

Actividades desarrolladas por el Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ) durante el período 2009-2010

Cioce V., Hoyer M., Wildermann E., Royero G., Espinosa R., Méndez T.,
Montero M., Espinoza M., Ceballos Rodbher

Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia
Escuela de Ingeniería Geodésica de la Facultad de Ingeniería
Maracaibo, Venezuela
vcioce@fing.luz.edu.ve

RESUMEN

Desde los inicios del Proyecto SIRGAS, la participación de Venezuela como uno de sus países miembros ha sido constante; con la actual estructura en sus Grupos de Trabajo en donde la red SIRGAS-CON constituye su núcleo, los Centros de Procesamiento desempeñan una función primordial para la actualización y mantenimiento del sistema y marco de referencia continental. En este sentido, y atendiendo a las recomendaciones del Proyecto SIRGAS, a partir de febrero de 2009 el Laboratorio de Geodesia Física y Satelital de la Universidad del Zulia (LGFS-LUZ), dio inicio a las actividades propias de un centro de cálculo SIRGAS de manera experimental y bajo sus especificaciones y lineamientos, siendo oficializado desde enero de 2010. Durante el corto período de funcionamiento, el *Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia (CPAGS-LUZ)*, ha venido ofreciendo soluciones semanales semi-libres del conjunto de estaciones SIRGAS-CON asignadas, concentradas básicamente al norte de la red, pero además lleva a cabo otras labores complementarias como por ejemplo el seguimiento a las estaciones activas del país que integran a REMOS, ofreciendo inclusive sus datos de observación a la comunidad SIRGAS, la monitorización del vapor de agua troposférico, entre otras. Este trabajo describe las actividades ejecutadas por el CPAGS-LUZ hasta la fecha, con las mismas se espera seguir contribuyendo con los intereses y metas del Proyecto SIRGAS, en pro del beneficio de la región en materia científico-técnica vinculada con la Geodesia y disciplinas afines.

Palabras clave: Centro de Procesamiento, SIRGAS, REMOS, LUZ

INTRODUCCIÓN

Las implicaciones de establecer en la región Centros de Procesamiento son diversas y de gran impacto. Además de poder garantizar el cumplimiento de los objetivos del Proyecto SIRGAS a lo largo del tiempo, consolidando su *status* a nivel internacional en lo que respecta a estándares geodésicos, se hace posible definir una sólida base observacional para el desarrollo de investigaciones asociadas con el GNSS en tiempo real, las ciencias atmosféricas, el cambio global y otros. Por otra parte, implica un avance hacia la adquisición de la autonomía tanto científica como técnica en un marco de cooperación entre todas las instituciones involucradas.

En este orden de ideas, siguiendo las recomendaciones y resoluciones del Proyecto SIRGAS, desde mediados de 2008 se dio inicio a la evaluación que permitiera el posterior

El CPAGS-LUZ ha contribuido oportunamente con el procesamiento de 90 semanas de observación satelital GNSS, su estructura, funcionamiento, primeros productos y sus metas serán presentados en las secciones posteriores.

FUNCIONAMIENTO DEL CPAGS-LUZ

La realización de las actividades propias del CPAGS-LUZ viene dada por la coordinación, dinamismo y trabajo armónico entre los niveles organizativos ilustrados en la figura 2, cada uno con funciones claramente establecidas (Cioce, 2010).

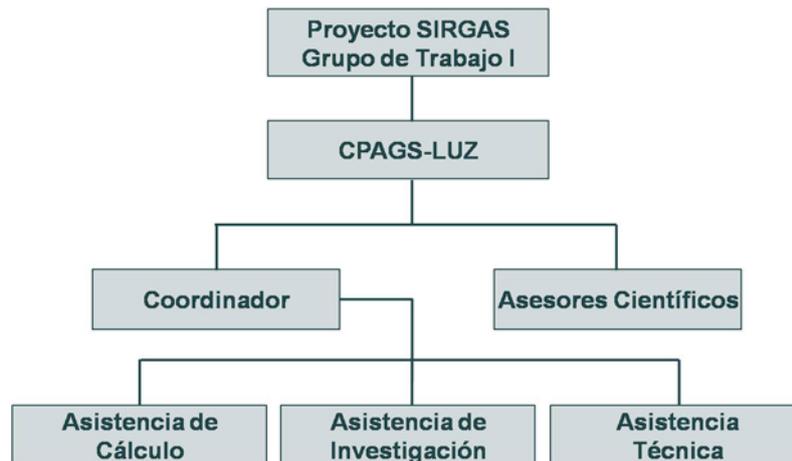


Figura 2: Estructura organizativa del CPAGS-LUZ

La operatividad del centro queda definida por las diferentes actividades desarrolladas y plenamente ajustada a un riguroso cronograma con una extensión de cuatro (4) semanas mostrado en la tabla 1.

Tabla 1: Cronograma de actividades de los Centros de Procesamiento SIRGAS

Semana	Actividad
1	Adquisición de los datos GPS por las estaciones SIRGAS-CON asignadas al centro.
2	Descarga, organización y preparación de los datos GPS.
3	Obtención de los archivos de orbitas precisas del IGS, parámetros de orientación terrestre, modelo ionosférico y otros.
4	Procesamiento y ajuste de la red y consignación de resultados al Centro de Combinación (DGFI).

El procesamiento se realiza utilizando el *Bernese GPS Software v 5.0 -BSW50-* (Beutler *et al.*, 2004) como plataforma de cálculo, en modo BPE (*Bernese Processing Engine*) y bajo el sistema operativo *Windows XP*; para agilizar muchas de las tareas inherentes al trabajo rutinario, se han desarrollado e implementado aplicaciones automatizadas, orientadas principalmente para la descarga y edición de datos y archivos de interés. La configuración del procesamiento es indicada en la tabla 2 y al ser estándar con respecto a otros centros de análisis, garantiza la homogeneidad y consistencia de resultados, aunque vale destacar la existencia de algunas variantes.

Tabla 2: Parámetros aplicados para el procesamiento realizado por el CPAGS-LUZ

Software:	<i>Bernese GPS Software v 5.0</i> en modo BPE.
Sistema satelital:	<i>GPS</i>
Intervalo de muestreo:	30s
Máscara de elevación:	3°
Combinación lineal:	L3
Orbitas y EOP:	Finales del IGS.
Estrategia para la formación de líneas base:	OBS-MAX
Función de peso:	$\cos^2 Z$
Modelo <i>a priori</i> de la troposfera:	Dry-Niell
Estimación troposférica:	Modelo Wet-Niell, estimación cada 2 horas para cada estación, con pesos absolutos y relativos de 5m. No se estiman componentes azimutales.
Resolución de ambigüedades:	Estrategia QIF considerando las portadoras L1 y L2.
Modelo de Carga Oceánica:	FES2004
Modelo ionosférico:	CODE
Variación del Centro de Fase de las antenas GPS:	Modelo de calibración absoluta del IGS.
Coordenadas y velocidades de referencia:	Solución SIR09P01, referida al IGS05:2005,0.
Definición del datum:	Red semi-libre con pesos de $\pm 1m$ para las tres componentes.

Una habitual revisión de la cantidad y disponibilidad de las estaciones involucradas en el cálculo semanal es efectuada, así como también la adecuación de los archivos de entrada requeridos por el BSW50 cuando se incorpora a la red una nueva estación; en este caso, se estiman coordenadas precisas para la estación mediante un posicionamiento de punto preciso (PPP), utilizando para ello el servicio de cálculo en línea del CSRS (www.geod.nrcan.gc.ca). A la fecha, dos nuevas estaciones han sido asignadas al CPAGS-LUZ, siendo éstas DARI y AGUA, situadas en Panamá y Colombia respectivamente.

Es de gran importancia disponer de posiciones precisas ($RMS \leq 5cm$) para llevar a cabo el procesamiento semanal, pues en caso contrario y como es sabido, se introducen errores que se propagan directamente sobre la estimación de las coordenadas finales, deformando la red. Por tal razón se recurre al PPP como alternativa rápida y efectiva para cumplir este requerimiento. Las coordenadas contenidas en los RINEX de las estaciones, cuando éstas son incorporadas a la red SIRGAS-CON, no necesariamente ofrecen un adecuado nivel de calidad, lo que se refleja en la tabla 3 tomando como ejemplo algunas estaciones.

Tabla 3: Diferencia de coordenadas ofrecidas en los RINEX y aquellas derivadas del PPP

Est.	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
CASI	0,5659	0,2755	0,2512
MABS	0,0190	0,0190	0,1360
DARI	1,3233	0,0527	0,8337
AGUA	1,4655	2,3682	0,4929
BAVC	0,0099	0,048	0,1102

La exclusión de observaciones diarias o semanales para alguna estación procede cuando ésta no logra la acumulación de datos GPS para una sesión completa, lo que es causado ya que algunas estaciones no funcionan bajo un régimen 24/7 (caso ideal) o bien por fallas en la

operatividad y/o comunicación con los Centros de Datos, siendo hechos habituales y por consiguiente se reduce la cantidad de estaciones a procesar; bajo este escenario el CPAGS-LUZ no considera para efectos del cálculo semanal, aquellas estaciones que hayan observado un período menor a 12 horas.

Se aplican controles determinísticos y estocásticos sobre las soluciones diarias, y de igual manera, una vez realizado el ajuste por cuadrados mínimos de las correspondientes ecuaciones normales diarias, generando además el archivo SINEX para cada semana procesada. El mismo se sustenta en garantizar lo siguiente:

1. Factor de varianza a posteriori de la unidad de peso $\leq 1,6\text{mm}$.
2. Relación $\chi^2/f \leq 1\text{mm}$ (valor óptimo $0,6\text{mm}$).
3. Diferencia entre las coordenadas estimadas y ajustadas $\leq 5\text{cm}$.
4. Comparación entre los RMS de las soluciones individuales $< 15\text{mm}$ para las componentes horizontales y $< 30\text{mm}$ para la vertical.
5. RMS de la solución semanal para cada estación: $< 10\text{mm}$ para las componentes horizontales y $< 20\text{mm}$ para la vertical.

La solución definitiva semi-libre es sometida a verificación en el DGFI para su posterior inclusión en el resultado semanal de la red SIRGAS-CON. El CPAGS-LUZ también realiza un control de la misma a través de un análisis basado en comparaciones con las soluciones de otros centros, seguimiento de las coordenadas diarias y semanales, contrastes de los RMS de los residuales y repetibilidad. El ciclo de actividades propias del procesamiento semanal de la red SIRGAS-CON a cargo del CPAGS-LUZ, es ilustrado en la figura 3.



Figura 3: Secuencia de las actividades propias del procesamiento semanal

Al funcionar dentro de un entorno universitario, una de las debilidades en la operatividad del CPAGS-LUZ, es la interrupción en la cadena productiva durante días feriados y el periodo vacacional, lo que resulta natural debido a la participación de estudiantes regulares en la Asistencia de Cálculo. Esto motivó el diseño de un sencillo plan de contingencia sustentado en la descarga y edición adelantada de los datos GNSS aprovechando el desfase de cuatro semanas en el ofrecimiento de los resultados finales. Por otra parte, se incluye en él la utilización de recursos *web* para el manejo a control remoto de los computadores del CPAGS-LUZ, a través del servicio LogMeIn (www.logmein.com). La figura 4 muestra la interface de visualización remota de las PC's.

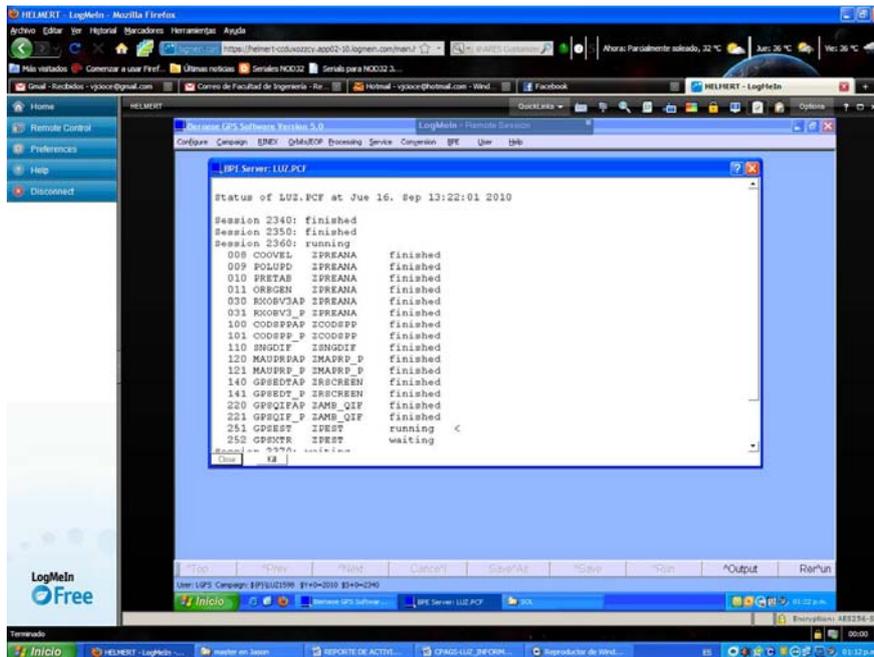


Figura 4: Interface gráfica del LogMeIn, herramienta utilizada por el CPAGS-LUZ

Por otra parte, y ante las dificultades técnicas de las estaciones activas venezolanas, el CPAGS-LUZ lleva a cabo una constante verificación de su estado, ofreciendo además a toda la comunidad SIRGAS sus datos RINEX debidamente editados según los requerimientos del cálculo científico y en líneas generales, este Centro de Procesamiento está ofreciendo soluciones periódicas del cálculo de la red asignada en términos de sus coordenadas, especialmente aquellas que conforman la Red de Estaciones de Monitoreo Satelital GPS (REMOS) avaladas por SIRGAS, esto permitirá un análisis temporal del comportamiento de las coordenadas obtenidas, idea asociada directamente con la estimación de componentes de velocidad y variables geodésicas y geodinámicas de interés.

RESULTADOS OFRECIDOS POR EL CPAGS-LUZ

Dentro del periodo comprendido entre las semanas GPS 1520 y 1600, el CPAGS-LUZ ha hecho la consignación de resultados ante el Centro de Combinación SIRGAS del DGFI, correspondientes al procesamiento de la red asignada, registrando aproximadamente un 94% de puntualidad; el 6% remanente han sido entregas ligeramente retrasadas.

A partir del proceso de cálculo definido, el producto primario consiste de las coordenadas que se estiman para todas las estaciones de la red para cada día de la semana, las diferencias diarias no sobrepasan los 5cm, asegurando así la consistencia de las soluciones; en la figura 5 se ofrece la representación gráfica de la variabilidad en las posiciones interdiarias de la estación Maracaibo (MARA), expresadas como diferencias con respecto al valor entero de cada componente cartesiana.

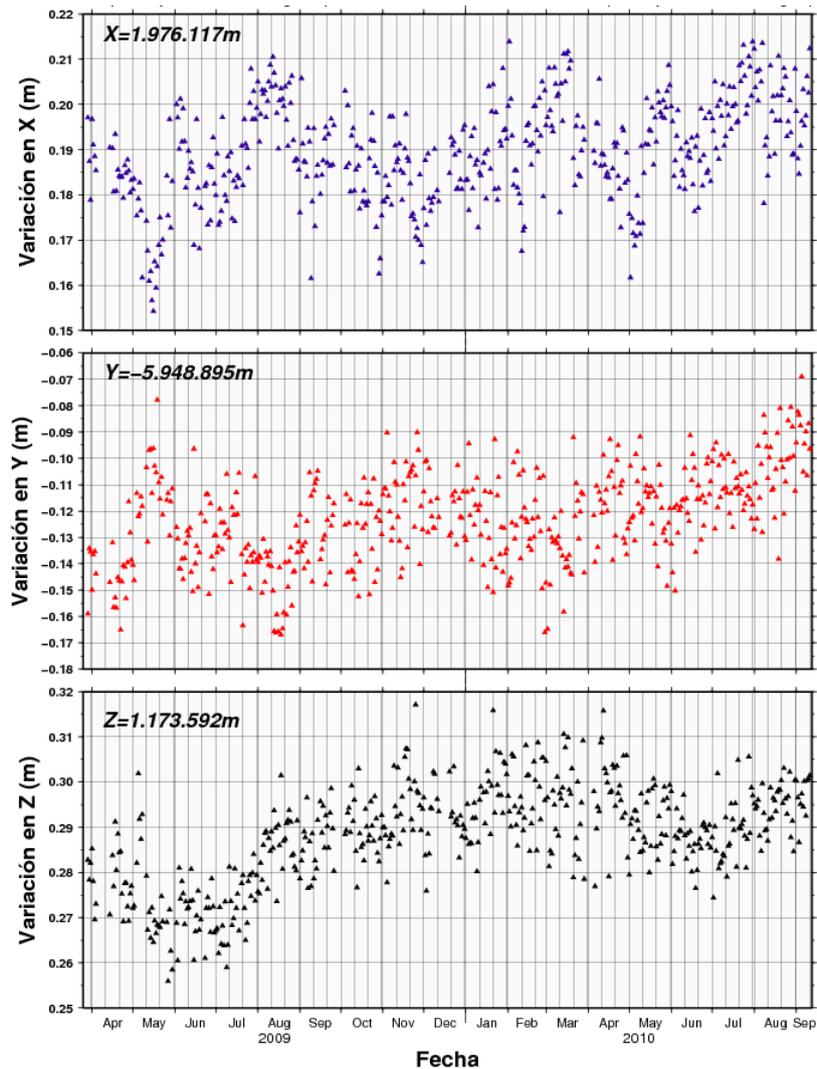


Figura 5: Variación diaria en la posición de MARA luego del procesamiento de la red SIRGAS-CON por parte del CPAGS-LUZ (semanas 1525 a 1560)

Las soluciones interdiarias en términos de ecuaciones normales, son ajustadas con una restricción semi-libre del datum, tal y como ha sido mencionado previamente, ofreciendo así la solución semanal de la red que se combina con las correspondientes de otros centros. Al verificar y cumplir los controles señalados en el ítem anterior, la solución semanal ofrecida por el CPAGS-LUZ es plenamente satisfactoria y acorde con las exigencias de calidad pre-establecidas para tal fin. De ésta manera, se presentan en la figura 6 algunos valores estocásticos de interés asociados al cálculo efectuado así como la relación de estaciones SIGAS-CON incluidas en cada procesamiento.

Tanto el factor de varianza *a posteriori* de la unidad de peso como la relación χ^2/f se mantienen en valores aceptables, naturalmente, las variaciones registradas en estos obedecen a las características de la red al momento de ejecutar el procesamiento, es decir, de la cantidad de estaciones disponibles, cantidad de datos acumulados, calidad de los mismos, entre otros.

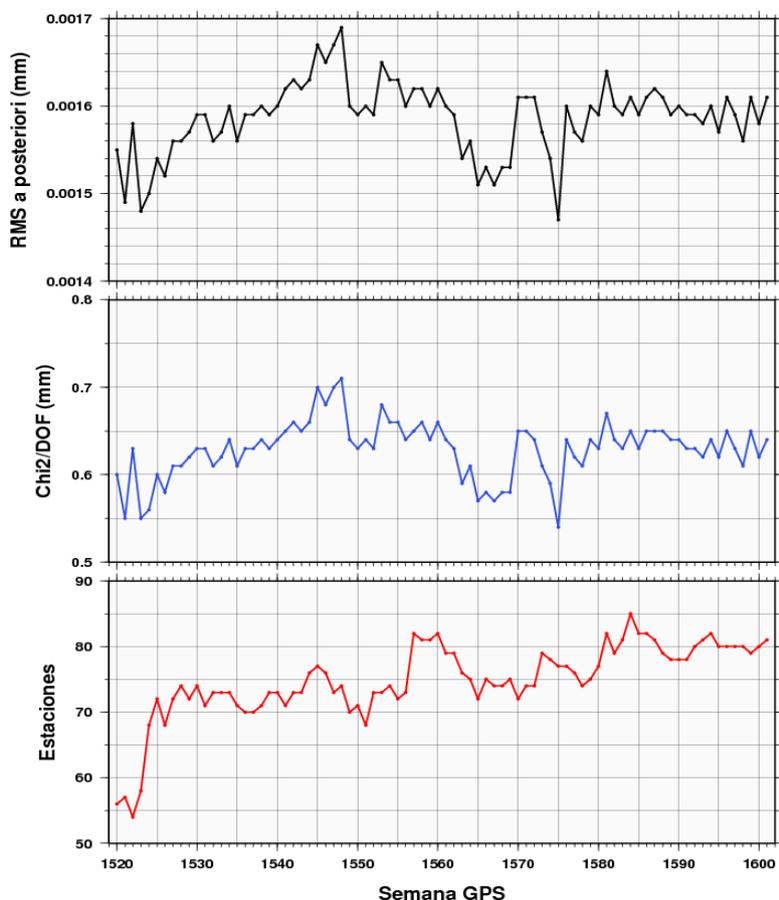


Figura 6: Estadísticas básicas evaluadas luego del ajuste de las ecuaciones normales diarias (semanas 1520 a 1560)

La consistencia interna de los resultados semanales, es decir, las coordenadas semi-libres de las estaciones SIRGAS-CON bajo responsabilidad del CPAGS-LUZ luego del ajuste por cuadrados mínimos, también es evaluada a través de la repetibilidad de la solución, obtenida al aplicar una transformación de similaridad (*Transformación de Helmert con 7 Parámetros*) entre cada solución individual y la solución combinada. En este sentido, son verificados los RMS obtenidos estableciéndose una tolerancia de 10mm para las componentes horizontales y 20mm para la altura; todo este proceso es realizado automáticamente por el BSW50. La figura 7 muestra los RMS de la repetibilidad para el periodo comprendido entre las semanas GPS 1520 y 1560.

Por otra parte, la consistencia externa es determinada a partir de la comparación con las soluciones semanales generadas por otros Centros de Procesamiento, a saber el IGAC y el DGFI. Una vez más, la *Transformación de Helmert de 7 Parámetros* es aplicada considerando el conjunto de coordenadas propias de LUZ y de dichos centros, los RMS de los parámetros de transformación desde la semana 1525 hasta la 1560 son mostrados en la figura 8. La comparación LUZ-IGAC arroja valores medios en los RMS de 0,6mm en posición y 2mm en la componente vertical; en el caso de la comparación LUZ-DGFI tales valores alcanzan una media de 1,5mm y 3,3mm en posición y altura respectivamente. Estos resultados son altamente satisfactorios por cuanto las diferencias resultan mínimas con respecto al IGAC, quien procesa la misma porción de la red SIRGAS-CON y lo mismo puede decirse sobre el contraste con la solución del DGFI, quien procesa la red en toda su dimensión. El efecto

causado por el terremoto ocurrido en Chile durante la semana GPS 1572, es observado en la misma figura.

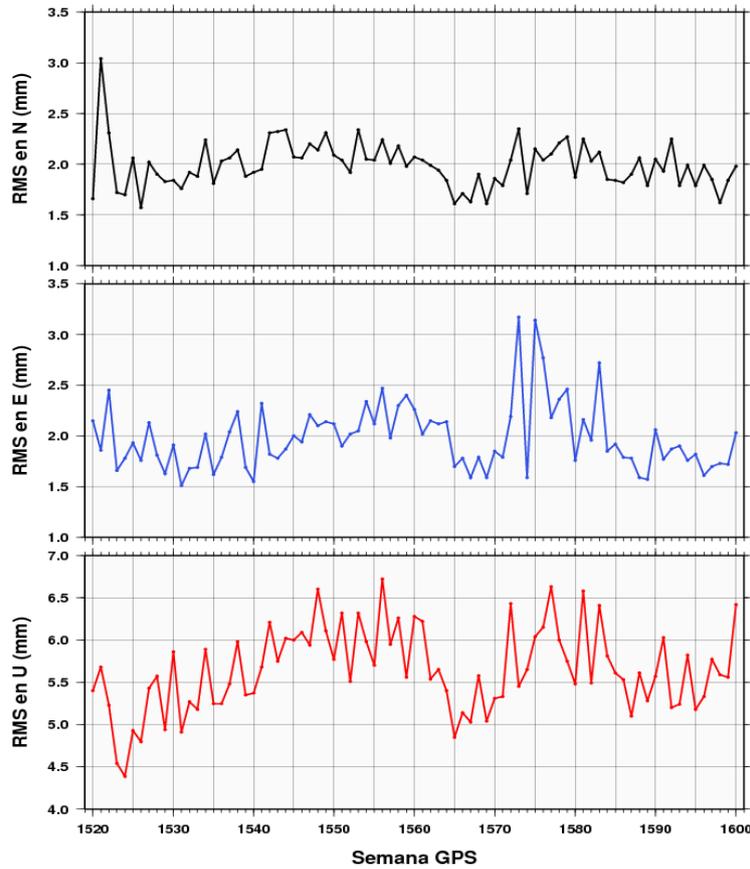


Figura 7: RMS de la repetibilidad interna de la solución CPAGS-LUZ (semanas 1520 a 1560)

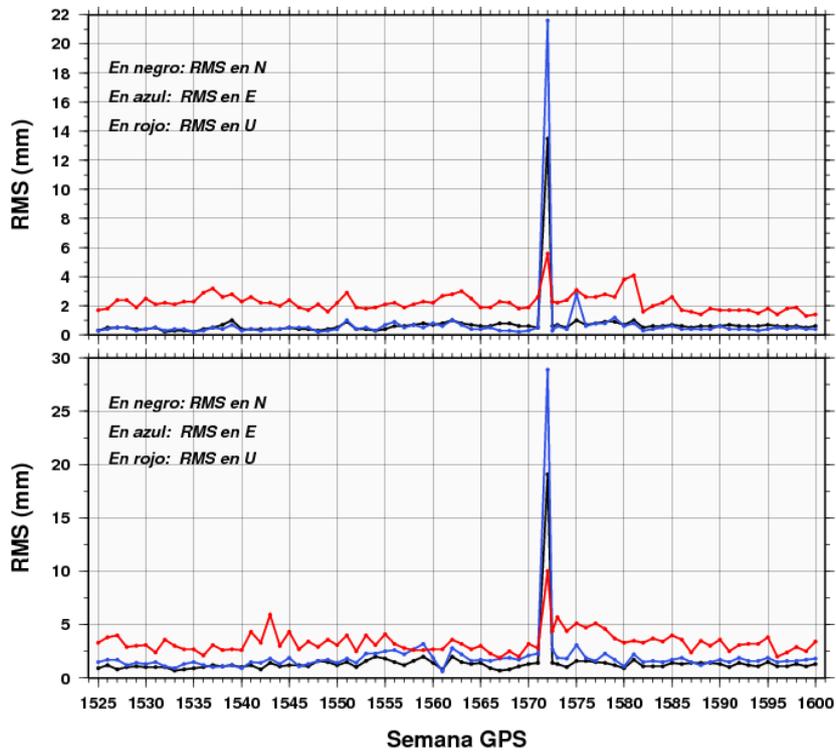


Figura 8: Residuales semanales de los parámetros de transformación de Helmert correspondientes a la comparación LUZ-IGAC (parte superior) y LUZ-DGFI (parte inferior)

Finalmente, se presenta en la figura 9 una comparación entre la posición semi-libre de la estación SIRGAS-REGVEN-REMOS Maracaibo (MARA), obtenida semanalmente por el CPAGS-LUZ, con respecto a la solución periódica y definitiva de la red SIRGAS-CON ajustada al ITRF; éste contraste proviene de una sencilla suma algebraica entre las coordenadas y permite apreciar el efecto puntual de la alineación de la red al marco de referencia.

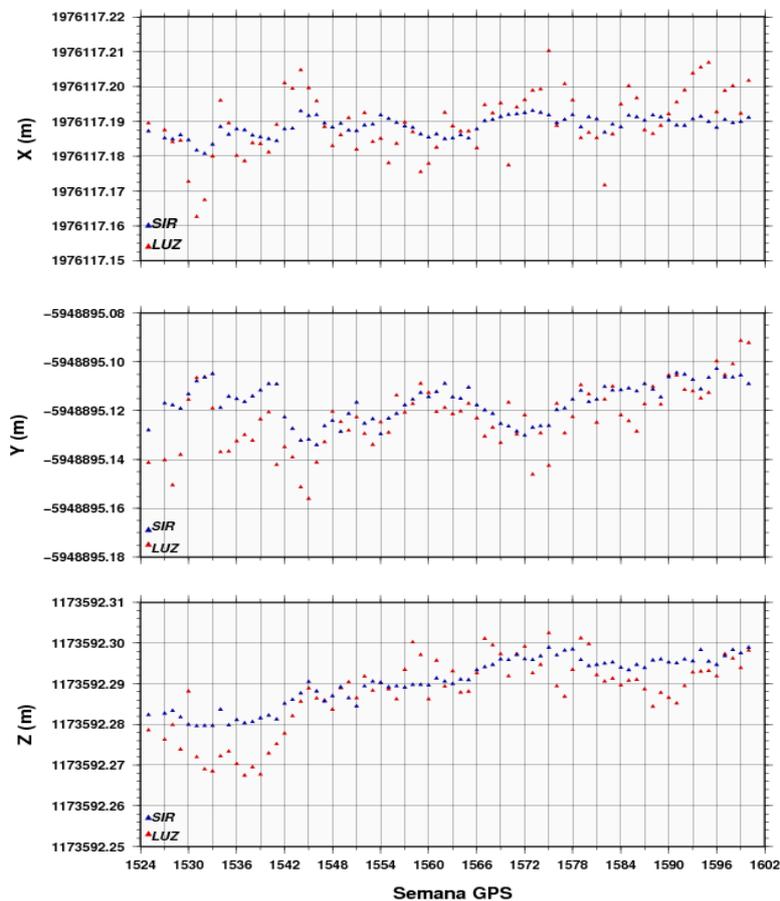


Figura 9: Comparación de soluciones semi-libre vs ajustada, semana 1525 a 1600 para la estación Maracaibo (MARA)

Las discrepancias, mostradas en la figura 10, toman valores medios de 0,006m para las componentes horizontales y 0,009m para la altura, con máximos de 0,016m y 0,033m en horizontal y vertical, y mínimos menores al milímetro. Esto sugiere que las posiciones estimadas por el CPAGS-LUZ ofrecen un alto nivel de calidad a pesar de su naturaleza semi-libre.

Aunque solo se muestran estos resultados para el caso particular de MARA, vale destacar que las diferencias medias mantienen valores muy similares para el resto de las estaciones activas venezolanas, a las cuales se les hace el mismo seguimiento y análisis dándole cumplimiento a una de las funciones del CPAGS-LUZ, como lo es hacer el seguimiento de las estaciones pertenecientes a REMOS.

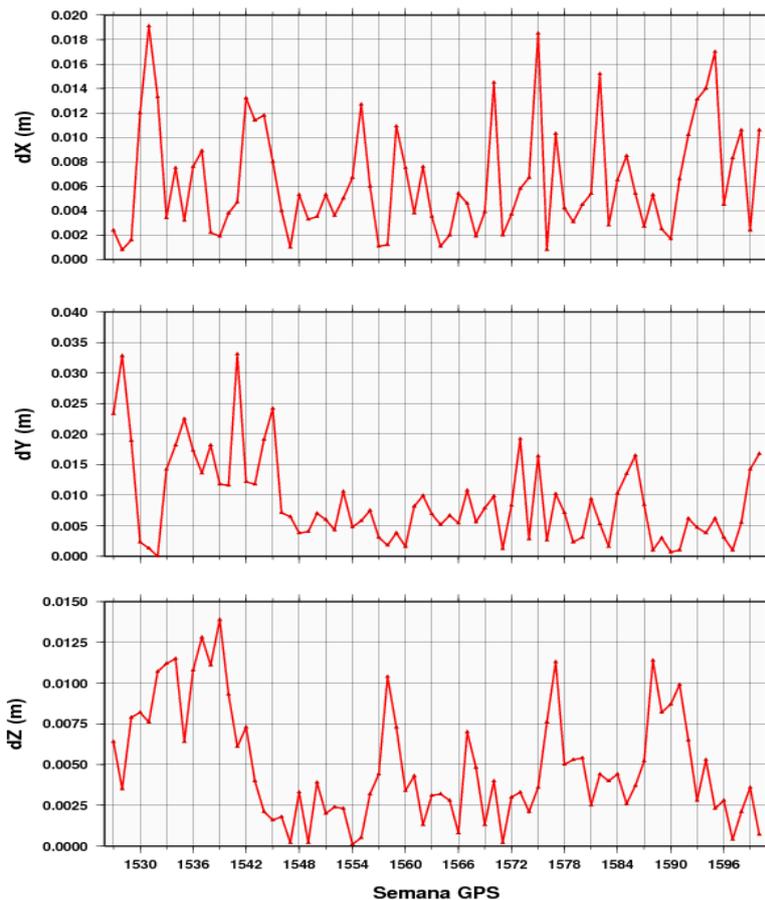


Figura 10: Diferencias entre coordenadas semi-libres y ajustadas para la estación Maracaibo (MARA)

El CPAGS-LUZ ofrece pues estos resultados hasta los momentos, a toda la comunidad SIRGAS y otros usuarios; con el corto tiempo de funcionamiento en relación a otros Centros de Análisis, solo se aportan coordenadas actualizadas de alta calidad de las estaciones activas del continente. Otros resultados relacionados con parámetros troposféricos están siendo adelantados actualmente, se ha logrado estimar la presencia de vapor de agua sobre la estación SIRGAS-REGVEN-REMOS Maracaibo (MARA), a partir del retardo zenital de la señal GNSS captada, esto con la intención de analizar efectos sobre el posicionamiento y la ocurrencia del Cambio Global. Además, se está trabajando en la implementación del NTRIP para el posicionamiento preciso en tiempo real.

METAS Y FUTURAS ACCIONES

La instalación de un Centro de Análisis SIRGAS en Venezuela, ratifica la participación del país en el Proyecto SIRGAS, contribuyendo así con el fortalecimiento de la infraestructura geodésica continental y nacional, en lo que respecta al mantenimiento y densificación del sistema de referencia y datum geodésico. Sus labores han sido reseñadas a través de la página *web* de SIRGAS y en su reunión anual de 2009, evento que permitió su presentación formal a nivel internacional, lo que ya había sido anunciado a la comunidad científico-técnica de las geociencias a través de una nota publicada en el informativo *on-line* *MundoGeo* en abril del mismo año (www.mundogeo.com). Adicionalmente, en las *III Jornadas Nacionales de Geomática* celebradas en la ciudad de Caracas en octubre de 2009, se realizó una ponencia acerca de su creación y actividades iniciales (Cioce *et al.*, 2009). El *Geom@il*

(*geomailedit@gmail.com*) en su edición de mayo de 2010, dio a conocer la noticia de la oficialización del CPAGS-LUZ.

En el corto tiempo de existencia, los logros han sido evidentes y satisfactorios para todo el equipo de trabajo, lo que nos compromete aun más a seguir aportando nuestra modesta contribución al estudio y aplicación de las geociencias en el continente, siguiendo las metas establecidas por el Proyecto SIRGAS.

Dentro del contexto de la cooperación interinstitucional, el CPAGS-LUZ está promoviendo alianzas estratégicas con aquellos entes tanto públicos como privados que de una u otra forma están relacionados con el funcionamiento de REMOS, entre ellas universidades, empresas y organismos del Estado venezolano, así podrá ser viable la formulación y ejecución de proyectos de investigación y de servicios, de provecho común para la geo-comunidad. De especial interés resulta la colaboración con el IGVSb, pues siendo el ente rector de la Cartografía y Geodesia del país, podrá disponer de una plataforma capaz de llevar a cabo el mantenimiento continuo del marco de referencia vigente, ofreciendo información geoespacial actualizada y de alta precisión para el apoyo de labores diversas que requieran de ella.

Como dependencia universitaria, el CPAGS-LUZ está orientando su presencia dentro de líneas de investigación ya existentes en el área de la Geodesia por Satélites, y a su vez se encuentra promoviendo y asumiendo una novedosa línea en la Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ, como lo es el estudio del Cambio Global bajo la perspectiva de la Geodesia Superior.

Por otra parte, una de las labores consideradas de gran importancia, es la divulgación de la información, especialmente cuando todavía persiste en el país el desconocimiento sobre las tendencias actuales del posicionamiento y sus sistemas de referencia asociados. Por ello, el CPAGS-LUZ fomenta y promueve el uso de los productos SIRGAS a nivel de las aulas de clase y en cualquier otro medio que sea necesario y aprovechable, mostrando así nuestra voluntad de capacitar, incentivar y servir.

Entre las acciones que pretenden ser abordadas a corto y mediano plazo, puede citarse la puesta en funcionamiento de las estaciones REMOS que sean accesibles para el CPAGS-LUZ, garantizando su operatividad y disponibilidad para los usuarios, además se desea su inclusión en la red GNSS-NTRIP. El desarrollo de estudios más profundo sobre la presencia del vapor de agua troposférico y sus efectos locales es otra tarea a realizar, queriéndose analizar su participación en el cambio climático y efectos sobre el posicionamiento.

REFERENCIAS

Beutler G., Bock H., Dach R., Fridez P., Gäde A., Hugentobler U., Jäggi A., Meindl L., Mervart L., Prange L., Schaer S., Springer T., Urschl C., Walser P. (2004): **“Bernese GPS Software v 5.0”**. Astronomical Institute. University of Bern. Berna, Suiza.

Cioce V. (2010): **“Diseño e instalación del Centro de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS de la Universidad del Zulia”**. Proyecto Final de Becarías Académicas. Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.

Cioce V., Hoyer M., Acuña G., Wildermann E., Royero G., Méndez T., Espinosa R. (2009): **“Instalación y funcionamiento del Centro Experimental de Procesamiento y Análisis GNSS SIRGAS del LGFS-LUZ”**. Memorias de las III Jornadas Nacionales de Geomática. Caracas, Venezuela.