fue el causado por el terremoto mencionado.

En zonas de deformación geodinámica como la afectada por este terremoto es fundamental asegurar el mantenimiento del marco de referencia lo cual es posible a partir del conocimiento de las coordenadas semanales de las estaciones continuas que conforman el mismo.

Material y método

Con el objeto de estimar las deformaciones de la corteza provocadas por el terremoto se trabajó a partir de las coordenadas semanales, ajustadas al Marco de Referencia Internacional ITRF2005, generadas por SIRGAS.

Se graficaron las series temporales (Fig.1), variación de las coordenadas respecto de una época media, desde el año 2007 hasta la fecha, de las estaciones GNSS más cercanas al epicentro. Se trabajó en la automatización del proceso de cálculo de las series temporales, lo cual fue un gran avance para el proyecto ya que permitirá **Figura 1: Series Temporales 2007-2010** poder analizar cualquier situación futura con un mínimo de tiempo y esfuerzo. Esto fue posible gracias a la incorporación de un becario de la Lic. en Informática.

En estas tareas se trabajó con Python, lenguaje de programación de licencia libre (OSI-approved open source license). Para graficar se utilizó el software de licencia libre GMT.

Confeccionadas las series temporales, se estimó la tendencia de desplazamiento (velocidad) de cada estación previa al terremoto y posterior al mismo. Luego se calculó el cambio abrupto en cada una de las coordenadas, causado por el terremoto. Estos cálculos se contrastaron con la solución multianual de SIRGAS, SIR0901, [Drewes, 2009] [Seemüller, 2009] y con el informe de SIRGAS posterior al terremoto [Sánchez et al, 2010].

Finalmente, se hizo un análisis de las consecuencias que estos cambios producirían sobre los marcos de referencia en la región. Para esto se estimó el error que un usuario cometería al utilizar para sus trabajos de georreferenciación, las coordenadas oficiales de los marcos de referencia vigentes de la región.

Puntualmente se analizaron las coordenadas de las estaciones LPGA, CFAG, MZAC y SANT, comparando con las coordenadas resultantes del procesamiento semanal de SIRGAS (considerado el marco más exacto) con respecto a 3 grupos de coordenadas de referencia:

- 1) las coordenadas SIR09P01 (última solución multianual de SIRGAS), actualizadas por velocidades al día anterior al terremoto
- 2) las mismas SIR09P01, actualizadas por velocidades al día posterior al terremoto, notando la inconsistencia de aplicar velocidades lineales a un movimiento anómalo.
- 3) las coordenadas de POSGAR 2007, marco de referencia oficial del país.

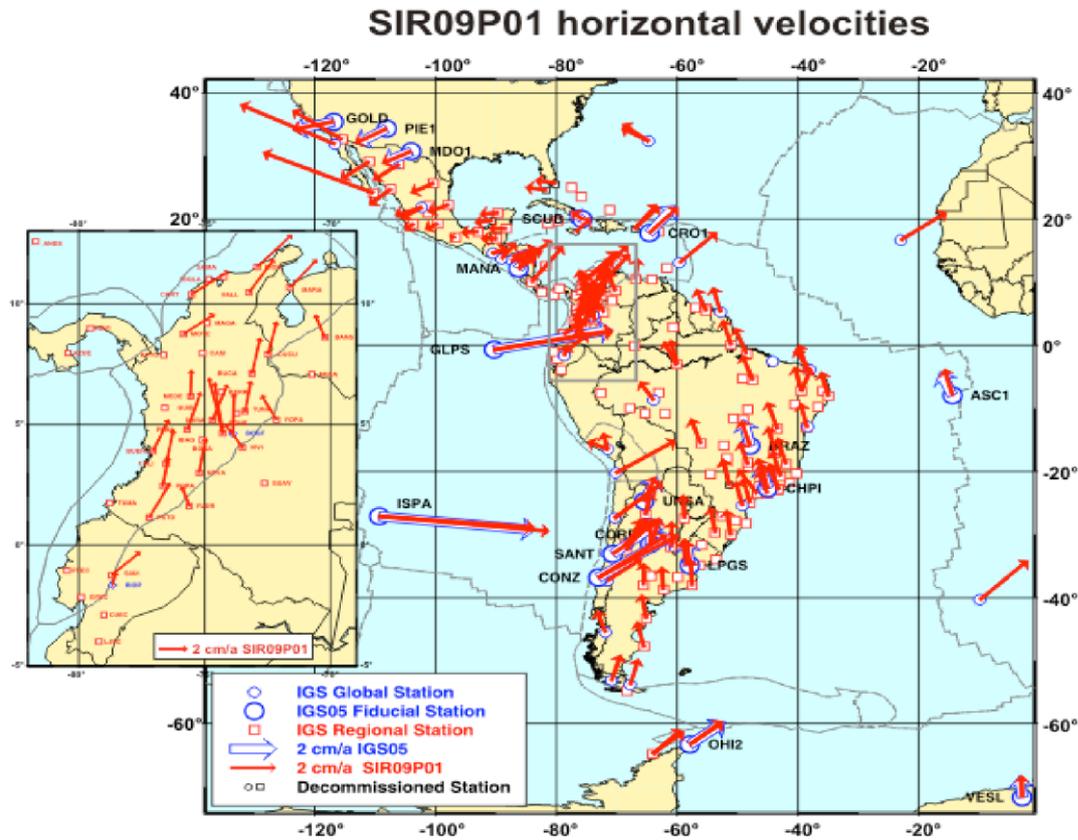
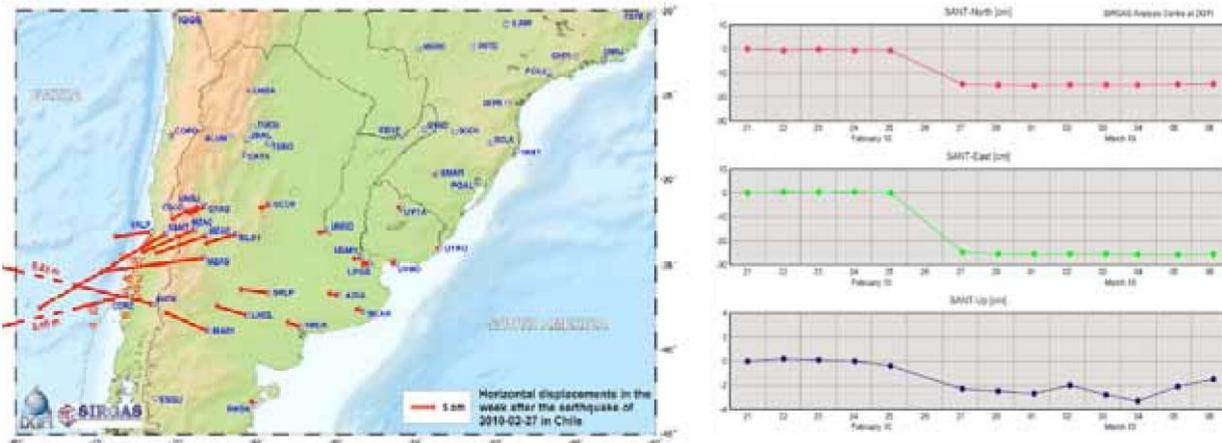


Figura 2: Velocidades calculadas por SIRGAS

Figura 3: Desplazamientos ocasionados por el Terremoto de Chile-2010. [Sánchez et al, 2010]



Resultados:

- Se constataron en las estaciones estudiadas, que para el período anterior al terremoto, las tendencias de desplazamiento eran menores a 3 cm/año con dirección SO-NE (Tabla 1) conforme a las velocidades calculadas por SIRGAS (Fig. 2). [Sánchez et al, 2009].
- Los desplazamientos instantáneos producto del sismo, arrojaron valores máximos del orden de 3 metros en las estaciones cercanas al epicentro (CONZ) y entre 10 y 20 cm en la región de Cuyo, cambiando su orientación (Fig. 3) y se observó una tendencia de desplazamiento

post-sísmica diferente a la estimada para el período previo. • Del análisis de la influencia que tales desplazamientos tuvieron sobre las coordenadas de los marcos de referencia utilizados en la región (Fig. 4), se concluyó que:
 -de utilizar coordenadas del marco SIR09P01 actualizadas por velocidades, se cometería un error de entre 2 y 5 cm en zonas de menor desplazamiento, hasta decenas de cm según su ubicación, siendo aún mayor el error si se pretende actualizar las coordenadas a fechas posteriores al 27 de febrero del 2010.

-de utilizar POSGAR 07 (Marco oficial), se introduciría un error similar, entre 4 y 22 cm, según la ubicación.

Bibliografía

Drewes, H., O. Heidbach. (2009). The 2009 horizontal

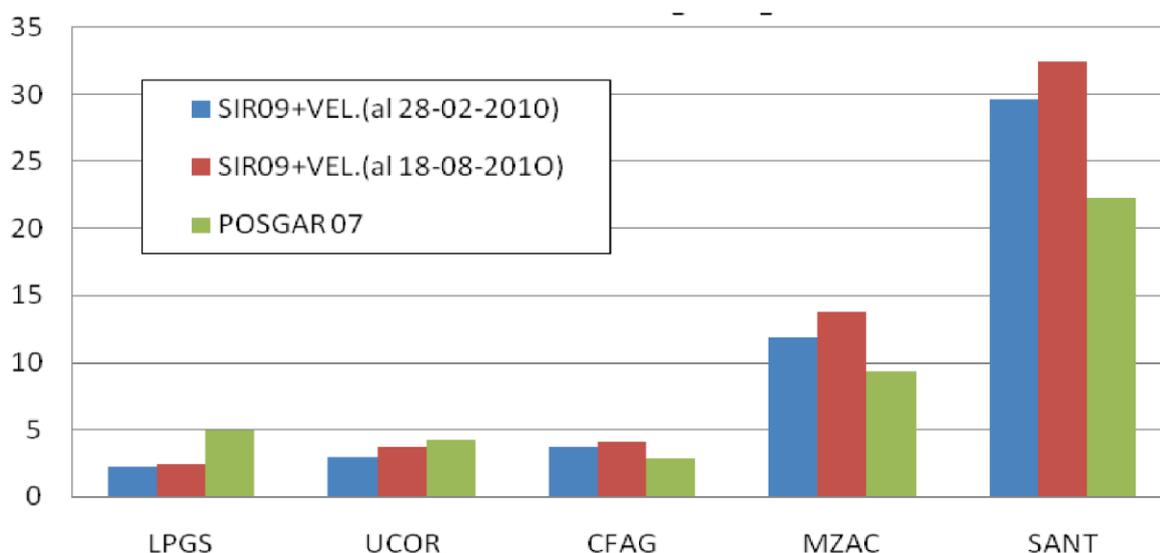


Figura 4: Comparación entre coordenadas semanales y actualizadas por velocidades

Tabla 1: Velocidades de desplazamiento

Velocidades [m/año]		
Estación	Calculadas	SIR09P01
SANT	0,033	0,026
MZAC	0,016	0,016
CFAG	0,0099	0,013
LPGS	0,014	0,012

Conclusiones

- Ante la necesidad de marcos de referencias precisos en zonas afectadas por procesos geodinámicos, no es suficiente disponer de coordenadas y velocidades estimadas anualmente, se requiere de SOLUCIONES SEMANALES producto de un seguimiento continuo [Sánchez et al, 2009]. Los organismos involucrados en infraestructura de georreferenciación, deben considerar esta problemática y dar una respuesta a la comunidad de usuarios.

na. Septiembre, 2009. Presentación disponible en www.sirgas.org.

Drewes, H., Heidbach, O. (2005). Deformation of the South American crust estimated from finite element and collocation methods. Springer; IAG Symposia; Vol. 128: 544-549.

Mackern, M.V., M.L. Mateo, A.V. Calori, A.M. Robin. (2009). SIGAS-CON-D and Local Processing Centers, a

velocity field for South America. Presentado en la Asamblea Científica de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). Buenos Aires, ArgentiSánchez, L., W. Seemüller, M. Seitz. (2009). DGFI report on the combination of the weekly solutions delivered by the SIRGAS Processing Centres for the SIRGAS-CON network.

Presentado en la Asamblea Científica de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). Buenos Aires, Argentina. Septiembre, 2009. Presentación disponible en www.sirgas.org.

Sánchez, L.; Seemüller, W. y Drewes, H., (2010). SIRGAS y el terremoto del 27 de febrero de 2010 en Chile. Reporte de cálculo. Centro de Análisis SIRGAS en el DGFI.

Seemüller, W., M. Seitz, L. Sanchez, H. Drewes. (2009). The Position and Velocity Solution SIR09P01 of the IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR). DGFI Report No. 85. Munich, Germany. Documento disponible en www.sirgas.org.

solution from the densification of the Reference Frame in Latin America and the Caribbean. Presentado en la Asamblea Científica de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). Buenos Aires, Argentina. Septiembre , 2009. Presentación disponible en www.sirgas.org.