Informe de las actividades realizadas por SIRGAS

2018 - 2019

Introducción

SIRGAS: el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas es el fruto de la cooperación internacional que por más de 26 años se ha centrado en el objetivo común de definir y materializar el Sistema Internacional de Referencia Terrestre, tanto geométrico como de alturas, en América Latina y el Caribe. En sus comienzos, un proyecto de la Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur, celebrada en Asunción, Paraguay, en 1993, evolucionó hacia América central y hoy es una realidad que incluye países del Caribe.

1. SIRGAS 2019

Los resultados obtenidos en el transcurso de un año, las principales actividades en desarrollo y a planificar, los cambios en los estándares utilizados y los nuevos retos son presentados y discutidos anualmente en los Simposios SIRGAS. Gracias a la cordial invitación del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística SIRGAS 2019 (Fig. 1) se celebró en la ciudad de Río de Janeiro entre el 11 y el 14 de noviembre. El Simposio contó con la presencia de 163 participantes de 16 países (Alemania, Argentina, Austria, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Estados Unidos, México, Panamá, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela).

Figura 1: Participantes SIRGAS 2019

Se presentaron 88 contribuciones (68 presentaciones orales y 20 en formato de poster). Los temas principales fueron: Conferencias de invitados (4), SLR en América Latina (cuatro contribuciones), estudios de la atmósfera y análisis del sistema Tierra basados en SIRGAS (18 contribuciones), SIRGAS-GGOS (18 contribuciones), desarrollo y mantenimiento de la estructura de referencia de SIRGAS (12 contribuciones), aplicaciones prácticas para la adopción de SIRGAS en el niveles subregional y nacional e infraestructura de SIRGAS en tiempo real (siete contribuciones), Sistemas de alturas y avances en el sistema de referencia vertical unificado de SIRGAS (nueve contribuciones), gravimetría y geoide (12 contribuciones) y reportes varios (4 contribuciones).

Mediante el patrocinio del IPGH, fue posible financiar la asistencia de 16 participantes y por su parte, el apoyo de la Asociación Internacional de Geodesia hizo posible financiar la asistencia de cinco

jóvenes científicos. Nuevamente, este apoyo fundamental hace posible las actividades de SIRGAS y es motivo de profundo agradecimiento.

Durante SIRGAS 2019 se llevaron a cabo las siguientes actividades:

2° Workshop sobre *Satellite laser Ranging* (SLR) en América Latina. Este taller (Fig. 2) se realizó entre el 6 y el 8 de noviembre en el cual se impartió instrucción sobre el procesamiento de datos SLR en el software *Bernese* 5.2 y contó con la participación de 25 participantes de ocho países (Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Perú, Uruguay y Venezuela). Especial agradecimiento a la instructora Daniela Thaller de la Agencia cartográfica federal BKG, de Alemania.

Figura 2: Participantes Taller SLR 2019

Reunión del Grupo de Trabajo I. En esta reunión, celebrada el 11 de noviembre, se abordaron los siguientes temas:

- Balance general del desempeño de los Centros de Procesamiento: el funcionamiento ha sido apropiado durante el periodo 2018-2019 en términos de puntualidad en la entrega de sus soluciones y calidad de resultados.
- Exposición sobre el estado actual del Centro de Procesamiento operado por LUZ: sus operaciones siguen paralizadas ante la continuidad de las fallas en el servicio eléctrico y acceso a internet, se está evaluando la situación esperando concretar a comienzos de 2020.
- Oficialización del Centro de Procesamiento operado por la Universidad de Santiago de Chile (USC): se informó sobre el inicio de sus actividades desde septiembre de 2019 luego de cumplir la fase como centro experimental. En este sentido, se informó sobre los acercamientos recientes de los Institutos Geográficos de Perú y Bolivia para albergar sus respectivos centros de análisis.
- Aclaratoria sobre la redistribución de estaciones para los Centros de Procesamiento: Ante el cese de funciones en UNA (ya anunciado en la reunión de Aguascalientes, México) y el cese en LUZ, fue necesaria la reasignación de estaciones a los demás centros, siendo el DGFI-TUM e IBGE los principales centros de acogida. Una tercera redistribución se dio a partir de la semana 2071 al oficializarse a USC. Esta última es la distribución vigente y en consecuencia, se aclararon detalles al respecto.
- Se informó sobre el caso de aquellas estaciones de las cuales no se tiene información sobre su estado actual, en tal sentido, se hará contacto con sus responsables a fin de gestionar su desincorporación de la red. Por otro lado, se manifestó el problema que surge al no poder disponer de las observaciones en los lapsos establecidos en las guías SIRGAS. Se realizará un inventario de las estaciones que no cumplen los estándares para aclarar el caso con sus operadores.
- Fue acordada la revisión de las guías para la incorporación de estaciones a SIRGAS-CON y la
- proposición de USC para la divulgación de videos que sirvan a los operadores de las estaciones y centros de procesamiento como guías audiovisuales para la realización de tareas comunes (e.g.

generación del *logfile*, registro de alturas de antena, otros). Los videos estarán disponibles al público en general.

- Se informó sobre la adopción, por parte del IGS, de la versión 3 del formato RINEX para la publicación de sus datos, lo que obliga a los centros de procesamiento a adecuar sus rutinas de descarga y edición de datos, así como a mantener actualizada la versión del software de procesamiento

Reunión del Grupo SIRGAS en Tiempo Real (RT). Celebrada el 13 de noviembre, esta reunión tuvo como principales resultados:

- Exposición a los presentes que está a disponible el caster de tempo real de SIRGAS para realizar pruebas desde grupos o países que aún no disponen de un caster propio. Panamá se mostró interesada en este tema, se pondrá en contacto con el responsable del caster para avanzar en su utilización.
- Presentación del estado de la red RT de Brasil, Argentina y Uruguay. En este aspecto se consultó sobre la cantidad de usuarios RT en los países encontrándose que Argentina cuenta con 350 usuarios registrados en el servicio NTRIP, Brasil tiene 400 usuarios registrados, cerca de 35000 IP diferentes en 2019 y ofrece un acceso a varios grupos que trabajan en ciencia con datos en tiempo real como por ejemplo para la producción de productos atmosféricos;
- Descripción de la iniciativa RT del Perú, país que tiene previsto implementar el servicio de tiempo real que no sería de acceso gratuito, sino utilizable mediante pago.
- Se propuso que se pudiera ver la posibilidad de aplicar un control de calidad de las estaciones en tiempo real, propuso ver en detalle uno de los trabajos presentados de su coautoría en este simposio. Se comentó también sobre la positiva cooperación establecida entre el caster de IBGE y el de la UNESP mediante el cual comparten los *streams* de varias estaciones.

Reunión del Grupo de Trabajo III. Celebrada el 14 de noviembre, en esta reunión se abordaron discusiones sobre los siguientes aspectos:

- Protocolos actuales del Grupo de Trabajo.
- El *International Height Reference System* (IHRS) y el *International Height Reference Frame* (IHRF) en el contexto de SIRGAS.
- Revisión de las actividades realizadas por el GT III entre los años 2013 y 2019.
- Discusión de los aspectos más críticos en la realización del Sistema Vertical de referencia de SIRGAS.
- Perspectivas sobre la nueva estructura del Grupo de Trabajo.
- Identificación de las actividades que deben abordarse de manera prioritaria.

Reunión del Consejo Directivo. Esta reunión se llevó a cabo entre los días 13 y 14 de noviembre, teniendo la siguiente agenda (Fig. 3):

- Análisis y propuestas sobre los Resultados de la Sexta Sesión de UN-GGIM: Américas y la creación de un grupo de trabajo GGRF.
- Resultados del Taller Internacional para la Implementación del GGRF celebrado en Buenos Aires entre el 16 y el 20 de septiembre de 2019 en Buenos Aires y de la 27 Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica –IUGG - celebrada en Montreal entre el 8 y el 18 de julio de 2019.
- Sobre el estado de la implementación del *International Height Reference System /Frame* - IHRS/IHRF- en SIRGAS
- Sobre la propuesta de nuevos estatutos para SIRGAS
- Selección de la sede para el Simposio SIRGAS 2021 – Lima, por IGN de Perú

- Elecciones SIRGAS 2019: Informe sobre proceso electoral 2019, presentación de las Autoridades entrantes, Cambio de autoridades de SIRGAS.

Figura 3: Reunión Consejo Directivo 2019

Es de destacar el hecho de que para el período 2019-2023 han sido elegidos como autoridades SIRGAS la doctora Sonia Costa de Brasil (IBGE) como Presidente y el doctor Diego Piñón como Vicepresidente (IGN Argentina). Votos por los mejores éxitos en su gestión, la cual está prácticamente asegurada en virtud de sus trayectorias y compromiso con SIRGAS. Los acompañan en este importante papel personalidades de la comunidad geodésica del continente: Víctor Cioce de Venezuela (LUZ) Presidente GTI -sistema de referencia, y Gabriel Guimaräes, Presidente del GTIII -datum vertical. En cuanto al sitio web, su impecable actualización y mantenimiento continúa a cargo de la doctora Laura Sánchez (DGFI - Alemania) con el apoyo para la versión en portugués de los profesores Wagner Machado y Gabriel Guimaräes; el manejo de redes sociales se ha encargado al profesor José A. Tarrío (USC - Chile).

Realización de GGOS days 2019. Los directivos del *Gobal Geodetic Observing System* (GGOS) de la Asociación Internacional de Geodesia se reunieron durante SIRGAS 2019 (Fig. 4) y realizaron una sesión conjunta en la cual compartieron los avances y perspectivas en temas de la geodesia global y espacial. Este importante acercamiento permitió a los asistentes contar con una descripción, de primera mano, acerca de los tópicos más relevantes de la geodesia y sus retos frente a la observación del sistema Tierra. Entre los temas tratados se incluyeron la definición, objetivos y alcances de GGOS, sus servicios relacionados con las técnicas espaciales y satelitales y los avances en cada uno de estos temas.

Figura 4: Reunión y sesión conjunta GGOS – SIRGAS

2. Taller Internacional sobre la Implementación del Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF) en América Latina

Con base en el reporte preparado por la doctora Laura Sánchez y el doctor Claudio Brunini, se tiene que el Taller Internacional para la Implementación del Marco de Referencia Geodésico Global en América Latina (Fig. 5) se llevó a cabo en Buenos Aires, Argentina, entre septiembre 16 y 20 de 2019. Este taller consistió en una actividad de formación del proyecto "*Implementation of the United Nations' Resolution on the Global Geodetic Reference Frame (UN-GGRF) for Sustainable Development in Latin America*" auspiciado por la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) en el marco de la celebración de los cien años de su fundación.

Figura 5: Asistentes Taller Internacional sobre la Implementación del Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF) en América Latina

Este proyecto, liderado por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), ha contado con el respaldo de la Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra (IASPEI) y los Comités Nacionales de la IUGG en Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Costa Rica.

Adicionalmente al apoyo brindado por la IUGG, la IAG y la IASPEI, el taller contó con el soporte del Comité Internacional en Sistemas Satélitales Globales de Navegación (ICG) de la Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos del Espacio Exterior (UNOOSA).

Con el dinero aportado por la IUGG fue posible cubrir gastos parciales de viaje de 28 colegas provenientes de 14 países latinoamericanos. El ICG-UNOOSA proporcionó seis tiquetes aéreos para colegas de Colombia, Perú, Chile, Brasil, Costa Rica y Ecuador.

La organización local estuvo a cargo del Instituto Geográfico Nacional (IGN) de la Argentina y el Observatorio Geodésico Argentino-Alemán (AGGO). Se reconoce y agradece profundamente el soporte proporcionado por la IUGG, ICG-UNOOSA, IGN, AGGO y por todos los expertos que contribuyeron al taller con sus presentaciones.

En total participaron 130 colegas procedentes de 20 países (Alemania, Argentina, Australia, Bolivia, Brasil, Chile, China, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos, Francia, Guatemala, Italia, México, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Uruguay y Venezuela). Con 52 presentaciones distribuidas en ocho sesiones, fue posible reunir iniciativas políticas, organizaciones internacionales científicas, el más alto nivel de experiencia en Geodesia en todo el mundo y especialistas regionales en

Geodesia para proporcionar argumentos políticos, científicos y técnicos a los colegas latinoamericanos, que les sirvan para interactuar y convencer a los gobernantes locales y regionales sobre la necesidad e importancia de invertir en infraestructura geodésica y geofísica en sus países.

3. Logros Grupo de Trabajo I y II

En el ámbito del sistema de referencia, SIRGAS alcanzó en 2019 la cifra cercana a las 400 estaciones continuas (SIRGAS-CON) en funcionamiento, de las cuales 59 están incluidas en la solución del Servicio Internacional de los GNSS (IGS). Esta red (Fig. 6) está orientada al aseguramiento del marco de referencia de alta exactitud consistente con el Marco Internacional de referencia terrestre (ITRF). De este modo, la red SIRGAS-CON es la densificación en América Latina y El Caribe del ITRF, logro que se alcanza mediante el procesamiento riguroso de datos en intervalos semanales.

El indicador de error de las soluciones combinadas SIRGAS-CON señala que se alcanza, en general 1,5 mm en posición horizontal.

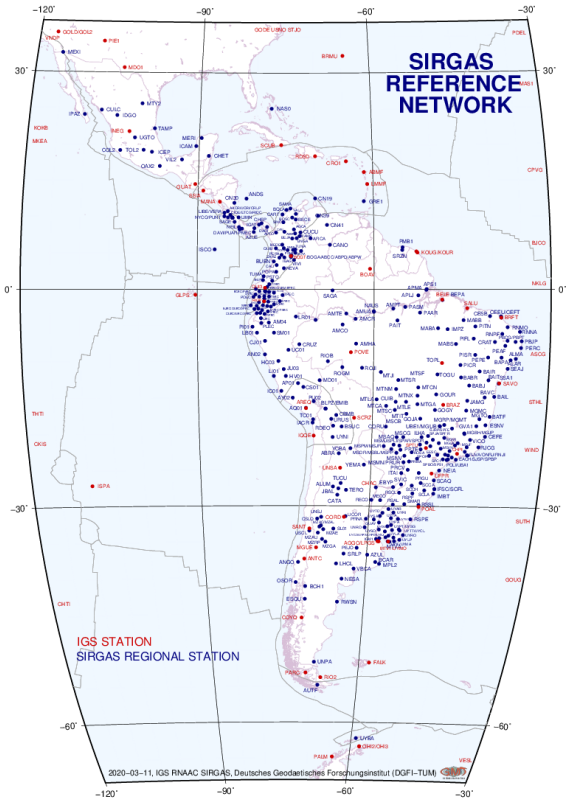

Figura 6: Red de referencia SIRGAS. SIRGAS-CON

La red es operada, procesada mediante el trabajo coordinado y continuo de 13 centros de datos, 10 centros de procesamiento y dos centros de combinación. Adicionalmente, se incorporan con fines de investigación atmosférica el centro de análisis ionosférico de la Universidad Nacional de La Plata y el centro de análisis de la atmósfera neutra de la Universidad Nacional de Cuyo y UNCuyo/Universidad Juan Agustín Maza.

En mayo de 2019 la Universidad de Santiago de Chile se convirtió en nuevo centro de procesamiento SIRGAS. Por otra parte, de manera desafortunada, el centro de procesamiento de la Universidad del Zulia (LUZ) ha dejado de operar en junio, por razones de fuerza mayor, y el procesamiento de las

estaciones a su cargo fue asumido por el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas de la Universidad Técnica de Múnich (DGFI-TUM).

Los productos generados por el GTI son principalmente las soluciones semanales semilibres, normalmente empleadas en cálculos de combinación y determinación de soluciones multianuales) y las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON, las cuales se disponen como valores de referencia para los usuarios en América Latina.

En relación con la gestión y colaboración del GTII, en 2019 SIRGAS cuenta con la participación de 21 países miembros: Argentina*, Bolivia*, Brasil*, Chile*, Colombia*, Costa Rica*, República Dominicana, Ecuador*, El Salvador*, Estados Unidos, Guyana Francesa*, Guatemala*, Guyana, Honduras, México*, Nicaragua, Panamá*, Paraguay, Perú*, Uruguay* y Venezuela*.

*Países que han adoptado SIRGAS como referencia nacional y lo densifican mediante redes nacionales (Fig. 7).

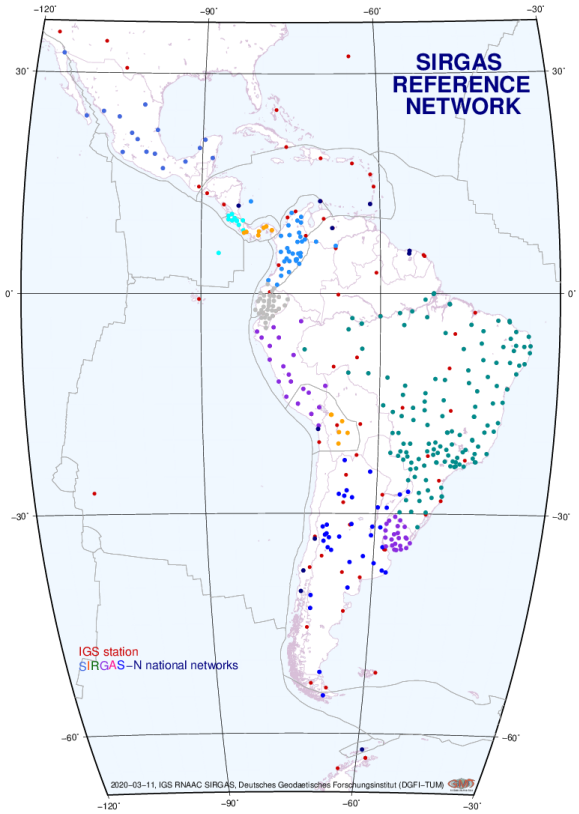

Figura 7: Redes nacionales SIRGAS

4. Logros Grupo de Trabajo III - Datum Vertical

A 2019, siguiendo la senda iniciada desde 1997, el GTIII ha compilado la mayor parte de la información de alturas (físicas y geométricas) de los países miembros (Fig. 8), ha identificado y tratado los problemas propios de las pérdidas de conexiones y comisión de errores, ha coordinado campañas de medición en áreas adyacentes y ha proporcionado el acompañamiento técnico necesario para el procesamiento de datos en el orden nacional.

En relación con el Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS), se han adelantado importantes actividades en cuanto a la incorporación de alturas físicas, la conexión a los componentes geométricos

de SIRGAS, la integración de las redes verticales nacionales, su vinculación al valor de potencial de referencia W0 del IHRS, la definición para una época específica y la conexión consistente con el ITRF.

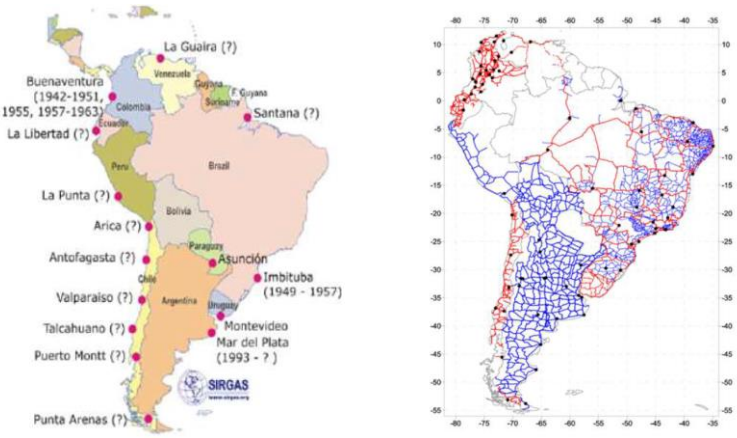

Figura 8: Datum y redes verticales nacionales en SIRGAS

En el contexto de la integración al IHRS/IHRF, SIRGAS ha propuesto un conjunto de 22 estaciones en América Latina y El Caribe y avanza en la realización de tales estaciones.

5. Productos atmosféricos

Ionosfera: desde julio de 2005, la Universidad Nacional de La Plata, Centro de Análisis Ionosférico de SIRGAS, produce mapas horarios del contenido vertical total de electrones (vTEC) para la región SIRGAS. Estos mapas, conocidos como mapas ionosféricos SIRGAS-UNLP, son calculados aplicando el Modelo Ionosférico de La Plata (LPIM), que se basa en la representación de la ionosfera mediante una capa de espesor despreciable. Los 24 mapas diarios, tanto en formatos gráfico y numérico (mallas de 1° x 1° en latitud y longitud) como en animaciones (películas) se encuentran disponibles en http://cplat.fcaglp.unlp.edu.ar/ (Fig. 9).

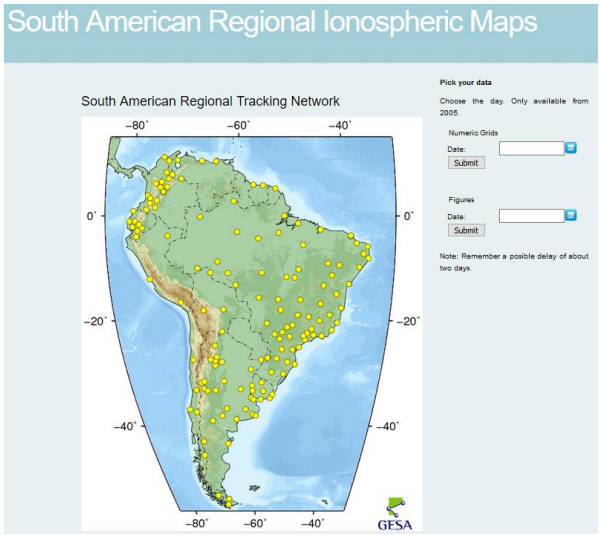

Figura 9: Mapas ionosféricos SIRGAS-UNLP

Los mapas ionosféricos SIRGAS-UNLP están siendo utilizados en diferentes estudios, como la validación de la Ionosfera de Referencia Internacional (IRI) sobre América del Sur, el mejoramiento del posicionamiento GNSS con receptores de una frecuencia y análisis de factibilidad para el cálculo de la corrección ionosférica para un sistema regional de augmentación basado en satélites (SBAS). Este último estudio ha sido promovido por la Organización Internacional de Aviación Civil (OACI) en el marco del proyecto SACCSA (Solución de Aumentación para el Caribe, Centro y Sur América).

Troposfera: Dentro del procesamiento semanal de la red SIRGAS de Operación Continua (SIRGAS-CON), los Centros de Análisis SIRGAS estiman rutinariamente retrasos troposféricos cenitales (ZPD) con una frecuencia horaria de muestreo (Fig. 10). Estos retrasos son los datos primarios en la generación de los productos troposféricos de SIRGAS, los cuales propocionan soluciones semanales combinadas del retardo troposférico para cada estación SIRGAS. Dado que la determinación de los ZPD se basa en las soluciones semanales de la red SIRGAS-CON, estaciones no incluídas en dichas soluciones son omitidas en la determinación de los ZPD.

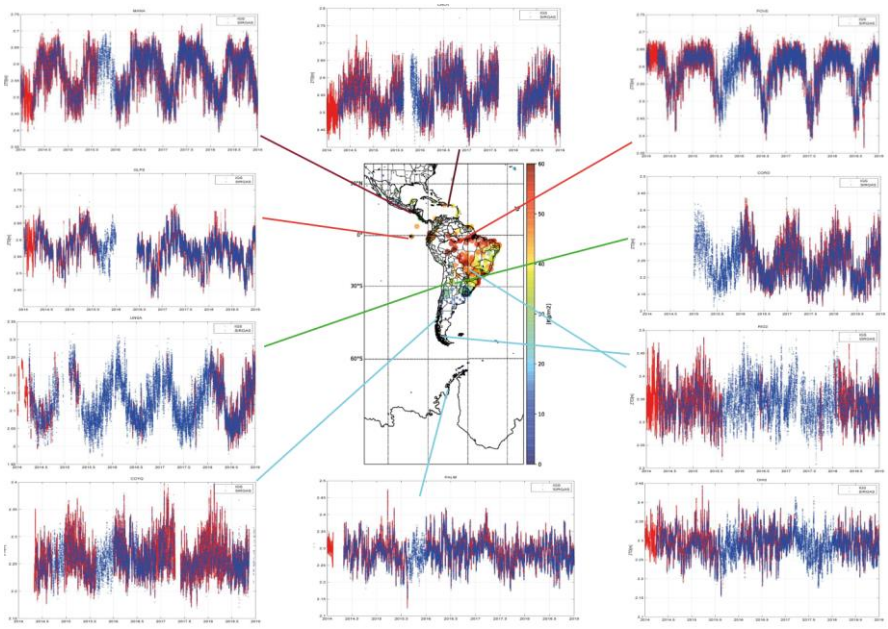

Figura 10: Series de tiempo SIRGAS de retrasos troposféricos cenitales.

Los productos troposféricos SIRGAS son generados por el Centro de Análisis SIRGAS para la Atmósfera Neutral (CIMA), que es operado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo (UNCuyo, Mendoza, Argentina) en cooperación con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Juan Agustín Maza (Mendoza, Argentina) y con el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina (CONICET).

Los productos troposféricos SIRGAS se generan semanalmente con una latencia de 30 días. Estos están disponibles en formato SINEX TRO desde enero de 2014 en archivos diarios con un intervalo horario de muestreo y pueden descargarse de ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/.