

COMPARACIÓN ENTRE LOS MARCOS DE REFERENCIA POSGAR'94 Y POSGAR'98

Claudio A. Brunini¹, Juan F. Moirano¹, María V. Mackern²

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP
Paseo del bosque s/n, La Plata B (1900 FWA)
claudio@fcaglp.unlp.edu.ar, jmoirano@fcaglp.unlp.edu.ar

²IANIGLA, CRICYT
Avda. Dr. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, 5500, Ciudad, Mendoza
jhurtado@lanet.com.ar

Resumen

En el presente trabajo se comparan los marcos de referencia POSGAR 94 y 98 y se evalúa, mediante observaciones independientes, la exactitud y la precisión de uno y otro. Se muestra que la realización del 98 materializa el sistema terrestre internacional con una exactitud de pocos centímetros en las tres componentes, mientras que la del 94 lo hace con un error de 1.5 metros. Se muestra también que la precisión de las coordenadas 98 mejora 5 veces para las componentes horizontales y 10 veces para la vertical. Se concluye que, desde el punto de vista del control horizontal, POSGAR 94 es un marco apto para todo levantamiento cuyas exigencias de precisión rondan los pocos centímetros en extensiones del tamaño de una provincia argentina, mientras que POSGAR 98 es, desde todo punto de vista, más apropiado para levantamientos más extensos o que exijan control vertical.

1. Introducción

Gracias a la evolución de las técnicas geodésicas espaciales y al establecimiento de una intensa cooperación internacional, a lo largo de los últimos diez años los sistemas de referencia geodésicos mejoraron radicalmente. Programas internacionales de observación y análisis de datos de VLBI, SLR, GPS y DORIS, desarrollados bajo la coordinación del International Earth Rotation Service (IERS) (<http://hpiers.obspm.fr>) permitieron establecer un marco de referencia global con una consistencia interna de muy pocos centímetros, materializado por unas trescientas estaciones distribuidas en todo el planeta (<http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF>). Una contribución importante, particularmente en la densificación del marco de referencia, es realizada por la técnica GPS bajo la coordinación del International GPS Service (IGS) (<http://www.igsb.jpl.nasa.gov>). El mantenimiento de un marco tan preciso requiere conocer, además de las coordenadas de las estaciones, sus velocidades debidas a los movimientos de las placas tectónicas y a las deformaciones que se producen en la corteza terrestre en las regiones activas. Una compleja red de cooperación internacional coordinada por el IERS se ocupa del monitoreo continuo de las estaciones que componen el marco global para lograr determinar sus velocidades con una precisión de pocos milímetros por año.

Como es de suponer, la distribución de las estaciones que materializan el International Terrestrial Reference Frame (ITRF) está sesgada en favor del hemisferio norte. Recién hacia fines de 1997 el proyecto SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) permitió densificar el ITRF con 58 sitios de muy alta calidad distribuidos en Sudamérica (SIRGAS Committee, 1997). En la actualidad, unas veinte estaciones GPS permanentes, varias de las cuales coinciden con puntos SIRGAS, son monitoreadas rutinariamente por el Centro de Análisis Regional Asociado del IGS para Sudamérica (Seemüller and Drewes, 1999) y justamente en estos días (mayo de 2000) se realiza la primera re-medición de todos los puntos SIRGAS con el objetivo de establecer sus velocidades geodésicas, imprescindibles para el mantenimiento del sistema (Drewes, 1998).

En agosto de 1996, durante el IV Congreso de Ciencias de la Tierra celebrado en Santiago, Chile, el Proyecto SIRGAS aprobó un conjunto de recomendaciones para que los países sudamericanos integraran las redes geodésicas nacionales existentes al marco de referencia continental y, a través de él, al global (SIRGAS, 1996). En la Argentina dicha tarea fue ejecutada por la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) mediante un convenio de cooperación suscrito con el Instituto Geográfico Militar (IGM). El resultado dio lugar al marco de referencia POSGAR 98 (Posiciones Geodésicas Argentinas) (Moirano y otros, 1998).

Previamente, en mayo de 1997, mediante la Resolución 13/97, el IGM había adoptado el marco de referencia POSGAR 94 como materialización del sistema referencia oficial del país. Dicho marco constituye una materialización del sistema WGS84 (DMA, 1987) y fue el resultado de mediciones GPS realizadas principalmente por el IGM

durante 1933 y 1994 en 127 puntos distribuidos en el territorio nacional y del cálculo efectuado por la UNLP entre 1994 y 1995 (Brunini, 1998).

Los marcos POSGAR 94 y 98 difieren principalmente a causa de que materializan sistemas de referencia diferentes y por los distintos procedimientos de cálculo que se utilizaron en uno y otro caso. En menor medida contribuyen a las diferencias nuevas observaciones que se agregaron en el cálculo de POSGAR 98. Distintas evaluaciones muestran que la calidad de POSGAR 98 es sensiblemente mejor que la de POSGAR 94. Surge entonces la pregunta: ¿es necesario abandonar el sistema del 94 y reemplazarlo por el del 98? Desde una posición extrema podría argumentarse que las diferencias son pequeñas y no tienen influencia en las aplicaciones prácticas, que solo afectan a un reducido grupo de “especialistas” interesados en aplicaciones científicas y que, por lo tanto, es conveniente mantener el marco del 94 ya que la introducción de uno nuevo contribuiría a aumentar la confusión ya existente en muchos ámbitos no especializados sin producir ningún beneficio práctico. Desde el otro extremo podría argumentarse que el marco del 94 no está a la altura de la precisión que las técnicas geodésicas modernas pueden proporcionar y que disponiendo de uno cuya calidad es superior no existe ninguna razón para no ponerlo en vigencia de inmediato. Este trabajo intenta demostrar que existen posiciones intermedias valederas y brindar elementos cuantitativos que permitan trazar fronteras para la utilización de uno y otro marco.

2. El contexto argentino

Durante muchos años la infraestructura geodésica argentina fue responsabilidad primaria del IGM. La “Ley de la Carta”, promulgada en el año 1941, encomendaba a esa institución la misión de elaborar la cartografía oficial del país, realizando las tareas de apoyo geodésico y topográfico que fueran necesarias. Durante décadas de esforzado trabajo el IGM extendió el datum Campo Inchauspe 1969 con unos 18.000 puntos trigonométricos (Rodríguez, 1999) y estableció unos 50.000 km de líneas de nivelación que materializan los sistemas de referencia planimétrico y altimétrico respectivamente.

En la década del 90 el país comienza a vivir una transformación política con fuertes implicancias sobre el desarrollo de la Geodesia. Una piedra angular de este proceso fueron los programas de modernización de los catastros provinciales que involucraron producción masiva de información territorial georreferenciada. Dichos programas fueron financiados mayormente a través de créditos de organismos internacionales otorgados directamente a las provincias argentinas, lo que produjo una descentralización de hecho de muchas actividades que otrora realizaba el IGM. Ya las primeras etapas del programa evidenciaron la necesidad de unificar criterios en materia geodésica. Las privatizaciones, la mayor valorización de los recursos naturales y del medio ambiente, la apertura de nuevos mercados regionales, etc., contribuyeron a motorizar una demanda sostenida de información territorial georreferenciada. Un ejemplo ilustrativo lo constituye el Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino (PASMA), también apoyado por organismos financieros internacionales, cuyo objetivo es la actualización de los catastros mineros provinciales como un paso imprescindible para promover inversiones en ese sector. Todas estas transformaciones agudizaron la necesidad de contar con un sistema de referencia moderno, extendido a todo el país y compatible con las nuevas tecnologías geomáticas (teledetección, GIS, GPS) cuyo uso crece día a día.

3. POSGAR 94 y POSGAR 98

La respuesta a estas demandas fue el marco de referencia POSGAR 94 (Posiciones Geodésicas Argentinas). Este marco está materializado por 127 puntos separados por una distancia promedio de 130 km y con una cobertura bastante homogénea en todo el territorio argentino. A su concreción contribuyeron varias instituciones, principalmente el IGM y el University NAVSTAR Consortium (UNAVCO) en la etapa de medición y la Universidad Nacional de La Plata que realizó el cálculo. Las coordenadas finales fueron difundidas por el IGM a comienzos de 1995 e inmediatamente comenzaron a ser utilizadas a pesar de que recién a comienzos de 1997 el IGM emitió una resolución adoptándolo oficialmente como marco de referencia argentino, en reemplazo de Campo Inchauspe 1969. Poco antes el IGM había sido ratificado en su rol de autoridad geodésica y cartográfica mediante una resolución del Poder Ejecutivo Nacional y el marco POSGAR 94 había recibido el aval del Subcomité de Geodesia del Comité Nacional de La Unión Geodésica y Geofísica Internacional, a través del Grupo de Trabajo de los Sistemas Geodésicos (CNUGGI, 1999). Con posterioridad, el IGM y la Universidad Nacional de La Plata suscribieron un convenio para trabajar en el perfeccionamiento de POSGAR 94, en el contexto del Proyecto SIRGAS. El resultado de esa cooperación fue un marco de referencia más exacto y preciso, ajustado a los criterios impartidos por SIRGAS, al que se denominó POSGAR 98, materializado por 136 puntos, 111 de los cuales son comunes con POSGAR 94.

Las coordenadas 94 y 98 difieren a causa de varios factores, principalmente porque materializan sistemas de referencia diferentes y porque el cálculo del 98 fue más riguroso que el del 94. La realización del 94 (Usandivaras y otros, 1995) materializa el sistema WGS84 a través de las coordenadas de 19 puntos pertenecientes al Central Andes Project (CAP) (Kendrick y otros., 1999) y un punto localizado en la Estación Astronómica de Río Grande, Tierra del Fuego (punto EARG). Los puntos CAP se localizan principalmente en la región andina, en el oeste del país, y se extienden desde el norte hasta aproximadamente la latitud de -42° . Sus coordenadas, en el sistema ITRF92 y

para la época 1993.2, obtenidas a través de una comunicación privada con R. Smalley (Memphis State University, USA), fueron transformadas al sistema WGS84 e introducidas en la compensación final de la red con errores a priori de aproximadamente 3 centímetros en las tres componentes. Con el propósito de proveer un punto de control en el extremo sur de la red se realizó una vinculación entre el punto GPS EARG y la baliza DORIS que allí opera, distante pocos metros uno del otro. Las coordenadas WGS84 de la baliza DORIS fueron obtenidas mediante una comunicación privada con R. Pico (IGN, Francia) y las coordenadas del punto EARG surgidas de la vinculación fueron introducidas en la compensación final también con errores a priori de 3 centímetros en las tres componentes. El cálculo de la red se realizó en dos etapas: primero se calcularon todas las líneas de base independientes, utilizando el programa comercial GPPS (Ashtech Inc.). Los 660 vectores resultantes fueron luego compensados por mínimos cuadrados según el método de variación de las coordenadas (Usandivaras y otros, 1992). El marco de referencia fue definido introduciendo en la compensación las coordenadas de los 20 puntos de control como observaciones directas con los errores a priori ya señalados.

La realización del 98 (Moirano y otros, 1998) materializa el sistema ITRF 94 a través de once puntos SIRGAS (SIRGAS Project Committee, 1997), diez de ellos localizados en territorio argentino y el punto IGS de Santiago de Chile al cual la red está vinculada a través de observaciones realizadas en 1993 por el proyecto CAP. El cálculo fue realizado con el software científico Bernese GPS Software V4.0 (Rothacher y otros, 1996), empleando las mejores efemérides precisas disponibles y procedimientos rigurosos para modelar las variaciones de los centros de fase de las antenas, corregir el error troposférico y transformar las coordenadas de control de la época media SIRGAS a la época de las observaciones POSGAR.

En menor medida también contribuyen a las diferencias 94-98 observaciones adicionales que se agregaron en el cálculo del segundo, principalmente conexiones entre puntos POSGAR y puntos en territorio chileno realizadas por el proyecto CAP, vinculaciones a cuatro puntos SIRGAS que no son coincidentes con puntos del 94 y observaciones realizadas por el IGM en la región de la Mesopotamia.

4. Las diferencias 94-98 y sus consecuencias

En primer lugar analizaremos las diferencias en las coordenadas geocéntricas. Tales diferencias tienen efecto principalmente sobre la cartografía ya que producirán un desplazamiento en bloque de todo levantamiento georreferenciado a puntos 94. En segundo lugar analizaremos las diferencias en las coordenadas relativas (pares de puntos 94 comparados con sus análogos 98). Estas últimas se traducirán principalmente en deformaciones de todo levantamiento geodésico vinculado a dos o más puntos de control 94. Tales deformaciones serán o no tolerables dependiendo fundamentalmente de la exactitud pretendida para el levantamiento y su extensión geográfica. En tercer lugar analizaremos la relación entre las deformaciones, la precisión del levantamiento y su extensión, a través de varios ejemplos concretos de redes geodésicas de alta precisión y diferentes extensiones que fueron comparadas con ambos marcos de referencia.

4.1 Diferencias en las coordenadas geocéntricas

La figura 1 muestra las componentes norte, este y vertical de las diferencias en las coordenadas geocéntricas de 109 puntos comunes. Los valores están en metros y en el sentido 94-98. Las medias y sus respectivas desviaciones estándares son: 0.523 ± 0.094 m para la componente norte; 0.095 ± 0.062 m para la este; y 0.190 ± 0.479 m para la vertical; las mayores discrepancias son de aproximadamente 0.8, 0.2 y 1.5 m respectivamente. El comportamiento de las componentes horizontales es mucho más uniforme que el de la vertical. También se observa que al sur de -42° las componentes norte y vertical exhiben una tendencia de crecimiento aproximadamente lineal que se atribuye a inconsistencias entre las materializaciones del sistema WGS84 provista por los veinte puntos CAP y la baliza DORIS.

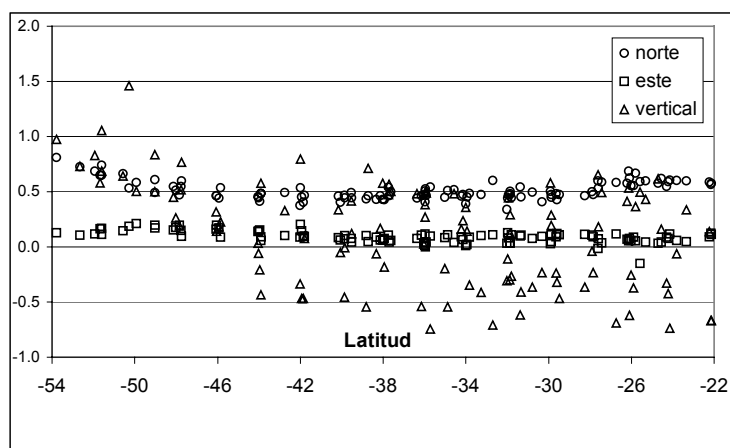


Figura 1: diferencias 94-98 en las coordenadas geocéntricas (metros)

4.2 Diferencia en las coordenadas relativas

Para realizar este análisis se consideraron todas las líneas de base que se forman uniendo cada uno de los puntos con el vecino más cercano. Ello da lugar a 28 vectores cuya longitud está comprendida entre 0 y 100 km, 71 entre 100 y 200 y 10 entre 200 y 350. La figura 2 muestra las componentes norte, este y vertical de las diferencias en las coordenadas relativas para las 109 líneas de base consideradas. Los valores están en metros y en el sentido 94-98. Nuevamente el comportamiento más discordante lo presenta la componente vertical, para la cual 87% de las discrepancias se hallan por debajo de 0.5 m, extendiéndose las restantes hasta aproximadamente 1.1 m. Las discrepancias horizontales son menores, encontrándose 95% de ellas por debajo de 0.2 m y no excediéndose nunca el valor 0.3 m. Si se considera solo la longitud de la línea de base y no sus componentes resulta que 81% de las discrepancias son menores que 1 ppm (parte por millón) y 92% menores que 3 ppm. Entre el 8% que exceden 3 ppm se encuentran solamente líneas de base cortas, cuya longitud es menor que 20 km.

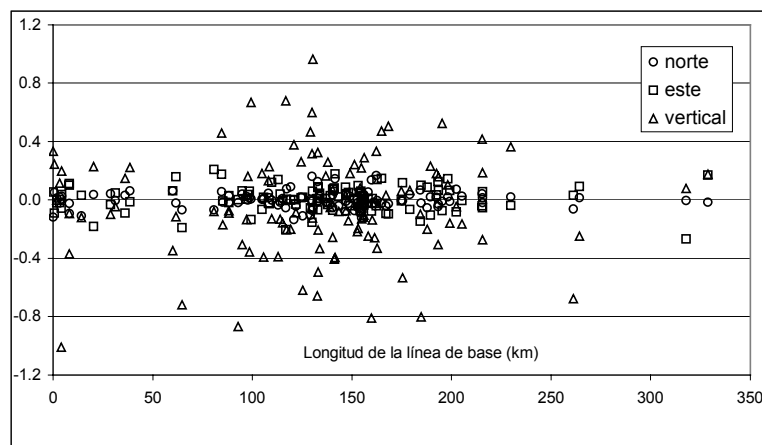


Figura 2: diferencias 94-98 en las coordenadas relativas entre pares de puntos (metros).

4.3 Influencia de las diferencias sobre levantamientos de distintas extensiones geográficas

En el siguiente análisis se consideraron cuatro redes geodésicas de alta precisión y distinta extensión geográfica que poseen puntos comunes tanto con POSGAR 94 como 98: en el caso de la red SIRGAS, son once puntos distribuidos en todo el territorio argentino; en el segundo, ocho puntos del Central Andes Project distribuidos entre aproximadamente -22 y -36 grados de latitud y -63 y -68 grados de longitud; en el tercero, 19 puntos de la red básica del proyecto PASMA distribuidos en las provincias de Salta, Catamarca, La Rioja y San Juan; y en el cuarto, 4 puntos pertenecientes a la red de la provincia del Neuquén. En todos los casos el procedimiento consistió ajustar por mínimos cuadrados los parámetros de una transformación de similitud entre las distintas redes y los marcos 94 y 98. Se asume que los parámetros de la transformación absorben las inconsistencias de origen, escala y orientación entre las dos redes consideradas mientras que los residuos del ajuste ponen en evidencia sus distorsiones. La figura 3 muestra la desviación estándar de tales residuos expresada en centímetros, discriminando la componente vertical de las horizontales, para los cuatro casos considerados.

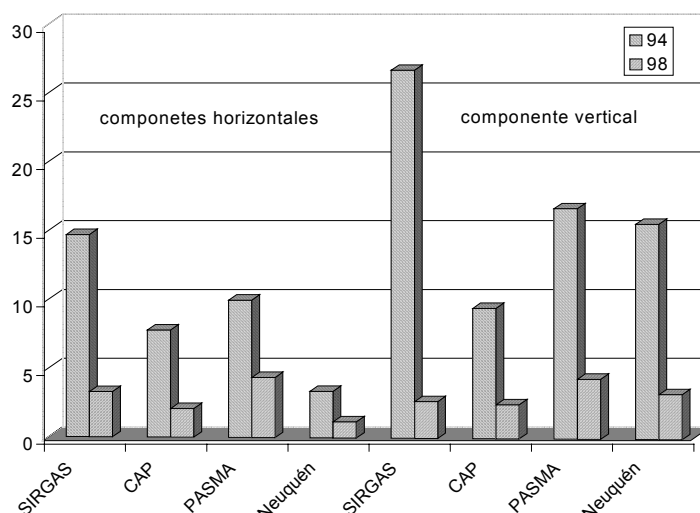


Figura 3: desviación estándar (centímetros) de los residuos de una transformación de similitud entre distintas redes y los marcos POSGAR 94 y 98; se indica también el cociente 94/98.

La figura 3 muestra que el acuerdo entre las cuatro redes consideradas y POSGAR 98 es excelente, manteniéndose en todos los casos por debajo de 5 centímetros ($\pm 1\sigma$), tanto para las componentes horizontales como para la vertical. Cuando nos remitimos a POSGAR 94 la situación empeora entre aproximadamente 4 y 10 veces para la componente vertical, tal como lo mostraría el cociente 94/98 entre las desviaciones estándares de los residuos de las respectivas transformaciones de similitud. Para las componentes horizontales los residuos respecto de POSGAR 94 empeoran en factores que aproximadamente van de 1 a 4.5, a medida que aumenta la extensión de la red considerada.

5. Conclusiones

El marco de referencia POSGAR 98 materializa el sistema terrestre internacional con una exactitud de pocos centímetros en las tres componentes. Las diferencias con las coordenadas geocéntricas del 94 se mantienen por debajo de 1.5 metros en las tres coordenadas, discrepancia esta que no produce consecuencias apreciables en la georreferenciación de levantamientos hasta la escala 1:5000. En cuanto a las diferencias en las coordenadas relativas, se observa una clara diferenciación entre lo que ocurre con las componentes horizontales y la vertical: mientras que las primeras reflejan que la realización del 94 es con respecto a la del 98 hasta 5 veces inferior en precisión, la segunda muestra una degradación de hasta 10 veces. Desde el punto de vista del control horizontal, POSGAR 94 es un marco apto para todo levantamiento cuyas exigencias de precisión rondan los pocos centímetros en extensiones del tamaño de una provincia argentina. POSGAR 98 asegura precisiones centimétricas aún en levantamientos muy extensos y es, desde todo punto de vista, más apropiado para aquellos levantamientos que exijan control vertical a niveles centométricos. En términos de los estándares geodésicos actualmente vigentes para el posicionamiento con GPS (IGM-CNUGGI, 1996) podría establecerse que POSGAR 98 puede servir de control para levantamientos que cumplan los estándares del tipo 0 hasta la exigencia B en las tres componentes, mientras que POSGAR 94 solo puede cumplir esa función hasta la exigencia D en las componentes horizontales y E en la vertical.

6. Referencias

- Brunini, C., El Sistema POSGAR, Capítulo 6 en Sistemas Geodésicos. Subcomité de Geodesia, Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, 1999.
- CNUGGI, Sistemas Geodésicos. Subcomité de Geodesia, Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, 1999.
- Drewes, H., Time evolution of the SIRGAS reference frame. Springer, IAG Symposia, No. 118, 174-179, 1998.
- DMA, Defense Mapping Agency World Geodetic System 1984. Technical Report, December 1987.
- IGM-CNUGGI. Estándares Geodésicos, Sistema de Posicionamiento Global (GPS), IGM, 50 pp, 1996.
- Kendrick, E., M. Bevis, R. Smalley Jr., O. Cifuentes, F. Galban, Current rates of convergence across the Central Andes: Estimates from continuous GPS observations. Geophys. Res. Lett. (26) 541-544, 1999.
- Moirano, J. y C. Brunini, H. Drewes y K. Kaniuth, Definición del marco de referencia geodésico argentino mediante observaciones GPS como materialización del Sistema de Referencia Terrestre Internacional. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Diciembre de 1998.

- Rodríguez, R., El Sistema Campo Inchauspe, Capítulo 2 en Sistemas Geodésicos. Subcomité de Geodesia, Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional, 1999.
- Rothacher, M. And L. Mervart (Eds.), Bernese GPS Software Version 4.0, Astronomical Institute University of Bern, 1996.
- Seemüller, W. and H. Drewes, The RNAAC SIRGAS. DGFI Annual Report, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, 1999.
- SIRGAS Project Committee, SIRGAS Final Report, Working Groups I and II. IBGE, Rio de Janeiro, 96 pp., 1997.
- Usandivaras, J. y C. Brunini, Programa general de compensación por mínimos cuadrados. Comunicación resentada en 17 Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Buenos Aires, 1992.
- Usandivaras, J., C. Brunini, C. Canosa, D. Mondinalli, C. Gende, F. Moirano, y J. Alvarez, Cálculo de la red geodésica nacional argentina, estrategia y resultados. Actas del XVII Congreso Brasileño de Cartografía, Salvador, 1995.