

Redes geodésicas fronterizas

Rubén C. Rodríguez

rubenro@fibertel.com.ar

Consideraciones iniciales

Las coordenadas de los hitos, mojones y puntos testigos de los límites terrestres con los países vecinos se encuentran en distintos sistemas de referencia, además de los ubicados en las cercanías de los límites fluviales y también las referencias en el litoral marítimo.

Esta situación dificulta su localización mediante las disponibilidades de la tecnología actual y su solución, integrándolos a los sistemas geodésicos globales, apelando a las mismas herramientas, no es compleja ni costosa.

Todos los sistemas tienen, por la época en que fueron implantados, su origen en puntos astronómicos que reúnen dos características favorables para su relocalización: se encuentran situados en lugares de acceso relativamente fácil y están sólidamente marcados. Un ejemplo es el ubicado a unos 100 metros del Cristo Redentor de los Andes.

Un sistema único de coordenadas a nivel mundial es una aspiración generalizada y hoy está dada por las coordenadas semanales o multianuales de las estaciones GNSS permanentes dadas por SIRGAS (www.sirgas.org) las cuales densifican el marco de referencia internacional (ITRF) en América.

En el orden nacional también se ha alcanzado en el año 2015 la definición de un sistema único a través del acuerdo entre el Instituto Geográfico Nacional y el Consejo Federal de Catastro apoyado por la Federación Argentina de Agrimensores, hoy POSGAR 2007 época 2006.6. (<https://www.ign.gob.ar/content/firma-de-acta-acuerdo-entre-ign-fada-y-cfc>)

Las diferencias entre las coordenadas de cualquier punto dadas en uno u otro de los sistemas mencionados son, en la actualidad, menores de 1 metro. Para ejemplificar un caso se utilizan coordenadas en el marco POSGAR 2007.

Metodología propuesta

Es por ello por lo que se propone la vinculación entre los puntos astronómicos que se resulten apropiados y las estaciones GNSS permanentes mediante la misma tecnología. En cada sistema local se elegirán por lo menos dos puntos – preferentemente más de dos - para determinar sus coordenadas en el marco SIRGAS citado y los parámetros de transformación entre el sistema universal y el local.

Una vez obtenidos tales parámetros se aplicarán a las coordenadas geodésicas de todos los puntos del sistema local incluyendo las coordenadas de los hitos.

Al respecto es conveniente mencionar que en una transformación de coordenadas los errores que esta produce son cercanos a un metro y menores cuando las áreas no son muy extensas, por ejemplo, unos 200 km. Tal valor resulta compatible con la necesidad de la ubicación espacial de los hitos o su representación en la cartografía a escalas medias. Se observa, asimismo, que cuando en documentos oficiales se publican coordenadas de hitos o puntos del límite se las expresa en metros, sin decimales, si se trata de coordenadas planas (que significa 1 m de apreciación) o en segundos de arco o eventualmente con un decimal de segundo (en cuyo caso significa 3 metros).

En resumen, el proceso en cada sistema o grupo sería el siguiente:

1. Seleccionar los puntos a medir
2. Efectuar la medición GNSS respecto de las estaciones activas
3. Determinar los parámetros de transformación
4. Aplicarlos al resto de los puntos del sistema

Es necesario tener en cuenta que deben utilizarse siempre las coordenadas geodésicas de los puntos astronómicos, siendo posible que algunos casos sean coincidentes, por ejemplo, cuando las coordenadas astronómicas son asignadas al punto de origen.

Es oportuno señalar, asimismo, que se podrán seleccionar para ser medidos, no sólo los puntos astronómicos sino cualquiera que se encuentre en condiciones físicas mejores o con mayores facilidades de acceso.

La decisión de adoptar la propuesta queda a cargo de las autoridades gubernamentales en la materia y de los acuerdos que se establezcan con los países limítrofes.

Situación con cada país limítrofe

A continuación, analizaremos - a partir de documentos publicados – la situación de los puntos ubicados en las áreas fronterizas con cada país colindante.

Bolivia

El informe final de la comisión demarcadora incluye 17 gráficos con los puntos de la red desarrollada, incluyendo los hitos con sus coordenadas. La red utilizó como origen el extremo Norte de la base Yavi (de la red de triangulación argentina que hoy es uno de puntos del marco POSGAR 2007 identificado como YAVI) y como base la longitud de esta. Otro punto notable es el hito Esmeralda (trifinio entre la Argentina, Bolivia y Paraguay) donde se determinó una estación astronómica que constituye el extremo Este del sistema que arranca en el C° Zapaleri (el trifinio entre la Argentina, Bolivia y Chile).

Brasil

En la frontera seca, de aproximadamente 30 km de extensión, comprendida entre las nacientes de los ríos Pepirí-Guazú y San Antonio fue medida una poligonal para dar coordenadas a los hitos con origen en un punto astronómico ubicado en la localidad argentina de Bernardo de Irigoyen. Este punto también integra el marco POSGAR 2007 y es identificado como NPGU.

Chile

Para su análisis se utilizó el protocolo acordado entre la Argentina y Chile para la colocación de hitos. Divide la frontera en 16 secciones de dos grados de extensión en latitud cada una, estableciendo que en su latitud media se determine un punto astronómico que da origen al sistema y otros dos, uno al Norte y otro al Sur, como control de acimut de la red de triangulación o poligonación, totalizando – de acuerdo con el protocolo - más de treinta puntos astronómicos. Un caso particular es el paralelo -52° y la línea hasta Punta Dungeness. La sección XII incluye el punto astronómico cercano al Cristo Redentor mencionado previamente.

Paraguay

Desde el trifinio Esmeralda hasta la desembocadura del río Pilcomayo, de cauce divagante, la frontera está dividida en tres sectores habiéndose

determinado puntos astronómicos en Boca Pilcomayo, Salto Palmar, Isleta, Fortín Horqueta e Irigoyen utilizándose asimismo el trifinio Esmeralda entre los que se llevaron a cabo levantamientos topográficos para darle coordenadas a los hitos implantados.

Uruguay

Entre los gobiernos de la Argentina y Uruguay se firmó en 1918 un convenio para realizar trabajos de triangulación en la zona del río Uruguay entre las desembocaduras del río Cuareim en el Uruguay y la de este en el río de la Plata en una extensión de 500 km aproximadamente.

Tal cadena de triangulación cuenta con unos 30 puntos la mitad de los cuales se encuentran en territorio argentino y la otra mitad en el uruguayo. Fueron determinadas dos estaciones astronómicas y dos bases geodésicas, una de ellas, Palmar, de 34 km de longitud, la más extensa del país. Las coordenadas de los vértices argentinos se encuentran en el sistema Castelli y fueron publicadas en el año 1948.

Ejemplo numérico

Para ilustrar el esquema propuesto previamente se eligieron dos puntos que cuentan con coordenadas en el marco POSGAR 2007 simulando que fuesen dos del área fronterizas en los que se han realizado mediciones GNSS vinculadas a una estación activa y que, en consecuencia, disponen de coordenadas en tal marco además de las locales.

Los dos puntos seleccionados se encuentran en la Provincia de Buenos Aires que además de las coordenadas POSGAR 2007 tienen coordenadas en el sistema Campo Inchauspe 1969 que simulan el sistema local. Además, se agregó un tercero dentro de la misma zona (también con los dos juegos de coordenadas) para aplicar los parámetros de transformación determinados y verificar el resultado.

Coordenadas geodésicas Campo Inchauspe 1969:

PNIR $-37^{\circ} 42' 5.1557''$ $-61^{\circ} 56' 0.0815''$ /292 m

CRMN $-35 54 34.0230$ $-59 54 49.3146$ /48 m

Coordenadas cartesianas resultantes, en metros:

PNIR X 2377531.35 Y -4458966.32 Z -3879518.25

CRMN X 2592826.66 Y -4475326.42 Z -3720145.42

Coordenadas cartesianas de los mismos puntos en marco POSGAR 2007:

PNIR X 2377383.71 Y -4458835.71 Z -387430.39

CRMN X 2592680.35 Y -4475194.88 Z -3720057.69

Al hacer las diferencias resultan como parámetros de transformación promedio:

$$\Delta X -146.97 \Delta Y 131.07 \Delta Z 87.79$$

que aplicadas a las coordenadas del tercer punto con coordenadas Campo Inchauspe 1969

VNWJ -37 36 40.6661 /-60 7 5.0648

mediante las fórmulas de Molodenskii da como resultado

-37 36 39.2463 /-69 7 7.5979

que comparadas con las originales en el marco POSGAR 2007

-37 36 39.2688 /-69 7 7.5894

arrojan una diferencia de 0.0225" en latitud y 0.0085" en longitud que significan 0.68 m y 0.20 m respectivamente.

Referencias bibliográficas

Acuña, Yvho. Cien años de geodesia en el Uruguay. Boletín 3 del Servicio Geográfico Militar, Montevideo, 1944

Convención sobre triangulación en el río Uruguay (1918)

IGM. Coordenadas provisionales, geográficas y planas conformes de los puntos trigonométricos sistema Castelli, 1950

Informe final de la Comisión Mixta Demarcadora de Límites Argentina – Bolivia, 1953

Luchetti, Aurelio A. Límites fronterizos. Estrategia, número 46-7, 1977

Protocolo relativo a la reposición y colocación de hitos en la frontera argentino-chilena, 1941

Tierra, Alfonso R./Rodríguez, Rubén C. Transformación de coordenadas usando diferentes marcos, 2008

[Transformacion de coordenadas entre marcos usando diferentes metodos](https://www.researchgate.net/publication/284189730)

Tratado Complementario de Límites Definitivos entre las Repúblicas Argentina y del Paraguay, en el Río Pilcomayo, 1945

Tratado para el reconocimiento de los ríos Pepirí-Guazú y San Antonio, Brasil y la Argentina, 1885 y tratado referente a la línea divisoria de la República Argentina con los Estados Unidos de Brasil, 1898

Usandivaras, Juan C./Rodríguez, Rubén C. Sistemas de referencia. Revista IGM 3-5, 1988