

Capítulo 6

Conclusiones y trabajos futuros

6.1 El marco de referencia Posgar'98

La transición del sistema de referencia nacional Campo Inchauspe'69, materializado por la red geodésica homónima, al sistema WGS84 materializado por el marco de referencia POSGAR'94, constituyó un paso relevante en la evolución de la geodesia en la Argentina. A partir de la adopción de POSGAR'94 en 1997 [IGM, 1997], el país posee un marco de referencia compatible con los métodos de posicionamiento satelital. El principal obstáculo en el desarrollo de esta transición ha sido el cambio de aproximadamente 200 m que implica en las coordenadas.

El marco de referencia POSGAR'98, presentado en el capítulo 4 y los anexos I al V, constituye la densificación argentina del marco continental SIRGAS95, que a su vez lo es del marco ITRF94, de cobertura global. Su época de definición es 1995.4 como fuera propuesto en el proyecto SIRGAS [SIRGAS WGII, 1997] para asegurar la máxima compatibilidad de las redes geodésicas nacionales de Sudamérica. Se ha mostrado en §4.5.5, sobre la base de controles independientes realizados sobre una muestra de puntos de buena distribución, que POSGAR'98 materializa al sistema de referencia ITRS para la época 1995.4 con una exactitud media (1σ) del orden de dos centímetros en latitud y longitud y de tres centímetros en altura elipsoidal. Las indicaciones de exactitud obtenidas del cálculo mismo que se incluyen en §4.5.5 confirman lo anterior e implican que es posible extrapolar esta conclusión al resto de los puntos de la red. También se ha mostrado

que las diferencias en las coordenadas absolutas respecto de POSGAR'94 son de sólo pocas decenas de cm en latitud y longitud y hasta algo más que un metro en altura elipsoidal. Esto implica que el uso del nuevo marco requiere una transición bastante menos traumática que la ya vivida para el caso de POSGAR'94 dado que las diferencias son significativas sólo para un puñado de aplicaciones.

Se ha mostrado mediante ejemplos en §4.5.6 que entre las aplicaciones que se beneficiarían de poseer un control geodésico de mayor exactitud que POSGAR'94 se encuentra el establecimiento de redes geodésicas de control de alta precisión que abarcan áreas de tamaño mayor que una provincia. Especial mención debe hacerse del caso de las redes de control del proyecto PASMA: Estas abarcan grandes áreas de la mayoría de las provincias argentinas y la gerencia del proyecto ha manifestado la intención de ajustarlas conjuntamente. En un caso así, sería ventajoso llevar a cabo el ajuste general de la red utilizando POSGAR'98 como control, sin perjuicio de realizar luego una transformación de similitud a POSGAR'94 que es en definitiva el marco de referencia oficial del país. Otro caso en que la utilización POSGAR'98 es altamente recomendable es en la resolución de problemas de control geodésico en áreas compartidas por dos países, ya sea para el control de obras de ingeniería o bien para la demarcación de los límites internacionales mismos. En estos casos, el valor de POSGAR'98 se acentúa por el hecho de ser una densificación del marco de referencia sudamericano SIRGAS95, cuya utilización tiene amplio consenso por parte de las autoridades geodésicas y cartográficas en todo el continente como fuera mencionado en §1.7.

En definitiva, y como conclusión general, puede decirse que aún cuando pueda parecer poco práctico plantear un nuevo cambio en el marco de referencia del país para todas las aplicaciones, se debe señalar que hay en el presente problemas que requieren un control geodésico de mayor calidad y o mayor compatibilidad con los marcos de referencia de otros países. POSGAR'98 puede constituir una herramienta útil para la autoridad geodésica del país a fin de dar una respuesta adecuada a dicha clase de necesidades.

6.2 Análisis de residuos de observaciones GPS

Se implementó una técnica de análisis de residuos que logra separar las contribuciones individuales de satélites y estaciones involucrados en el ajuste de una red, a los residuos de

las dobles diferencias de fase. Se mostró que esta técnica permite separar efectos provocados por errores de modelo en estaciones individuales del orden de dos milímetros para el procesamiento con L_1 y del orden de cinco milímetros al analizar residuos del observable libre de ionosfera L_3 . Las posibles aplicaciones de esta técnica son múltiples:

Agrega una herramienta para el análisis de problemas en el procesamiento de redes geodésicas de alta precisión con el paquete Bernese GPS Software (BSW4.0). En ese sentido, los programas desarrollados se encuentran instalados junto a dicho software en la FCAG y pueden ser utilizados en el procesamiento de redes geodésicas con fines científicos.

Permite encarar el análisis de los varios efectos que aún degradan los resultados de GPS respecto de la precisión de la observación misma enfocándose al mejoramiento del modelo de las observaciones sin perder de vista su significación en el ajuste de las observaciones.

Se ha mostrado en el capítulo 5 que problemas como errores en los modelos de las variaciones en la posición de los centros de fase en las antenas GPS pueden ser identificados y separados con esta técnica. Por otra parte, se mostró que el estudio de efectos dependientes del sitio en redes regionales puede también ser abordado con este método.

Problemas de dinámica compleja como variaciones rápidas o con asimetría acimutal del retardo troposférico (gradientes troposféricos) o efectos de carga sobre las estaciones requerirán trabajo adicional a fin de lograr una mejor visualización de las variaciones temporales de los residuos. El carácter discontinuo del modelo troposférico implementado actualmente en el BSW4.0 implica un obstáculo en el desarrollo del análisis de los residuos. En ese sentido se podrían estudiar alternativas en el modelado de este retardo en el programa GPSEST, cuya estructura interna fuera explicada en §3.4.2, o fraccionar el análisis en el tiempo respetando los períodos de validez asignados a los parámetros de corrección troposférica estimados.

El proyecto SIRVEMAS [Kaniuth et al, 1999a] en que cooperan la FCAG y el DGFI desde hace dos años para el control de la definición del sistema de referencia vertical en Argentina, pone especial énfasis en la determinación de alturas muy exactas con GPS, por lo que constituye una buena oportunidad para aplicar las técnicas implementadas.

6.3 El futuro del marco de referencia terrestre en Argentina

El sistema de referencia terrestre ha evolucionado de estar definido localmente a ser global y estar materializado sobre la base de la cooperación internacional. También ha pasado de ser conocido y usado por un pequeño grupo de especialistas a difundirse y ser utilizado por un creciente número de usuarios en el ámbito de muy diversas disciplinas. Más aún, la reciente eliminación de la Disponibilidad Selectiva en los satélites GPS [IGS, 2000], el éxito de la implementación del sistema de posicionamiento ruso GLONASS en cuanto a su compatibilidad con GPS [Slater, 1999] y la reciente decisión de la Comunidad Europea de establecer el sistema de posicionamiento satelital GALILEO [Ashkenazi, 2000] hace previsible un mayor e irreversible aumento en el número de usuarios del sistema de referencia global.

Es claro que el sistema de referencia ya no es un producto local o regional, ni siquiera es nacional. Es una herramienta global. Pero su materialización en el país es un servicio estratégico que sí requiere la implementación de una política local de mantenimiento físico y matemático a mediano y largo plazo que contemple la formación de recursos humanos especializados.

El mantenimiento físico de redes de control densas es costoso y poco redituable en zonas despobladas. Por otra parte, los medios tecnológicos actuales permiten el desarrollo de servicios de estaciones GPS permanentes que con relativamente pocos puntos podrían cubrir la mayor parte de las necesidades de vinculación al sistema de referencia en las concentraciones urbanas. El proyecto RAMSAC [Lauría et al., 1998], en proceso de implementación por el IGM, es un importante paso en ese sentido. El mantenimiento matemático del sistema es más costoso aún que el físico por la necesaria inversión en capital humano que requiere, pero es mucho más redituable a mediano y largo plazo porque el conocimiento ayuda a lograr un mejor aprovechamiento de los recursos y a la generación de nuevos servicios y productos de alto valor agregado. Una posibilidad interesante para encarar esta tarea por parte de la autoridad geodésica y cartográfica nacional es el desarrollo de una fuerte vinculación con las universidades. En este sentido, la cooperación desarrollada entre el IGM y la UNLP a lo largo de este trabajo resulta un auspicioso antecedente. Otra posibilidad que debería ser aprovechada es la de aunar esfuerzos con universidades y autoridades geodésicas de los demás países de la región a fin de, por ejemplo, conformar una organización que logre la capacidad de mantener el marco

SIRGAS y sus densificaciones nacionales. A esto podrían en el futuro sumarse otras actividades relacionadas como las que realizan los centros asociados al IGS [IGS, 1999a] para contribuir al mantenimiento del ITRF. Este bien podría ser el futuro del proyecto SIRGAS.