

Introducción

SIRGAS es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Su definición corresponde con el Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS: International Terrestrial Reference System) y su realización es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF: International Terrestrial Reference Frame). Además del sistema de referencia geométrico, SIRGAS se ocupa de la definición y realización de un sistema vertical de referencia basado en alturas elipsoidales como componente geométrica y en números geopotenciales (referidos a un valor W_0 global convencional) como componente física.

SIRGAS inició en la Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur celebrada en Asunción, Paraguay, en 1993. Esta Conferencia fue convocada y patrocinada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la US National Imagery and Mapping Agency (NIMA), actualmente, National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). El nombre inicial de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) fue cambiado en febrero de 2001 a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, dada la extensión del marco de referencia y la recomendación de la Organización de las Naciones Unidas en su Séptima Conferencia Cartográfica de las Américas (Nueva York, enero 22 al 26 de 2001) sobre la adopción de SIRGAS como sistema de referencia oficial en todos los países de las Américas.

SIRGAS participa en la Comisión 1 (Reference Frames) de la IAG, a través de la Subcomisión 1.3 (Regional Reference Frames) como responsable del Marco de Referencia Regional para Sur y Centro América (1.3b Regional Reference Frame for South and Central America). Igualmente, SIRGAS se desempeña como un grupo de trabajo de la Comisión de Cartografía del IPGH.

SIRGAS es la base para el desarrollo de proyectos comprometidos con la generación y utilización de información georreferenciada en la región, tanto a nivel nacional como internacional. Además de proveer las coordenadas de referencia para aplicaciones prácticas como proyectos de ingeniería, administración digital de información geográfica, infraestructuras de datos espaciales, etc.; SIRGAS es la plataforma para una variedad amplia de aplicaciones científicas como observación de deformaciones de la corteza terrestre, movimientos verticales, variación del nivel del mar, estudios atmosféricos, etc.

Estructura de SIRGAS

Los asuntos administrativos de SIRGAS son coordinados por el Consejo Directivo, el cual depende del Comité Ejecutivo, cuerpo principal de la organización. Las políticas y recomendaciones oficiales de SIRGAS son aprobadas y emitidas por el Comité Ejecutivo, el cual, al estar compuesto por un representante de cada país miembro y uno por cada entidad patrocinadora, también se encarga de transmitir las recomendaciones SIRGAS a las entidades nacionales responsables de los sistemas locales de referencia. Las actividades científicas y técnicas son coordinadas por los Grupos de Trabajo en colaboración con el Consejo Científico y los representantes de la IAG (International Association of Geodesy) y el IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia).

Definiciones y realizaciones del marco de referencia geocéntrico

El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) es la densificación regional del marco global de referencia terrestre del IERS (ITRF: International Terrestrial Reference Frame). Su definición es idéntica a la definición del Sistema Internacional de Referencia Terrestre del IERS (ITRS: International Terrestrial Reference System). 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 materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época, son compatibles en el nivel milimétrico.

La primera realización de SIRGAS (SIRGAS95) corresponde al ITRF94, época 1995,4 y está dada por una red GPS de alta precisión con 58 estaciones distribuidas sobre América del Sur. Esta red fue reocu-

pada en el año 2000, extendiéndose a los países del Caribe y de Centro y Norte América. Por esta razón, el significado original del acrónimo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) cambió a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. La nueva realización de SIRGAS (SIRGAS2000) incluye 184 estaciones y corresponde al ITRF2000, época 2000,4. La precisión de las coordenadas de estas dos realizaciones está entre $\pm 3 \dots \pm 6$ mm.

La tercera realización de SIRGAS es la red SIRGAS de Observación Continua (SIRGAS-CON). Actualmente está compuesta por ~130 estaciones GNSS de funcionamiento continuo, de las cuales ~50 pertenecen a la red global del IGS (International GNSS Service). La operabilidad de SIRGAS-CON se fundamenta en la contribución voluntaria de más de 30 institutos y universidades, que han instalado las estaciones y se ocupan de su operación adecuada para, posteriormente, poner a disposición de los centros de análisis la información observada.

Campo continuo de velocidades horizontales SIRGAS

La relación entre las diferentes realizaciones de SIRGAS está dada por los parámetros de transformación entre los ITRF correspondientes y la reducción de las coordenadas a la misma época de referencia. Dicha reducción puede aplicarse de dos maneras: i) las estaciones de funcionamiento continuo (SIRGAS-CON) con más de dos años de observación, utilizan las velocidades calculadas en la solución multianual más reciente del IGS-RNAAC-SIR, y ii) para aquellas estaciones, cuyas velocidades no están incluidas en dichas soluciones, se utiliza el Modelo de Velocidades SIRGAS (VEMOS: Velocity Model for SIRGAS). Las diferentes realizaciones de SIRGAS, reducidas a la misma época de referencia, son compatibles en el nivel del milímetro. El Modelo de Velocidades SIRGAS (VEMOS) ha sido calculado a partir de las coordenadas SIRGAS95 y SIRGAS2000, de las velocidades de las estaciones SIRGAS-CON determinadas por el IGS-RNAAC-SIR y de diferentes proyectos geodinámicos desarrollados en la región. Dado que la precisión de las coordenadas reducidas en el tiempo depende directamente de la confiabilidad de este modelo, su cualificación permanente también es un objetivo de SIRGAS.

Centros de datos y procesamiento

SIRGAS-CON es procesada semanalmente por el DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) como centro de análisis oficial IGS-RNAAC-SIR (IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS). El DGFI proporciona soluciones libres semanales para la integración de SIRGAS-CON en el poliedro global del IGS, así como soluciones multianuales (coordenadas asociadas a una época de referencia y las velocidades de las estaciones) y soluciones semanales fijas (referidas a la época de observación) para aplicaciones prácticas en América Latina.

Los Centros de Datos del SIRGAS son el DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Munich Alemania) y el IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Río de Janeiro, Brasil). En ellos reposan las observaciones, procesamiento y resultados de las campañas GPS SIRGAS95 y SIRGAS2000.

SIRGAS ha auspiciado la instalación de centros de procesamiento experimentales bajo la responsabilidad de distintas instituciones de los países latinoamericanos, a saber:

- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Río de Janeiro, Brasil.
- IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá Colombia.
- IGMA: Instituto Geográfico Militar de la Argentina, Buenos Aires, Argentina.
- INEGI: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguas Calientes, México.
- UNLP: Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

El objetivo de este experimento es establecer centros de cálculo oficiales en Latinoamérica que en un futuro mediano estén a la par, en cuanto a calidad y eficiencia, con el centro de procesamiento oficial actual. Hasta tanto esta cualificación no haya sido probada, los productos de los centros de cálculo experimentales son de uso interno. Consecuentemente, debe tenerse presente que esta parte del organigrama puede variar según la declinación o aceptación de los centros de cálculo activos.

Dado el incremento de estaciones de funcionamiento continuo en la región, la red SIRGAS de funcionamiento continuo (SIRGAS-CON) ha sido dividida en dos partes, la norte (desde Ecuador hasta México) es procesada por IGAC e INEGI y la sur (desde Brasil hasta Antártica) por IBGE, IGMA y UNLP. La combinación de las soluciones individuales conduciría al cálculo semanal oficial de la red completa; es decir que correspondería a las soluciones actuales generadas por el IGS-RNAAC-SIR. Dado que esta actividad se basa en los centros de cálculo experimental, los centros de combinación también son experimentales. Dichos centros son:

- DGFI: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Munich, Alemania.
- IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Río de Janeiro, Brasil.
- UNLP: Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina.

Mapas Ionosféricos

Mapas Ionosféricos Regionales para América del Sur (SAIM) son calculados diariamente por GESA (Centro de Procesamiento de La Plata, Georreferenciación Satelitaria) utilizando el Modelo Ionosférico de La Plata (LPIM). El contenido total vertical de electrones (VTEC) es modelado mediante armónicos esféricos en un marco de referencia solar - geomagnético a partir de 50 estaciones SIRGAS-CON distribuidas en la región. Los resultados se presentan con una frecuencia horaria.

Densificaciones nacionales

Inmediatamente después de la campaña SIRGAS95, los países de América del Sur se concentraron en la modernización de los datum geodésicos locales mediante la densificación nacional de la red SIRGAS y la determinación de los parámetros de transformación necesarios para migrar al nuevo sistema SIRGAS la información geográfica asociada a los datum antiguos. Inicialmente, estas densificaciones fueron realizadas a través de redes pasivas (conformadas por pilares), pero, en la actualidad, la mayoría de los países están instalando estaciones de funcionamiento continuo. Estas estaciones, además de conformar los marcos de referencia nacionales, son la base para el desarrollo de aplicaciones rutinarias basadas en navegación y posicionamiento apoyados en satélites.

Datum vertical

Los principales objetivos de SIRGAS son definir un sistema de referencia vertical unificado, establecer el marco de referencia correspondiente y transformar los sistemas clásicos de alturas existentes al sistema moderno. Una de las actividades fundamentales es la elaboración del diagnóstico de los datum verticales existentes, cuyas conclusiones pueden resumirse en:

- el nivel de referencia de los datum verticales latinoamericanos corresponde con el nivel medio del mar registrado en diferentes mareógrafos, durante diferentes períodos de tiempo, es decir, dichos niveles varían en función de la posición geográfica y están asociados a diferentes épocas de referencia,
- las redes verticales han sido extendidas en los diferentes países mediante nivelación geométrica de alta precisión, pero en general, los desniveles medidos no han sido corregidos por los efectos del campo de gravedad,
- estos sistemas no tienen en cuenta la variación de las alturas y del nivel de referencia con respecto al tiempo, es decir son estáticos, y por todo esto,
- los sistemas de alturas existentes en América Latina presentan discrepancias considerables entre países vecinos, no permiten el intercambio consistente de información geográfica y no están en capacidad de ser la referencia para la determinación de alturas a partir de técnicas GNSS en combinación con modelos geoidales de alta resolución.

El nuevo sistema de referencia vertical para SIRGAS está basado en dos componentes: una geométrica y una física. La componente geométrica corresponde a alturas elipsoidales referidas al datum SIRGAS, mientras que la componente física está dada en cantidades potenciales (W_0 como nivel de referencia y números o cotas geopotenciales como coordenada vertical primaria). La realización de este sistema de referencia debe:

- referirse a un nivel de referencia W_0 global unificado,
- basarse en alturas físicas propiamente dichas (es decir, derivadas de nivelación geométrica en combinación con reducciones por efectos del campo de gravedad terrestre), y
- estar asociada a una época específica de referencia, i. e. debe considerar el cambio de las alturas y de su nivel de referencia con respecto al tiempo. Consecuentemente, la superficie de referencia correspondiente (geoide para alturas ortométricas o cuasigeoide para alturas normales) debe determinarse de manera unificada en todo el continente.

La componente geométrica (alturas elipsoidales referidas al datum SIRGAS) está prácticamente lista, ya que los países de la región han adoptado oficialmente el sistema SIRGAS y lo utilizan como base para las aplicaciones prácticas y científicas. La realización de la componente física (alturas físicas y la superficie de referencia correspondiente) demanda, entre otras actividades,

- el ajuste continental de los números geopotenciales con respecto a un valor W_0 único para todos los países de la región,
- la determinación unificada de un modelo (cuasi)geoidal para todo el continente, y
- la transformación de los sistemas de alturas existentes en el nuevo sistema.

Con respecto a la primera tarea, los países latinoamericanos han sido invitados a revisar las redes de nivelación de primer orden, a controlar la información gravimétrica existente y a calcular los números geopotenciales. Esta información debe ser entregada oportunamente al centro de análisis respectivo para avanzar en el ajuste continental mencionado. En cuanto a la segunda tarea, el cálculo del (cuasi)geoide debe adelantarse de manera común por todos los países de la región, utilizando un modelo global de gravedad (GGM) derivado de las nuevas misiones satelitales (CHAMP, GRACE, GOCE) como campo de referencia y datos de gravedad terrestre (aérea y marina) para determinar las componentes de altas frecuencias.

La unificación de los datum verticales clásicos en el nuevo sistema de alturas es posible mediante la estimación confiable de las diferencias de potencial (también llamadas discrepancias de los datum) entre los niveles de referencia individuales y el valor global W_0 . Dicha estimación se basa en la combinación de alturas elipsoidales (derivadas de técnicas espaciales), números geopotenciales (derivados de nivelación en combinación con reducciones de gravedad) y la solución del problema de valor límite, es decir, la determinación del (cuasi)geoide. Con el propósito de obtener valores confiables para las discrepancias de los datum, éstas deben ser determinadas en: los puntos de referencia de los datum clásicos (mareógrafos), en las áreas marinas adyacentes a dichos puntos, en las estaciones de referencia SIRGAS y en los puntos fronterizos que sirven de conexión entre las redes verticales de países vecinos. Los valores finales de las discrepancias verticales serán obtenidos mediante el ajuste combinado de los sistemas de ecuaciones de observación generados por cada una de las aproximaciones señaladas.

Página web

Agosto, 2007. La página web es trasladada del IGM-Argentina al dominio www.sirgas.org. Se continúa con el diseño manejado por los sitios anteriores, IBGE e IGM-Argentina, ampliándose la sección correspondiente a la red SIRGAS de estaciones CONTinuas (SIRGAS-CON). El mantenimiento de la nueva página web está a cargo de la Vice presidente de SIRGAS, Laura Sánchez, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI).

Diciembre, 2004. El Vicepresidente de SIRGAS, Eduardo Lauría, propone la modernización de la página web de SIRGAS y ofrece su institución como sede de la misma. Así, la página web de SIRGAS es trasladada del IBGE al Instituto Geográfico Militar de la Argentina. En esta nueva versión, se destaca la interac-

tividad del usuario con el manejo y consulta de las coordenadas SIRGAS95 y SIRGAS2000, así como la obtención *on line* de velocidades a partir del modelo VEMOS. Se introducen nuevas secciones correspondientes a los Grupos de Trabajo de SIRGAS y se continúa con la actualización rutinaria referente a los Boletines Informativos y difusión de las reuniones SIRGAS.

Noviembre, 2002. La primera versión de la página web de SIRGAS es diseñada, elaborada y mantenida por el Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, agencia a la que pertenece el Presidente de SIRGAS, Luiz Paulo Souto Fortes. Esta página describe los objetivos y estructura de SIRGAS, incluye los Estatutos recientemente aprobados y contiene los principales productos SIRGAS: coordenadas de las camañas SIRGAS95 y SIRGAS2000, así como el modelo de velocidades VEMOS. A través de ella se establece la generación rutinaria de los Boletines Informativos y la difusión de las Reuniones SIRGAS.

Octubre, 2002. Con la introducción de los Estatutos de SIRGAS se acuerda implementar una página web que permita la difusión de los objetivos, logros y alcances de SIRGAS.

Reuniones y boletines informativos

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Bogotá, Colombia. 7 - 8 de junio de 2007. Elección Consejo Directivo 1007 - 2011. (Boletín No. 12).

Reunión técnica SIRGAS-GTI y SIRGAS-GTII. Heredia, Costa Rica. 27 - 28 de noviembre de 2006. Integración de América Central y el Caribe en SIRGAS. (Boletín No. 11).

Taller de trabajo SIRGAS-GTI. Río de Janeiro, Brasil. 16 - 18 de agosto de 2006. Instalación de los centros experimentales de procesamiento SIRGAS. (Boletín No. 10).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Caracas, Venezuela. 17 - 18 de noviembre de 2005. Actividades técnicas de SIRGAS-GTI, SIRGAS-GTII, SIRGAS-GTIII. (Boletín No. 9).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Aguascalientes, México. 9 - 10 de diciembre de 2004. Actividades técnicas de SIRGAS-GTI, SIRGAS-GTII, SIRGAS-GTIII. (Boletín No. 8).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Santiago de Chile, Santiago. 21 - 25 de octubre de 2002. Solución final de la campaña SIRGAS2000. Elección Consejo Directivo 2003 - 2007. Introducción de los Estatutos SIRGAS. (Boletín No. 7, Reporte SIRGAS2000).

Reunión técnica SIRGAS-GTI y SIRGAS-GTIII. Budapest, Hungría. Asamblea Científica de la IAG. 2 - 7 de septiembre de 2001. Soluciones preliminares de la campaña SIRGAS2000. (Boletín No. 7).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Cartagena, Colombia. 20 - 23 de febrero de 2001. Extensión de SIRGAS a Centro y Norte América. Diagnóstico de la campaña GPS SIRGAS2000. (Boletín No. 6).

Reunión técnica SIRGAS-GTI y SIRGAS-GTIII. Asamblea General de la IUGG, Birmingham, Inglaterra. 27 - 28 de julio de 1999. Preparación campaña SIRGAS2000. (Boletín No. 6).

Primera reunión técnica SIRGAS-GTIII. Santiago de Chile, Chile. 11 - 13 de agosto de 1998. Evaluación sistemas de alturas existentes en América del Sur. (Boletín No. 6).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Río de Janeiro, Brasil. Asamblea Científica de la IAG. 3 - 9 de septiembre de 1997. Presentación de la solución final de SIRGAS95 y creación del SIRGAS-GTIII Datum Vertical. (Boletín No. 5, Reporte SIRGAS95).

Reunión Comité Ejecutivo SIRGAS. Isla Margarita, Venezuela, Abril de 1997. Resultados del procesamiento de SIRGAS95 por parte de DGFI y NIMA. Generación de la solución final. (Boletín No. 5).

Reunión técnica SIRGAS-GTI y SIRGAS-GTII. Santiago de Chile, Chile. 5 - 9 de agosto de 1996. Resultados preliminares de SIRGAS95. (Boletín No. 3, Boletín No. 4).

Reunión técnica SIRGAS-GTII. La Plata, Argentina. 24 - 28 de octubre de 1994. Diagnóstico de los sistemas geodésicos locales. (Boletín No. 2).

Primera reunión técnica SIRGAS-GTI. La Plata, Argentina. 24 - 28 de octubre de 1994. Preparación campaña SIRGAS95. (Boletín No. 2).

Primera reunión técnica SIRGAS-GTII. Bogotá, Colombia. 20 - 22 abril de 1994. Evaluación de los sistemas geodésicos existentes en América del Sur. (Boletín No. 1).

Publicaciones y presentaciones más relevantes

Baez, J.C.; S.R.C. de Freitas; H. Drewes; R. Dalazoana; R.T. Luz (2007). Deformations control for the Chilean part of the SIRGAS 2000 frame. Springer; IAG Symposia; Vol. 130: 660-664.

Brunini, C., A. Meza, M. Gende, F. Azpilicueta. (2006). South American regional maps of vertical TEC computed by GESA: a service for the ionospheric community. Presentado en IRI Workshop, Buenos Aires, Octubre 16-20.

Brunini, C.; J. Moirano; H. Drewes; K. Kaniuth (2002). Improvements in the ellipsoidal heights of the Argentine reference frame. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 16-19.

Brunini, C.; J.F. Moirano, M.V. Mackern (2000). Comparación entre los marcos de referencia POSGAR'94 y POSGAR'98. Actas de la 20a reunión de Geofísica y Geodesia. Mendoza, Argentina, 21 - 29 septiembre, 2000

Costa, S.M.A.C.; M.A.A. Lima (2005). Ajustamento da Rede Planimétrica Brasileira em SIRGAS2000. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, PR. IBGE, Brasil.

Dalazoana, R.; R.T. Luz, S.R.S. Lima, Fr. A. Miranda, A.S. Palmeiro, S.R.C. Freitas (2005). Controle vertical das RRNN e da posição Geocêntrica do Marégrafo no Porto de Imbituba. IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba, PR, 2005.

Dalazoana, R.; S.R.C. de Freitas; J.C. Baez; R.T. Luz (2007). Brazilian vertical datum monitoring - Vertical land movements and sea level variations. Springer; IAG Symposia; Vol. 130: 71-74.

Drewes, H. (1997). Realisierung des geozentrischen Referenzsystems fuer Suedamerika (SIRGAS), DVW Schriftenreihe (28): 54-63.

Drewes, H. (1998). Time evolution of the SIRGAS reference frame Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 174-179.

Drewes, H. (2001). The unified height reference system for the Americas 7th UN Reg. Cart. Conf. for the Americas, E/CONF.93/INF.14.

Drewes, H.; K. Kaniuth; C. Voelksen; S.M. Alves Costa; L.P. Souto Fortes (2005). Results of the SIRGAS campaign 2000 and coordinates variations with respect to the 1995 South American geocentric reference frame. Springer; IAG Symposia; Vol. 128: 32-37.

Drewes, H.; L. Sanchez; D. Blitzkow; S. Freitas (2002). Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 297-301

Drewes, H.; L.P. Fortes; M.J. Hoyer; R. Barriga (1997) Status report of the SIRGAS project IGS Annual Report, 1996: 433-436.

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

Drewes, H.; H. Tremel; J.N. Hernandez (1998). Adjustment of the new Venezuelan national GPS network within the SIRGAS reference frame. Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 193-198.

Fortes, L.P., E. Lauría, C. Brunini, W. Amaya, L. Sánchez, H. Drewes, W. Seemüller (2006). SIRGAS: a geodetic enterprise Coordinates Magazine.

Fortes, L.P.; E. Lauria; C. Brunini; A. Hernandez; L. Sanchez; H. Drewes; W. Seemueller (2006). Current status and future developments of the SIRGAS project Wiss. Arb. Fachr. Verm.; Univ. Hannover; Nr. 258: 59-70.

Fortes, L.P.; E. Lauria; C. Brunini; A. Hernandez; L. Sanchez; H. Drewes; W. Seemueller (2005). El proyecto internacional SIRGAS: estado actual y objetivos futuros 8th UN Reg. Cart. Conf. for the Americas, E/CONF.96/I.P. 16.

Fortes, L.P.; M.J. Hoyer; W.H. Subiza; H. Drewes (1995). The SIRGAS project IGS Annual Report 1994: 247-250.

Freitas, S.R.C.; A.S. Medina, S.R.S. de Lima (2002). Associated problems to link South American vertical networks and possible approaches to face them. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 318-323.

Hoyer, M.; S. Arciniegas; K. Pereira; H. Fagard; R. Maturana; R. Torchetti; H. Drewes; M. Kumar; G. Seiber (1998). The definition and realization of the reference system in the SIRGAS project. Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 167-173.

Kaniuth, K.; H. Drewes; K. Stuber; H. Tremel; J. Moirano (1998). Results of the SIRGAS 95 GPS network processing at DGFI/I. Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 180-186.

Kaniuth, K.; H. Mueller; W. Seemueller (2002). Displacement of space geodetic observatory Arequipa due to recent earthquakes. *Zeitschr. fuer Verm.* (127): 238-243.

Kaniuth, K.; K. Stuber (2005). Apparent and real local movements of two co-located permanent GPS stations at Bogota; Colombia *Zeitschr. fuer Verm.* (130): 41-46.

Kaniuth, K.; P. Haefele; L. Sanchez (2002). Subsidence of the permanent GPS station Bogota. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 56-59.

Kaniuth, K.; H. Tremel; H. Drewes; K. Stuber; R. Maturana; H. Parra (2002). Processing of the SIRGAS 2000 GPS campaign at DGFI. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 312-317.

Kumar, M. (1993). A geocentric approach for the new South American horizontal datum *Proceedings, Int. Conf. on Cartography - Geodesy; Maracaibo/Venezuela. Inst. Astronomia y Geodesia; Madrid (1): 59-65.*

Luz, R.T.; L.P.S. Fortes; M. Hoyer; H. Drewes (2002). The vertical reference frame for the Americas - The SIRGAS 2000 GPS campaign. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 302-305.

Luz, R.T.; S.R.C. Freitas, R. Dalazoana, F.A. Miranda, A.S. Palmeiro, K.P. Jamur (2004). Possibilidades da Integração de Dados Gravimétricos à Rede Altimétrica do SGB para Cálculo de Altitudes SIRGAS no Brasil. I SIMGEO, Recife, PE, 2004.

Mackern, M.V. (2003). Materialización de un sistema de referencia geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Catamarca, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicada. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina. 246 p.

Moirano, J. (2000). Materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional en Argentina mediante observaciones GPS. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. La Plata, Argentina. 199 p.

Moirano, J.; C. Brunini; H. Drewes; K. Kaniuth (1998). Realization of a geodetic reference system in Argentina in connection with SIRGAS. Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 199-204.

Natali, M.; C. Brunini; K. Kaniuth; H. Drewes (2002). Monitoring tide gauges benchmarks in Argentina by GPS. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 255-258.

Pacino, M.C.; D. Del Cogliano; G. Font; J. Moirano; P. Natali; E. Lauria; R. Ramos; S. Miranda (2007). Activities related to the materialization of a new vertical system for Argentina. Springer; IAG Symposia; Vol. 130: 671-676.

Rodríguez, M. A., M. Hoyer, J. Borrego, E. Hurtado (2001). Impacto de la implantación del nuevo datum oficial de Venezuela (SIRGAS-REGVEN) en las actividades geodésicas de PDVSA EPM. Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, Universidad del Zulia y PDVSA.

Sanchez, L. (2002). A reference surface for a unified height system in the northern part of South America. Springer; IAG Symposia; Vol. 125: 84-89.

Sanchez, L. (2002). Determinación de alturas físicas en Colombia. *Studienarbeit. Institut für Planetare Geodäsie. Technische Universität Dresden.* 36 p.

Sánchez, L. (2004). Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.

- Sánchez, L. (2004). Aspectos prácticos de la adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá, Colombia.
- Sanchez, L. (2007). Definition and realisation of the SIRGAS vertical reference system within a globally unified height system. Springer; IAG Symposia; Vol. 130: 638-645.
- Sanchez, L.; W. Martinez (2002). Approach to the new vertical reference system for Colombia Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 27-33.
- Sanchez, L.; W. Martinez (1999). Vinculacion de las alturas elipsoidales GPS al datum vertical clasico de Colombia. IGeS Bulletin, No. 9: 73-85.
- Sánchez, L. (2005). SIRGAS-GTIII, Reporte 2005. 39 p.
- Schödlbauer, A.; J. Muños (1999). Geodätisches Referenzsystem PERU'96. Abschlußbericht zu dem von der Volkswagenstiftung geförderten Projekt I/70939. UniBw-München. 65 p.
- Seemueller, W.; H. Drewes (2002). Annual Report 2000 of RNAAC SIR IGS Techn. Rep., 2000; JPL Publ. 02-012: 141-144.
- Seemueller, W.; K. Kaniuth; H. Drewes (2004). Station positions and velocities of the IGS regional network for SIRGAS, DGFI Report No. 76.
- Seemueller, W.; H. Drewes (1998). The IGS regional associate analysis center for South America at DGFI/I. Springer; IAG Symposia; Vol. 118: 211-215.
- Seemueller, W.; K. Kaniuth; H. Drewes (2002). Velocity estimates of IGS RNAAC SIRGAS stations. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 7-10.
- SIRGAS Project Committee (1997) SIRGAS Final Report; Working Groups I and II IBGE, Rio de Janeiro; 96 p. (en español).
- Tremel, H.; L. Sanchez; H. Drewes (2001). Procesamiento de la red GPS basica de Colombia: Marco Geocentrico Nacional - MAGNA. Revista Cartografica IPGH; No. 73: 7-23.