

Sistemas, marcos y coordenadas

El presente documento constituye una contribución del Grupo de Trabajo Sistemas Geodésicos del Subcomité de Geodesia (Comité Nacional de la Unión Geodésica y Geofísica Internacional) a los usuarios de los sistemas de referencia como complemento de los textos anteriores (Sistemas Geodésicos, 1999 y POSGAR, 2001). Se intenta mediante el mismo ilustrar acerca de las distintas posibilidades actualmente disponibles y sugerir el modo de utilizarlas de la mejor manera posible.

Las consideraciones tienen validez para quienes utilizan las redes pasivas, constituidas por los puntos trigonométricos o satelitarios y también los relevamientos vinculados a las estaciones GPS permanentes o activas agrupadas en RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) u otras redes. Como apéndice se incluye una sección destinada al problema altimétrico.

Sistemas y marcos

En primer lugar se considera necesario hacer notar la diferencia entre sistema y marco que se usaron y se siguen usando como sinónimos y que con la evolución de la tecnología se acercan cada vez más.

Sistemas de Referencia Geodésicos

Un sistema de referencia geodésico es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre.

Deben distinguirse los llamados **sistemas locales** que utilizan para su definición un elipsoide determinado y un punto datum y los **sistemas globales** cuyos parámetros están dados por una terna rectangular (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro del planeta. Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. Esta es una definición rigurosa pero abstracta, pues tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

Marcos de Referencia Geodésicos

Constituyen la materialización del sistema de referencia sobre la superficie terrestre. A los fines prácticos un sistema de referencia se materializa mediante un conjunto de mojones geodésicos implantados en una región, a los que se le han asignado coordenadas. Es claro que tales coordenadas han surgido de un cierto proceso de medición estando, por lo tanto, afectadas de errores.

Es cierto también que a un mismo sistema de referencia puede corresponderle más de un marco producto de la materialización de dicho sistema en distintas zonas, países o regiones.

La situación en la Argentina

El marco oficial POSGAR 94

El marco de referencia oficial es POSGAR 94 (basado en el Sistema de Referencia Geocéntrico WGS 84) establecido por la Disposición 13/97 del Instituto Geográfico Militar, dentro de sus atribuciones como autoridad geodésica y cartográfica del país (Ley 22963 – Ley de la Carta y Decisión Administrativa 520/96). Esa red cuenta con unos 130 puntos uniformemente distribuidos en el territorio nacional determinados en 1993 con la tecnología GPS con una precisión de 1:1000000. Sus coordenadas están disponibles en la página *web* del IGM www.igm.gov.ar

Este marco reemplaza al anterior conocido como Campo Inchauspe 1969 con unos 18000 puntos y cuya precisión es del orden de 1:300000.

Un caso que aun se presenta es pasar **de Campo Inchauspe 1969 a POSGAR 94** debiendo tenerse presente - en primer lugar – que en toda transformación no se elimina la totalidad de los errores del sistema original, lo único que ocurre es un traslado, una rotación y un posible ajuste de escala.

Para llevar a cabo esa transformación lo habitual es aplicar las fórmulas de Molodenski utilizando como elipsoide original el Internacional de 1924 (asociado con Campo Inchauspe 1969) y para POSGAR 94 el elipsoide WGS 84. Los valores de los parámetros en el mismo sentido, es decir de Campo Inchauspe 1969 a POSGAR 94 son:

$$\Delta X = -148$$

$$\Delta Y = +136$$

$$\Delta Z = +90$$

(en metros)

Estos parámetros son conocidos como DMA, la sigla que identificaba a la agencia de los Estados Unidos de América que hoy se llama NIMA. En la página *web* de la misma se encuentran tales parámetros, así como los determinados para el resto del mundo <http://earth-info.nga.mil/GandG/datums/dtp>

Esta transformación tiene la particularidad de usar para todo el país un solo conjunto de parámetros como promedio de los determinados en 20 puntos comunes entre Campo Inchauspe 1969 y un sistema predecesor del WGS 84. Luego fueron ajustados con observaciones de orden mundial y su precisión se estima en ± 5 metros.

La medición de la red POSGAR permitió elegir 50 puntos comunes entre esta red y la de triangulación Campo Inchauspe 1969 que dio lugar a un nuevo cálculo de parámetros que, si bien tienen una precisión superior a los anteriores, no muestran diferencias substanciales con aquellos.

Tanto unos como otros tienen el carácter de valores únicos para todo el país y no contemplan las deformaciones zonales. Para aquellos casos que se requiera mayor precisión es recomendable recurrir a una regresión múltiple en coordenadas planimétricas mediante el uso de dos series de coeficientes que pueden encontrarse en la página *web* de los agrimensores chubutenses (Rodríguez, et al, 1997).

El marco POSGAR 98

La geodesia argentina acompañó el desarrollo tecnológico universal y participó, con todos los países de América del Sur en el establecimiento de una red sudamericana de muy alta precisión que con la incorporación del resto de los países del continente pasó a llamarse Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, abreviado como SIRGAS. La información acerca del proyecto puede consultarse en <http://www1.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/principal.htm>

El Instituto Panamericano de Geografía e Historia - IPGH – en la XIX Reunión de Consulta sobre Cartografía (Bogotá, 2001) recomendó a los Estados Miembros que actualicen e integren sus sistemas nacionales a SIRGAS.

Con las coordenadas de la primera campaña SIRGAS (1995), agregando algunas mediciones adicionales y utilizando un *software* científico ha sido mejorado el marco POSGAR 94 con coordenadas planimétricas más precisas y mucho mejores en sus alturas elipsóidicas. Estas coordenadas y los datos acerca de su precisión pueden obtenerse en el sitio <http://groups.msn.com/POSGAR>

Ante la alternativa de usar uno u otro la sugerencia sería usar siempre el marco más preciso – actualmente POSGAR 98 – y luego realizar una transformación hacia el marco anterior que se solicita – POSGAR 94 por tratarse del oficial – u otro por otras razones o decisiones.

Diversos trabajos de investigación (Mackern, 2003 y Mackern et al, 2002 entre otros) muestran las precisiones de ambos marcos y los resultados de su comparación.

Las alturas

En las transformaciones no se ha mencionado el tema de las alturas. ¿Por qué?

Porqué las alturas sobre el nivel del mar, que habitualmente denominamos cotas, no se modifican cuando se cambia el marco de referencia. Varía la altura elipsoidal y también la ondulación del geoide que están referidas a los elipsoides asociados a los diferentes marcos.

Mencionaremos dos alternativas para pasar de alturas elipsóidicas a ortométricas o normales aplicando la expresión aproximada

$$h = N + H$$

donde h es la altura elipsoidal, N la ondulación del geoide y H la cota del punto, que puede ser nivelada, ortométrica o normal.

1) La primera consiste en usar el modelo EGM 96 cuyos valores (N), en función de la latitud y la longitud del punto, están en <http://earth-info.nga.mil/GandG/egm96/intpt.htm> en cuyo caso $H = h - N$

Una prueba acerca de la confiabilidad del modelo EGM 96 para la Argentina puede encontrarse en Rodríguez et al, 2002. En el mismo se manifiesta que el promedio de las diferencias entre el modelo y la observación, para los puntos analizados, es de unos 50 centímetros.

2) Teniendo presente que la aplicación aislada del modelo no es la mejor solución, sino que se perfecciona cuando se hace una traslación relativa de la altura. Es decir efectuar mediciones GPS en un punto de la red de nivelación y en otro cuya cota tenemos interés en conocer y luego utilizar la expresión

$$H(\text{llg}) = H(\text{sal}) + \Delta h - \Delta N$$

siendo H (sal) la altura del punto conocido y H (llg) la del sitio a determinar.

En ambos ejemplos se consideró el modelo EGM 96, sin embargo los mismos conceptos son aplicables a cualquier otro modelo disponible.

Bibliografía

Mackern M. V. Materialización de un Sistema de Referencia Geocéntrico de alta precisión mediante observaciones GPS (tesis doctoral). Universidad Nacional de Catamarca. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas. Catamarca, 2003.

Mackern M. V., Brunini C., Moirano J., Rodríguez R., Lauría E. Hacia la unificación de las redes geodésicas argentinas. XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Rosario, 2002. <http://www.agrimensoreschubut.org.ar> o bien <http://fiselect2.fceia.unr.edu.ar/geodesia>

Rodríguez R., Brunini C., Olondríz J. El problema de determinación de parámetros de transformación. IX Congreso Nacional y IV Latinoamericano de Agrimensura. Carlos Paz, 1997 <http://www.agrimensoreschubut.org.ar/>

Rodríguez R., Lauría E., Ramos R. Ondulaciones del geoide observadas y su comparación con los datos del modelo EGM 96. XXI Reunión Científica de Geofísica y Geodesia. Rosario, 2002. <http://fiselect2.fceia.unr.edu.ar/geodesia>

Sistemas Geodésicos y POSGAR http://www.igm.gov.ar/programas/cnuggi2_2.htm o bien www.elagrimensor.net