

CONTRIBUCION ARGENTINA AL DESARROLLO DEL PROYECTO SIRGAS

Claudio Brunini¹, Juan Moirano¹, Rubén Rodríguez² y Eduardo Lauria³

1) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata

2) Consultor Independiente

3) Instituto Geográfico Militar

Resumen

El proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) constituye una de las iniciativas más ambiciosas desarrolladas en el ámbito de la Geodesia, no sólo por la calidad de sus resultados, sino también por mancomunar los esfuerzos de muchas instituciones en casi todos los países sudamericanos. En este trabajo se resumen las contribuciones realizadas por la Argentina al desarrollo del proyecto, desde sus inicios en 1993 hasta la actualidad.

Abstract

The SIRGAS project (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) could be considered as one of the most ambitious initiatives that have been taken to practice within geodesy. Its success is both remarkable for the quality of the results obtained and for the large amount of institutions from most South American countries that took and keep taking part in the activities along with European and North American partners. This work summarizes the contributions made by Argentina to the SIRGAS project from its beginnings in 1993 to the present.

Contribuciones al Grupo de Trabajo I

La Argentina participó en las dos campañas observacionales realizadas por el proyecto, en los años 1995 y 2000. Un científico de la UNLP colaboró con el cálculo de las observaciones realizado por el DGFI. La 18ª Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, celebrada en La Plata, en octubre de 1994, hospedó un workshop del proyecto SIRGAS en el que se organizó la campaña de 1995. Durante la primer campaña (26 de mayo al 4 de junio de 1995), se ocuparon en la Argentina diez sitios (figura 1).

Diez instituciones argentinas colaboraron con la atención de las estaciones: Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de Mendoza; Dirección de Catastro e Información Territorial de Chubut; Dirección Provincial de Catastro y Topografía de Río Negro; Instituto Geográfico Militar (IGM); Universidad Nacional de La Plata (UNLP); Universidad Nacional de Salta; y Universidad Nacional de Tucumán. El país contó también con asistencia del Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI) y del Geoforschung Zentrum de Potsdam. La coordinación de la campaña estuvo a cargo del IGM y la UNLP y esta última institución ofició de centro de datos para la Argentina.

Durante la campaña SIRGAS 2000 (10 al 19 de mayo de 2000) se reocuparon los diez sitios principales de 1995 y diez nuevas estaciones (figura 1). Dos de las nuevas estaciones se corresponden con el mareógrafo de Mar del Plata y el Punto Altimétrico de Referencia Normal de Tandil, ambos relacionados con el origen del marco de referencia vertical argentino. Doce de las veinte estaciones de 2000 son estaciones permanentes.



Figura 1. Estaciones argentinas participantes en SIRGAS.

Doce instituciones argentinas colaboraron con la atención de las estaciones: Administración Nacional de Parques Nacionales, La Pampa; Centro Austral de Investigaciones Científicas, Tierra del Fuego; Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Mendoza; Comisión Nacional de Actividades Espaciales, Córdoba; Dirección de Catastro e Información Territorial, Chubut; Instituto Geográfico Militar (IGM); Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan; Universidad Nacional de Córdoba; Universidad Nacional de La Plata (UNLP); Universidad Nacional del Sur, Buenos Aires; Universidad Nacional de Santiago del Estero; y Universidad Nacional de Tucumán. Se contó con asistencia del Deutsches Geodatisches Forschungsinstitut (DGFI). La coordinación de la campaña estuvo a cargo de los autores del presente informe. La UNLP y el IGM oficiaron como centros nacionales de datos.

Contribuciones al Grupo de Trabajo II

La Argentina ha densificado el marco de referencia SIRGAS 95 (época 1995.4) con 136 puntos distribuidos en forma bastante homogénea en todo su territorio, con una distancia media entre pares de punto de 130 Km. Se estima que la exactitud de las coordenadas para la época 1995.4 es mejor que cinco centímetros para las tres componentes. Este nuevo marco de referencia se denomina POSGAR 98 (Posiciones Geodésicas Argentinas) y se halla disponible desde finales de 1998.

Para la mayoría de las aplicaciones prácticas (catastro, levantamientos topográficos, etc.), los usuarios utilizan el marco de referencia POSGAR 94, declarado estándar nacional por el IGM a comienzos de 1997. Las diferencias entre las coordenadas geocéntricas POSGAR 94 y 98 se mantienen por debajo de 1.5 metros en las tres componentes, lo cual no produce efectos apreciables sobre la cartografía hasta la escala 1:5000. La precisión interna de POSGAR 98 es varias veces superior a la de POSGAR 94, particularmente para la componente vertical. Recientemente el Subcomité de Geodesia del Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional ha recomendado el uso del nuevo marco de referencia POSGAR 98 para las aplicaciones geodésicas de alta precisión.

Hasta 1995 el sistema geodésico argentino fue Campo Inchauspe 1969, materializado por una red de aproximadamente 18.000 puntos cuyas coordenadas planimétricas se habían establecido usando técnicas clásicas de triangulación y trilateración a partir del datum astrogeodésico Campo Inchauspe. En 1995 un nuevo marco de referencia, denominado POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas), se hizo accesible a los usuarios. Este nuevo marco está materializado por 127 puntos con coordenadas tridimensionales en el sistema WGS84 establecidas mediante mediciones GPS.

El cálculo fue realizado por la UNLP. Se calculó primero un total de 660 líneas de base utilizando el software comercial GPPS (Ashtech). En todos los casos se adoptó la solución de dobles diferencias flotantes para la combinación corregida de ionosfera. Se realizó luego un ajuste por mínimos cuadrados, según el método de variación de coordenadas, de las 660 líneas de base tomadas como pseudo observaciones pesadas pero no correlacionadas. En este ajuste se definió el marco de referencia WGS84 a través de 20 puntos de control cuyas coordenadas fueron introducidas en la compensación con errores a priori de 3 centímetros en las tres componentes.

El sistema Campo Inchauspe 1969 está desplazado algo más de 200 metros respecto del geocentro. Con posterioridad a la divulgación de las coordenadas POSGAR 94 se calcularon parámetros de transformación entre ambos sistemas. Dichos parámetros permiten convertir las coordenadas geodésicas y las proyectivas mediante formulas de regresión múltiple dependientes de la latitud y la longitud, con un error medio mejor que 2.5 metros. La solución fue implementada en un software de transformación que distribuye el IGM.

En 1998 finalizaron las tareas que dieron lugar a la integración de POSGAR 94 con ITRF 94 a través de SIRGAS. La tarea se ejecutó siguiendo los lineamientos generales elaborados por el Grupo de Trabajo II del proyecto SIRGAS durante la reunión de Santiago de Chile, en 1996, distribuidos por el Comité Ejecutivo a los países miembros del proyecto. El nuevo marco de referencia fue denominado POSGAR 98. Está constituido por 136 puntos (109 comunes con POSGAR 94), con coordenadas tridimensionales en el sistema ITRF94 (SIRGAS) para la época 1995.4.

Antes de integrar el marco de referencia POSGAR 94 con SIRGAS 95, se evaluó en qué medida mejoraría la calidad de los resultados finales recalculando las observaciones disponibles con un software científico en

lugar de uno comercial como el empleado para el cálculo del 94. Los resultados demostraron la conveniencia de realizar un nuevo cálculo, tarea que fue ejecutada en la UNLP con asistencia DGFI.

Entre 1995 y 1997 el IGM realizó las campañas GPS necesarias para vincular cuatro puntos SIRGAS que no eran comunes con POSGAR 94. En el nuevo cálculo se agregaron observaciones GPS efectuadas en 1993, que vinculaban tres puntos argentinos con cinco puntos chilenos, entre ellos el punto SIRGAS – IGS de Santiago. Estas observaciones fueron cedidas por el Proyecto Andes centrales (CAP).

Una primera evaluación de la calidad de los resultados se obtuvo a través de los residuos de una transformación de similaridad de 7 parámetros entre una solución libre (solución en la que no se ingresaron coordenadas de control) y SIRGAS. El error cuadrático medio de dichos residuos resultó ± 0.0145 m para la latitud, ± 0.0265 m para la longitud y ± 0.0273 m para la altura.

Para chequear la confiabilidad de las coordenadas obtenidas mediante algún control independiente, se utilizaron cuatro redes GPS de alta precisión que cubren distintas regiones del país, todas ellas medidas independientemente de POSGAR 98. Nuevamente se consideraron los residuos de una transformación de similaridad entre cada una de estas redes y POSGAR 98. En todos los casos el error cuadrático medio de los residuos para cada una de las cuatro redes consideradas se mantuvo por debajo de cinco centímetros.

Diversas instituciones argentinas mantienen operativas estaciones GPS permanentes en cooperación con varios proyectos científicos internacionales (figura 1). Mediante convenios de cooperación dichas estaciones se han ido incorporando a la Red Argentina de Monitoreo Satelitario Continuo (RAMSAC), administrada por el IGM. Ello permite que los usuarios de GPS puedan acceder a las observaciones de las estaciones permanentes y, a través de ellas, al marco de referencia POSGAR 98.

Las principales tareas planeadas para el futuro con relación al tema son atender al mantenimiento físico y matemático del marco POSGAR 98; integrar dentro del marco de referencia POSGAR 98 numerosas redes provinciales y regionales de calidad muy dispar (totalizan aproximadamente 2000 puntos en todo el territorio argentino); y perfeccionar la RAMSAC.

Contribuciones al Grupo de Trabajo III

El marco de referencia vertical argentino está materializado por la red de nivelación nacional medida por el IGM. La red está conformada por aproximadamente 90.000 km de nivelación de alta precisión y de precisión y 70.000 km de nivelación topográfica. Las líneas de nivelación de alta precisión dividen al territorio argentino en grandes polígonos dentro de los cuales se desarrollan las de precisión, dividiéndolos a su vez en 6 a 8 polígonos menores. Las líneas topográficas densifican luego aquellos polígonos menores. Todos los puntos de la red de nivelación de alta precisión cuentan con valores de gravedad medidos, aunque las alturas no han sido aún corregidas.

El origen del sistema vertical argentino se definió en el año 1923, a partir del análisis de una corta serie de registros efectuados por el mareógrafo de Mar del Plata. Posteriormente, hacia 1950, su materialización física fue trasladada a las Sierras de Tandil, donde el basamento rocoso cristalino garantiza una estabilidad sísmica y geológica perdurable en el tiempo. Desde entonces el origen está materializado por el denominado Punto Altimétrico de Referencia Normal (PARN) de Tandil.

La red gravimétrica nacional comprende cuatro ordenes. La de orden cero está compuesta por cinco puntos de gravedad absoluta, medidos en dos etapas, en los años 1989 y 1991. La de primer orden, denominada red BACARA (Base de Calibración de la República Argentina), fue medida en 1968 y está compuesta por 86 puntos localizados en aeródromos. La de segundo orden es coincidente con la red de nivelación de alta precisión, está integrada por unos 16.000 puntos y su medición se completó en 1998. La de tercer orden está constituida por parte de la red de nivelación topográfica y campañas de medición de gravimetría areal y comprende algo más de 2000 puntos. Al año 2001, los puntos gravimétricos medidos por el IGM totalizan 18.500.

El IGM y la UNLP han avanzado en el cálculo de las cotas geopotenciales correspondientes a la red de nivelación de alta precisión, con miras al cálculo de un nuevo sistema vertical basado en alturas normales. Se ha digitalizado la información observacional (desniveles y gravedad) disponible en el IGM. Gran parte de los valores de gravedad medidos que estaban referidos al marco Potsdam fueron convertida al IGSN71. Los

valores fueron corregidos por la deriva instrumental y, parcialmente, por la marea lunisolar. Los datos han sido agrupados en dos clases, atendiendo a la precisión del gravímetro utilizado y a la aplicación o no de las correcciones de marea. Puesto que todas las mediciones se realizaron efectuando caminos de ida y vuelta en un mismo día, será posible evaluar su precisión antes de incorporarlas en una compensación general y decidir la conveniencia de asignar pesos diferentes. Para efectuar el ajuste habrá que interpolar valores de gravedad en algunos segmentos de nivelación en los que no se dispone de valores medidos.

El Servicio de Hidrografía Naval ha determinado niveles medios del mar en los principales mareógrafos argentinos: Mar del Plata, Puerto Belgrano, Puerto Madryn, Comodoro Rivadavia y Puerto Deseado. Los cálculos se realizaron para el período 1958 – 1976. Algunas interrupciones en las series de niveles medios se completaron mediante correlaciones lineales con series correspondientes a localidades cercanas con similar tipo de marea.

Los niveles medios han sido determinados con respecto a puntos fijos vinculados mediante GPS con el marco de referencia POSGAR 98 y mediante nivelación de precisión con la red de nivelación nacional. Las vinculaciones GPS fueron medidas por el IGM durante la campaña POSGAR de 1993 e incluidas en el cálculo de POSGAR 98. Las vinculaciones altimétricas fueron realizadas también por el IGM, en 1996, aunque no han sido aún aplicadas las correcciones gravimétricas.

Todas las estaciones SIRGAS 1995 han sido vinculadas mediante nivelación de precisión con el marco de referencia vertical argentino.

El IGM ha extendido la red de nivelación nacional hasta puntos muy cercanos a las redes de nivelación de los países limítrofes y en todos los casos se han realizado ya las vinculaciones entre ambas redes. En varios casos, empero, no se disponen de los datos correspondientes para el país vecino.

Se continuó realizando relevamientos gravimétricos en aquellas zonas en las que se carecía de información o resultaba conveniente densificar la existente. Esta tarea es realizada en forma conjunta entre el IGM, principalmente en el sur patagónico y en las provincias de Corrientes y Misiones; la Universidad Nacional de Rosario, en las provincias de San Luis, San Juan, Córdoba, Mendoza y Santa Fe; y el la UNLP, en la mitad norte de la provincia de Buenos Aires, provincias de Chubut, Mendoza y Tierra del Fuego. Se incorporó también en la base de datos gravimétricos información cedida por el Dr. J. Goetze (Alemania), correspondiente a la región noroeste del país.

Con la base de datos gravimétricos del IGM convenientemente depurado se calcularon modelos geoidales preliminares para la República Argentina de 20' x 20' y 30' x 30'. Esta tarea es realizada en forma conjunta entre el IGM, la UNLP y la Universidad Nacional de Rosario, con la inestimable colaboración del Dr. D. Blitzcow (Brasil).

Mediante un proyecto de cooperación científica entre la UNLP y el DGFI se están controlando con GPS los mareógrafos de Mar del Plata, Puerto Belgrano y Puerto Madryn, todos ellos operados por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Desde 1998 a la fecha han realizado cinco campañas de observación, de diez días de duración cada una, con un intervalo de aproximadamente seis meses entre ellas. Se prevé continuar realizando estas campañas periódicamente para mejorar la determinación de la velocidad vertical de la corteza terrestre en el lugar de emplazamiento de los mareógrafos.

En el marco de este proyecto de cooperación se han instalado y se mantienen operativas dos estaciones GPS permanentes, una en Bahía Blanca y otra en Rawson. La información de ambas estaciones es transferida al IGS Regional Network Analysis Center SIRGAS (DGFI), y a la RAMSAC (IGM).

También en colaboración con el DGFI se instalarán próximamente dos nuevas estación GPS permanentes, muy cercanas a los mareógrafos de Mar del Plata y Puerto Deseado, que participarán en el Proyecto GPS Tide Gauge Benchmark Monitoring (TIGA).

Consecuentemente con los objetivos impuestos por el Grupo III de SIRGAS, la República Argentina ha encarado con la República de Chile a través de sus respectivos Institutos Geográficos Militares y la UNLP, la unificación de sus sistemas de referencias verticales en el extremo sur del continente y su posterior vinculación a la Isla Grande de Tierra del Fuego. Básicamente el proyecto se ha planteado como objetivos la integración del sistema geodésico aislado constituido por la Isla Grande de Tierra del Fuego a las redes continentales a través de la vinculación de las líneas de nivelación existentes y el análisis de las diferencias exis-

tentes en la zona limítrofe; el análisis del comportamiento relativo entre los mareógrafos existentes en la región que pertenecen a la República de Chile (Punta Arenas, Puerto Williams) y a la República Argentina (Río Gallegos, Ushuaia); y la determinación de un modelo de geoide para la región (transformación de alturas GPS en alturas sobre el nivel medio del mar).

Bibliografía

- Azpilicueta, F. Materialización de un marco de referencia vertical para el estudio de las variaciones del nivel medio del mar. Tesis de licenciatura en Astronomía, 70 pp., Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2001.
- Brunini, C., Font, G., Galbán, F., Lauría, E., Pacino, M. C. y Rodríguez, R. The vertical reference system of the Argentine Republic. Enviado para su publicación en Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposia Series, Springer, Germany.
- Brunini, C., Moirano, J. y Mackern, M. V. Comparación entre los marcos de referencia POSGAR '94 y POSGAR '98. Actas de la 20ª Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Mendoza, Argentina, 25 al 29 de septiembre de 2000.
- Brunini, C., Moirano, J., Drewes, H. and Kaniuth, K. Improvements in the ellipsoidal heights of the Argentine reference frame. Enviado para su publicación en Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposia Series, Springer, Germany.
- D'Onofrio, E., Fiore, M., Mayer, F., Perdomo, R. y Ramos, R. La referencia vertical. Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del siglo XX. Homenaje a Oscar Parachu, ISBN 950-673-201-9, pp. 99-128, UNR Editora, Antonio Introcaso (Ed.), Argentina, 1999.
- Galbán, F., Lauría, E., Rojas, V., Maturana Nadal, R., Hermosilla Jarpa, A., Rubio Diaz, W., Perdomo, R., Del Cogliano, D. and Hormaechea, J. Tierra del Fuego – Towards a unified vertical system between Chile and Argentina. IAG General Assembly, Budapest, September 2001.
- Guallart, J., Lauría, E. y Ramos, R. La Actividad Gravimétrica del Instituto Geográfico Militar, Revista Cartográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, No 68, enero – junio de 1999.
- Kaniuth K., Drewes, H., Tremel, H., Stuber, K., and Moirano, J. Results of the SIRGAS 95 GPS network processing at DGFI/I. Advances in Positioning and Reference Frames, pp. 180-186. Springer, 1998.
- Lauría, E. y Cimbaro, S. Proyecto RAMSAC, Revista Cartográfica, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, No 68, Enero – Junio de 1999.
- Moirano, J. Materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional en Argentina mediante observaciones GPS. Tesis doctoral en Geofísica, 182 pp. y anexos, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, 2000.
- Moirano, J., Brunini, C., Drewes, H. and Kaniuth, K. Realisation of a geocentric reference system in Argentina in connection with SIRGAS. Advances in positioning and reference frames, pp. 199-204, Springer, 1998.
- Moirano, J., Brunini, C., Drewes, H. y Kaniuth, K. Definición del marco de referencia geodésico argentino mediante observaciones GPS como materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional (ITRS). Contribuciones a la Geodesia en la Argentina de fines del siglo XX. Homenaje a Oscar Parachu, ISBN 950-673-201-9, pp. 75-97, UNR Editora, Antonio Introcaso (Ed.), Argentina, 1999.
- Moirano, J., Brunini, C., Drewes, H. y Kaniuth, K. Evolución del sistema de referencia argentino en el marco del proyecto SIRGAS. Actas del V Congreso Internacional Ciencias de la Tierra, Santiago, Chile, 10 al 14 de agosto de 1998.
- Natali, M. P., Kaniuth, K., Brunini, C. and Drewes, H. Monitoring tide gauges in Argentina by GPS. Enviado para su publicación en Vertical Reference Systems, International Association of Geodesy Symposia Series, Springer, Germany.
- Rodríguez, R. y Brunini, C. SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur. Vol. 7, Georreferenciación, en la serie Temas de Geociencias, ISSN 15144149, UNR Editora, pp. 32-50, (86), UNR Editora, Antonio Introcaso (Ed.), Argentina, 2001.