

Contribución del Centro Nacional de Procesamiento de Datos al mantenimiento del Marco Internacional Terrestre de Referencia

Contribution of Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS to maintenance of International Terrestrial Reference Frame

Jorge Moya Zamora
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
jmoya@una.cr

Sara Bastos Gutiérrez
Universidad Nacional.
Heredia, Costa Rica
sbastos@una.cr

José Francisco Valverde Calderón
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
joval2172003@gmail.com

Ana Lucía Garita Fernández
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
analugarita@gmail.com

María José Rivas Guzmán
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica
mjrg90@hotmail.com

Recibido: 1/10/14 Aceptado: 21/8/15

Resumen: El Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS (CNPDG) de la Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia de la Universidad Nacional es un laboratorio encargado del procesamiento científico semanal de un sector de la red de estaciones de medición



continua GNSS del Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). Esta red está compuesta por 89 estaciones ubicadas en países como Estados Unidos, México, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Panamá y Brasil (Sargas, 2014). El CNPDG inició labores formalmente en enero de 2013 como un centro de procesamiento experimental. A inicios del año 2014 se da la oficialización por parte de SIRGAS y es en ese momento cuando el CNPDG se convirtió primer centro de procesamiento de datos GNSS de la región Centroamericana y el Caribe. En este documento se quiere mostrar el procesamiento científico de una red GNSS de observación continua y sus resultados semanales, los cuales una vez integrados y combinados con los resultados de los restantes centros de procesamiento SIRGAS del continente, representan una contribución directa con el mantenimiento del Marco Internacional Terrestre de Referencia (International Terrestrial Reference Frame ITRF, por sus siglas en idioma inglés). El procesamiento de este tipo sigue una serie de criterios técnicos estandarizados internacionalmente y recomendados por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG). El cálculo con el software especializado Bernese versión 5.2 permite contemplar una gran cantidad de variables y aplicar diferentes modelos para obtener resultados de una alta exactitud. Las denominadas soluciones semilibres que se han estado generando desde el CNPDG provienen desde la semana GPS 1721 (inicio de enero 2013) a la semana 1790 (final de mayo de 2014). El CNPDG es, además, un espacio para el trabajo de estudiantes y para el desarrollo de actividades, proyectos de investigación y trabajo finales de graduación.

Palabras clave: SIRGAS, Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS, Costa Rica, ITRF, Bernese.

Abstract: The Centro Nacional de Procesamiento de Datos GNSS (CNPDG) of Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia (ETCG), Universidad Nacional (UNA) is a laboratory conducting the scientific weekly processing of a sector of GNSS stations continuously measuring network belonging to Sistema Geocéntrico para las Américas (SIRGAS). This network consists of 89 stations located in countries like United States, Mexico, Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica, Colombia, Panama and Brazil (Sargas, 2014). The CNPDG formally began work in January 2013 as a center for experimental processing. In early 2014, the formalization is given by SIRGAS and then when the CNPDG first processing center GNSS data Central America and the Caribbean became. This document is to show the scientific processing of a GNSS network of continuous observation and weekly results, which once integrated and combined with the results of the remaining processing centers SIRGAS the continent, represent a direct contribution to the maintenance of International Terrestrial Reference Frame (ITRF). The processing of this type follows a series of internationally standardized technical criteria recommended by the International Association of Geodesy (IAG). The calculation Bernese specialized

software version 5.2 allows contemplate a lot of variables and apply different models to obtain high accuracy results. The so-called semi-free solutions have been generating since CNPDG come from the GPS 1721 (beginning January 2013) a week 1790 (end of May 2014) week. The CNPDG is also a space for the work of students and the development of activities, research projects and final graduation work

Keywords: SIRGAS, GNSS Data Processing National Center, Costa Rica, ITRF, Bernese.

La geodesia es una disciplina diversa cuyo ámbito de trabajo puede agruparse en cuatro áreas fundamentales: la geodesia geofísica, que estudia procesos geodinámicos, placas tectónicas, efectos glaciales y variaciones en la rotación y orientación de la Tierra; la geodesia física, que trabaja con gravimetría en determinación de la figura de la Tierra; la geodesia geométrica o matemática, que involucra los cálculos para obtener posiciones de puntos con una alta exactitud y la proyección cartográfica de los elementos terrestre y, por último, la geodesia satelital, relacionada con mediciones desde o hacia satélites artificiales en el establecimiento de posiciones en la Tierra.

En particular, la geodesia satelital contempla mediciones de precisión realizadas desde, hacia y entre satélites artificiales, para la solución de problemas geodésicos. Seeber, en (2003), plantea que estos problemas son básicamente la determinación de posiciones tridimensionales de alta exactitud de puntos (establecimiento de redes de control), campos de gravedad de la Tierra y las funciones que los describen (geoide), y medición y modelaje de los fenómenos geodinámicos (movimientos del polares, rotación terrestre y deformación de la corteza).

Hoy, todos los aportes de los diferentes tipos de mediciones geodésicas permiten, por primera vez, tener datos de alta exactitud destinados a estudiar los cambios del planeta. De esta manera, la iniciativa de la IAG denominada como Sistema Global de Observación Geodésica (GGOS) integra, en un solo sistema, las diferentes técnicas geodésicas, modelos y aproximaciones con el objetivo de lograr, a largo plazo, un monitoreo preciso para un mejor entendimiento de la geodinámica y procesos de cambio global. La infraestructura geodésica necesaria de GGOS está provista por las diferentes técnicas de observación geodésica como Satellite Laser Ranging (SLR), Lunar Laser Ranging (LLR), Doppler Orbitography Determination and Radiopositioning Integrated on Satellites

(DORIS), Global Positioning System (GPS), Very Long Base Interferometry (VLBI) (Altamimi, Sillard y Boucher, 2002). También incluye misiones de gravedad, las cuales contribuyen de una manera única al conocimiento para el entendimiento de los tres principales pilares de la geodesia: la geometría de la Tierra, su orientación y rotación, y las variaciones del campo de gravedad. GGOS es la combinación de todas estas técnicas en un sistema consistente (GGOS, 2012).

Los modernos sistemas de medición empleados por la geodesia satelital han evolucionado enormemente en los últimos veinte años. Actualmente, el denominado Marco Internacional Terrestre de Referencia (ITRF) es la materialización del Sistema Internacional Terrestre de Referencia (ITRS), el cual está constituido por un conjunto de estaciones alrededor del mundo en las que se realizan diferentes tipos de mediciones geodésicas. Cada una de estas estaciones provee datos producto de la técnica de medición empleada, los cuales posteriormente son combinados de manera que se pueda generar una única solución expresada, principalmente, como la terna de coordenadas geocéntricas $[XYZ]^T$ y las velocidades respectivas en cada una de estas coordenadas $[V_x, V_y, V_z]^T$. En la figura 1 se muestra el campo de velocidades asociado a la más reciente definición del marco internacional, el ITRF2008.

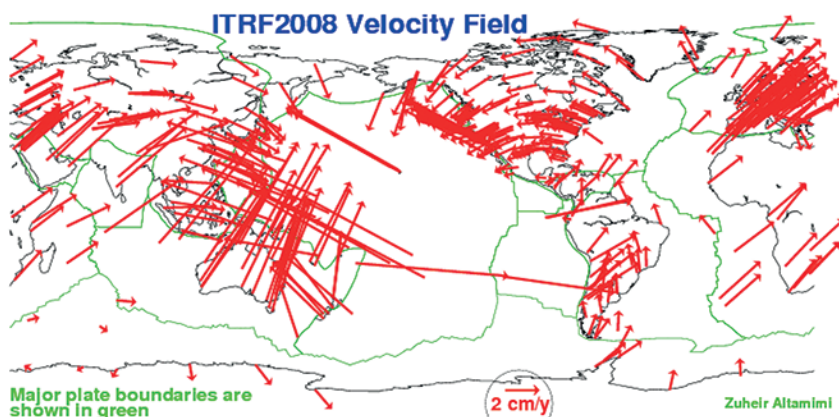


Figura 1. Campo de velocidades asociado al ITRF2008. Tomado de: http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/

El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

El proyecto SIRGAS inició formalmente en 1993 con el nombre de Sistema Geocéntrico para América del Sur, con el objetivo de materializar el ITRS en Sudamérica (Brunini, 2007). En el año 2001, el nombre cambia oficialmente Sistema Geocéntrico para las Américas, debido fundamentalmente al incremento en el número de estaciones continuas ubicadas en el resto de los países del continente. Este hecho llevó a que la Comisión Cartográfica de las Naciones Unidas tomara el acuerdo de recomendar, a los países de América, la adopción de SIRGAS como marco de referencia (Sirgas, 2012). SIRGAS es miembro de la Subcomisión 1.3 (Marcos de Referencia Regionales) de la Comisión 1 de la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y es un Grupo de Trabajo de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH). Las actividades científicas y técnicas son coordinadas por los Grupos de Trabajo en colaboración con el Consejo Científico y los representantes de la IAG y el IPGH (sirgas, 2012).

La definición de SIRGAS es idéntica al ITRS y su realización es una densificación del ITRF, ocupándose además de la parte vertical. La realización de SIRGAS es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS, asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF, materializan el mismo sistema de referencia; y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), son compatibles en el nivel milimétrico.

La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales, a su vez, sirven de marcos de referencia local (Sirgas, 2012). Las estaciones GNSS de operación continua que están integradas de manera oficial a SIRGAS sobrepasan las 300 en todo el continente americano. Esta red es denominada como SIRGAS-CON y es semanalmente calculada; sus coordenadas a la época de observación están en el mismo sistema que las órbitas satelitales finales GNSS. Las soluciones multianuales están referidas al ITRF vigente a una época específica. En la figura 2 se muestra la distribución de la estaciones de la red SIRGAS-CON al mes de julio de 2014 (Sirgas, 2014).

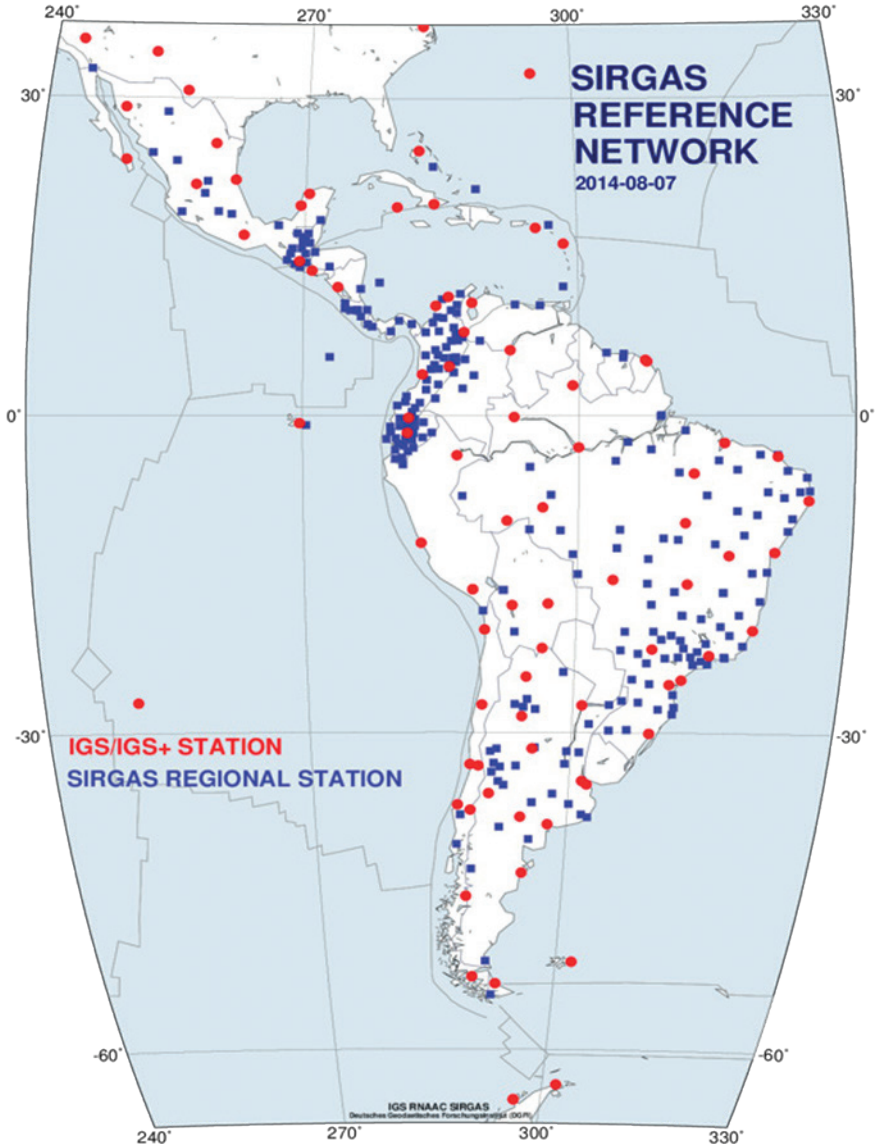


Figura 2. Estaciones de la Red SIRGAS-CON. Tomado de: <http://www.sirgas.org>

Actualmente se cuenta con nuevo centro locales de procesamiento de la red SIRGAS-CON, los cuales están localizados en Ecuador, Venezuela, Brasil, Colombia, Chile, Argentina, México, Uruguay y Costa Rica. Cada

Contribución del CNPDG al ITRF

Luego de 11 meses de trabajo, en la Reunión Técnica SIRGAS 2013 llevada a cabo en la Ciudad de Panamá, se hizo el anuncio en el que se incorporó al CNPDG como Centro Oficial de Procesamiento para SIRGAS a partir de la semana 1771 correspondiente con la tercera semana del mes de diciembre de 2013, es decir, 50 semanas después de haber iniciado las labores. El comunicado oficial por parte del Comité Ejecutivo de SIRGAS llegó a finales de diciembre de 2013.

En la semana GPS 1773, correspondiente con la primera semana del año 2014, la solución semilibre que calculó el CNPDG se incorporó de manera oficial dentro de la combinación continental de toda la red SIRGAS-CON. Este hecho permite, ahora, poder hacer directamente una contribución al procesamiento continuo y al mantenimiento del Marco Internacional Terrestre de Referencia. Las soluciones que se generan ahora en el CNPDG son tomadas en igualdad de condiciones junto con las de los restantes centro de procesamiento del continente. El aporte del CNPDG, al adelantar soluciones semilibres de alta calidad, redundante directamente en el cálculo semanal final de todo el marco de referencia. De acuerdo con lo anterior, adicionalmente Costa Rica contribuye con dos clases de insumos: en primer lugar, se aporta el procesamiento semanal que hace el CNPDG y, en segundo lugar, se colabora por medio de los datos registrados diariamente por las 11 estaciones de operación continua que se tienen dentro del país. En la tabla 1 se presentan las estaciones costarricenses incorporadas a SIRGAS, sus coordenadas geocéntricas aproximadas y el administrador de la estación.

Estrategia de procesamiento

Cada uno de los centros locales de procesamiento SIRGAS aplica la misma técnica de cálculo de las soluciones semanales. El software usado prácticamente en todos ellos trabaja con el software de procesamiento científico denominado como Bernese GNSS Software (BGS), versión 5.2. Este programa, a diferencia de los destinados a un procesamiento comercial, efectúa controles más estrictos sobre el tratamiento de las observaciones derivadas de los archivos de datos y aplica, adicionalmente, una serie de complejos algoritmos y modelos orientados a obtener un posicionamiento de la más alta calidad (Dach, Hugentobler, Fridez y Meindl, 2007).

Tabla 1

Estaciones costarricenses incorporadas a la red SIRGAS-CON

Estación	X [m]	Y [m]	Z [m]	Administrador
ETCG	645208.307	-6249842.143	1100399.595	ETCG-UNA
ISCO	326077.451	-6340127.281	612125.749	UNAVCO- OVSICORI-UNA
AACR	644009.008	-6251064.268	1093780.886	AYA
CRCP	643206.966	-6250876.633	1095084.921	CENAT
LIBE	498678.622	-6249679.848	1168903.038	Registro Inmobiliario
LIMN	762717.288	-6235556.508	1099500.430	Registro Inmobiliario
NEIL	774610.286	-6258471.554	952303.021	Registro Inmobiliario
NICY	497630.820	-6259516.918	1115789.517	Registro Inmobiliario
PUNT	565870.302	-6256745.201	1098060.796	Registro Inmobiliario
RIDC	651566.584	-6250735.953	1091707.750	Registro Inmobiliario
SAGE	690230.823	-6256292.401	1032020.636	Registro Inmobiliario

En esta etapa del procesamiento, se introducen, como parámetros conocidos, las efemérides precisas en formato *.SP3 y los parámetros de orientación terrestre en formato *.IEP. A cada una de las estaciones procesadas se les asigna una desviación estándar a priori de ± 1 m de manera que se obtengan soluciones semilibres (loosely constrained). Se establecen como requisitos para el procesamiento semanal los siguientes parámetros.

Órbitas: Finales del IGS
 EOP: EOP semanales
 Observaciones: Dobles diferencias

Registro datos:	Cada 30 segundos
Ángulo de elevación:	3 grados
Estrategia líneas bases:	Máximas observaciones
Peso de las observaciones:	$\cos(Z)$
Modelo troposférico:	Neill dry component
Ambigüedades:	Estrategia QIF, modelo libre ionosfera
Modelo carga oceánica:	FES2004
Variación centro fase antenas:	Absoluto
Soluciones diarias:	Archivos NQ0, solución red libre con sigmas de ± 1 m.
Solución semanal:	Archivos SNX, solución red libre con sigmas de ± 1 m

Evaluación de los resultados

En las siguientes figuras se presentan los promedios de los resultados más representativos por considerar a la hora de hacer la evaluación de cada una de las soluciones semanales semilibres. El período considerado abarca desde la semana GPS 1721 (enero de 2013) hasta la semana GPS 1790 última del mes de mayo de 2014. Primeramente en la figura 4 se presenta la cantidad de estaciones procesadas.

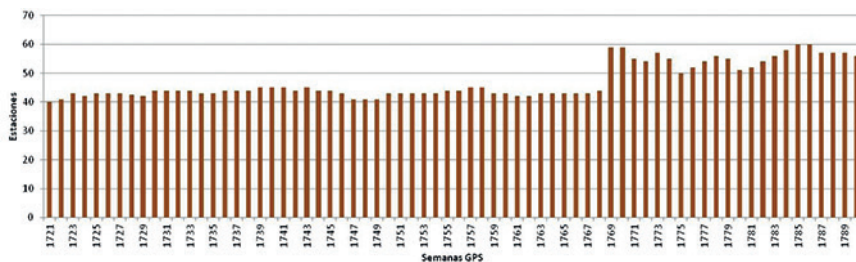


Figura 4. Cantidad de estaciones procesadas por el CNPDG..

En la figura 5, se presenta la cantidad de archivos efectivamente procesados. Esta información excluye aquellos que no tienen un tamaño adecuado al asumido como normal.

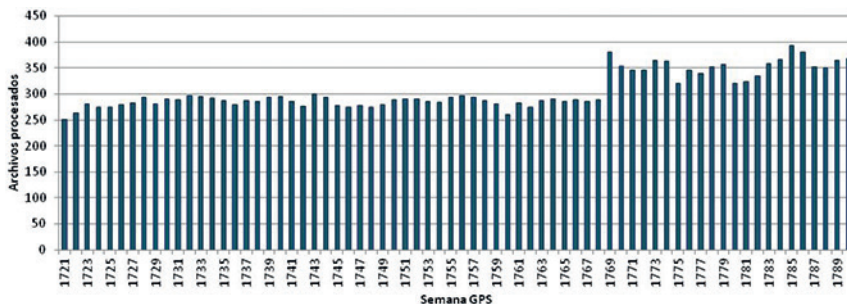


Figura 5. Cantidad de archivos efectivamente procesados por el CNPDG.

En la figura 6, se tiene el comportamiento del parámetro estadístico denominado como χ^2/DOF , el cual es el cociente entre el cuantil de la distribución χ^2 entre grados de libertad.

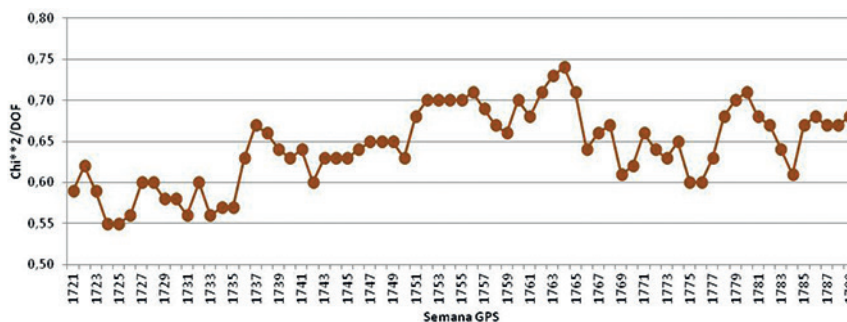


Figura 6. Parámetro χ^2/DOF obtenido desde la semana 1721.

Por su parte, en el conjunto de figuras 7 se presentan los valores promedio de corrección de todas las estaciones procesadas por semana para las coordenadas [XYZ] respectivamente.

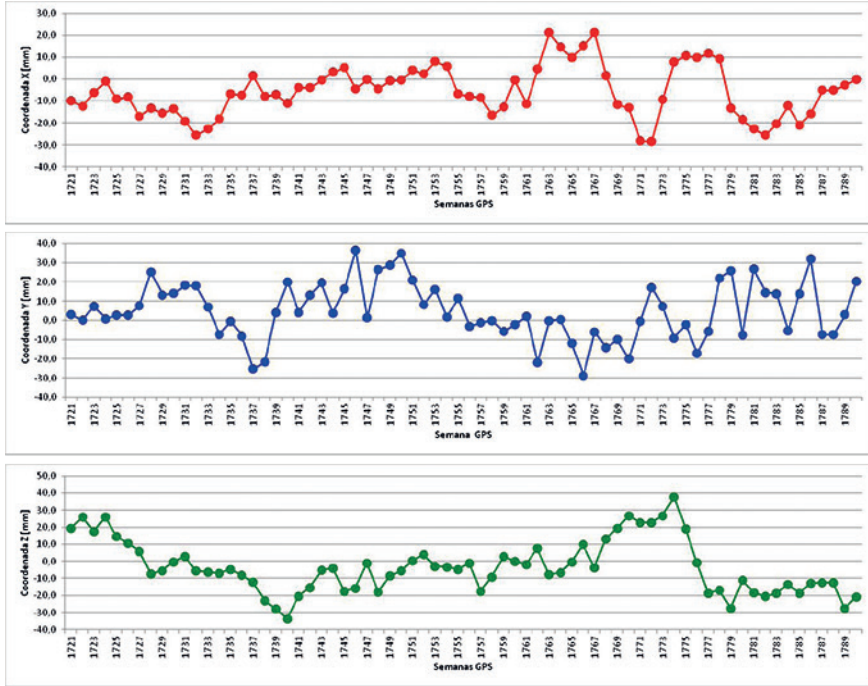


Figura 7. Promedios semanales en milímetros de las correcciones a las coordenadas aproximadas [XYZ].

De acuerdo con los criterios establecidos para los centros locales de procesamiento SIRGAS, los valores de comparación de soluciones individuales no deben exceder los ± 10 mm en las componentes norte y este y los ± 15 mm en la componente vertical. En la figura 8 se presentan los valores promedio de los errores de la repetibilidad en barras de color rojo para la coordenada norte, en color azul para la coordenada este y en color verde para la coordenada altura. En las semanas 1759 y 1760 se aprecian los mayores valores de 4,1 mm en promedio para la coordenada este. Sin embargo, el comportamiento general de este parámetro en la parte horizontal presentó un promedio de 1,5 mm y de 4,7 en la coordenada de altura.

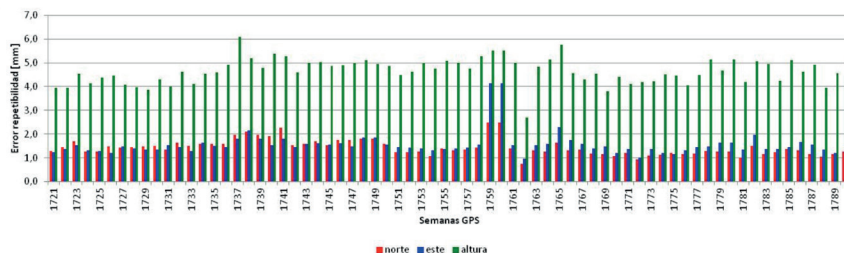


Figura 8. Errores de la repetibilidad de las soluciones semilibres calculadas por el CNPDG.

Actividades adicionales

El CNPDG, además de su actividad fundamental que es el procesamiento semanal del sector de la red SIRGAS-CON, desde su formulación, se pensó como un potencial generador de proyectos y actividades de investigación y como un nicho para el desarrollo de trabajos finales de graduación.

En investigación académica

- **MARVEL, (Marco de Referencia y Velocidades para Costa Rica).** Su objetivo fundamental consiste en realizar el continuo monitoreo de un conjunto de estaciones GNSS nacionales, para poder estudiar su cinemática, la cual es fundamental en la determinación de un campo nacional de velocidades basado en datos geodésicos. Estas estaciones pueden ser adoptadas posteriormente como nuevo marco de referencia nacional. El proyecto ya cuenta con los datos iniciales y se espera, a final de este año, tener los primeros insumos.
- **Seguimiento del efecto post sísmico del terremoto de Nicoya del año 2012.** Este proyecto está realizando el procesamiento de una red GNSS en Costa Rica trabajando fundamentalmente con un grupo de estaciones ubicadas en la parte de Nicoya. Se quiere hacer la evaluación del efecto que tuvo luego del terremoto de agosto de 2012.
- **Ajuste de la red geodésica convencional de Costa Rica.** Se está trabajando con la reconstrucción de toda la red geodésica vertical convencional de Costa Rica. Los datos han sido facilitados por el IGN y, de momento, se cuenta con todas la fichas de descripción en digital y los sectores de la red que potencialmente se pueden ajustar (bucles).

- Ejecución de proyectos de trabajos finales de graduación
- Red GNSS para conformar un marco de referencia con vínculo al todavía vigente datum nacional CR05, basado en el análisis de las soluciones semilibres y soluciones con marco SIRGAS.
- Estimación de velocidades de red de estaciones del Registro Nacional con un procesamiento Bernese y vínculo al marco SIRGAS.
- Estudio de la influencia de las soluciones contemplando mediciones GLONASS en una red europea.
- Análisis de los resultados de un nuevo módulo (FODITS) del programa Bernese que contempla los efectos causados por terremotos.
- Programación de rutinas en MatLab para contar con los insumos necesarios para el análisis de las soluciones semilibres y estimación de velocidades.

Referencias

- Altamimi, Z., Sillard, P. y Boucher, C. (2002). ITRF2000: A New release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications. *Journal of Geophysical Research*, 107(B10).
- Brunini, C. (2007). SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Plata Argentina. *Simposio IDE América: Conceptos, Prácticas y Proyectos IPGH-IGAC*, Bogotá.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P. y Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0*. Berna, Suiza: Astronomical Institute, Berne University.
- GGOS. (2012). *Global Geodetic Observing System*. Recuperado de <http://www.ggos.org>
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy*. Berlin: Walter de Gruyter.
- SIRGAS (2012). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Recuperado de <http://www.sirgas.org>
- SIRGAS (2014). *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas*. Recuperado de <http://www.sirgas.org>