

Informe Técnico para Usuarios de **tdaTDF**

Departamento de Astrometría

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas

Universidad Nacional de La Plata y CONICET

M. E. Gomez, L. Mendoza, D. Del Cogliano, R. Perdomo, J. L. Hormaechea

26 de octubre de 2011

Resumen

El propósito del presente trabajo es optimizar la aplicación de un modelo propio en la Provincia de Tierra del Fuego para transformar alturas elipsoidales en alturas sobre el nivel medio del mar (s.n.m.m).

Participaron, a lo largo de las distintas etapas, la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (FCAG-UNLP), en conjunto con la Estación Astronómica de Río Grande (EARG; CONICET-UNLP-Pcia. de TDF AeIAS). Los datos aportados por otras instituciones, detalladas más adelante, fueron de tipo gravimétrico, de nivelación y geodésico.

El modelo y el software fueron elaborados por investigadores del Departamento de Astrometría de la FCAG-UNLP y CONICET.

1. Antecedentes y conceptos básicos relacionados con el modelo de geoide

Entre los años 1998 y 2008 se desarrollaron campañas GPS con el objetivo de contribuir al desarrollo de un modelo local de geoide. Las primeras campañas se realizaron en el año 1998 y consistieron en el posicionamiento GPS de puntos acotados pertenecientes a la línea de nivelación del IGN (Del Cogliano et al, 2001)[3] que recorre la Ruta Nacional 3 (R. N. 3). Aquellos puntos donde se cuenta con información de doble altura, se denominan puntos de GPS/nivelación.

Durante este tiempo, tanto el IGN como el departamento de Gravimetría de la FCAG-UNLP realizaron mediciones gravimétricas, sobre puntos de nivelación, y también sobre los caminos accesibles.

Entre los años 2002 y 2005 fueron efectuadas mediciones sobre el lago Fagnano las que vinculadas a la red de nivelación permitieron extender el nivel en esa región (Del Cogliano et al., 2007)[4].

En 2008, el IGN extendió la red de nivelación sobre la Ruta Provincial B (R. P. B), al mismo tiempo que se efectuó una nueva campaña de medición GPS sobre estos nuevos puntos y otros existentes en la R. N. 3.

La combinación de todas las observaciones con la información gravimétrica existente, permitió mejorar aun más el modelo previo (geométrico, i.e. sólo GPS/nivelación), y extenderlo más allá de las líneas de nivelación. La solución así obtenida fue íntegramente vinculada al marco TDF08 (Mendoza, 2008).[9]

Este modelo se empleó como base para la elaboración del modelo de transformación de alturas de Tierra del Fuego (**tdaTDF**), en su versión 2011 .

Este nuevo modelo permite calcular en cada punto, la diferencia entre la altura elipsoidal (h), obtenida con GPS, y la de la red altimétrica (H).

$$N[m] = h[m] - H[m] \tag{1}$$

En la Fig. 1, se presenta el esquema correspondiente a las alturas involucradas.

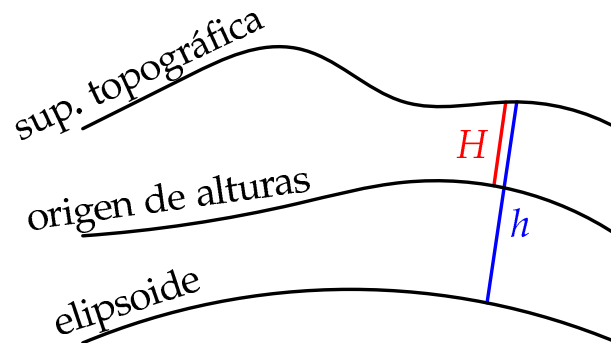


Figura 1: diagrama simplificado del problema de transformación de alturas mostrando la relación entre la altura elipsoidica h , referida a un elipsoide de referencia, y la altura H , referida al origen de alturas. La diferencia entre estas alturas aproxima la ondulación del geoide.

Ha de notarse que, implícitamente, se ha puesto que las alturas H están referidas al geoide. Lo cierto es que, por distintas cuestiones que exceden este informe, H no es exactamente una altura ortométrica. No obstante, la diferencia entre esta altura y la ortométrica es despreciable en el area de cálculo y de acuerdo con la precisión que se estima para el modelo de transformación. Por ello es que la diferencia entre la altura elipsódica y H , aproxima el valor de la ondulación del geoide.

2. El marco de referencia

Previo a introducirnos de lleno en el funcionamiento de **tdaTDF** es necesario hacer hincapié en el marco de referencia de las coordenadas GPS.

La provincia de Tierra del Fuego contó con el primer marco de referencia geocéntrico del país medido con GPS. En 1993, un emprendimiento conjunto de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Gobernación de la provincia hizo posible el diseño, monumentación, medición y procesamiento de una red de 20 puntos, los que conformaron el marco TDF93 (Perdomo et al., 1994)[11]. Dos años más tarde, fueron calculados los parámetros de transformación que permitieron integrar dicha red al marco de referencia nacional POSGAR94, adoptando así el nombre de TDF95.

La red TDF95 ha sido periódicamente remedida, calculada con precisión creciente y densificada.

Recientemente, todas las observaciones acumuladas entre 1993 y 2008, fueron reprocesadas con software científico, Bernese GPS Software versión 5.0. El marco resultante de este nuevo procesamiento de la red, se encuentra alineado al marco IGS05 y ha sido denominado TDF08.

Finalmente, en el año 2008, el IGN presentó el nuevo marco oficial para el país, POSGAR 07; siendo éste un marco de referencia compatible con los requerimientos internacionales. Es por ello, que las **alturas elipsóidicas** ingresadas al momento de utilizar **tdaTDF** deberán estar **referidas a POSGAR07**.

3. Modelo geoidal empleado como base para la elaboración del modelo de transformación de alturas **tdaTDF**

3.1. Metodología:

En el marco de una tesis doctoral (Gomez, 2010)[7], se diseñó un algoritmo que implementa el método de las fuentes equivalentes (FE). Este permite combinar distinto tipo de información relacionada con el campo de la gravedad terrestre, con el objetivo de reconstruir estos, u otros, observables en el área de cobertura del modelo. Uno de estos observables que se pueden ser reconstruidos (o estimados) es la ondulación geoidal. Para mayor información, referirse a Dampney (1969)[2], Guspí (2004)[8], Cordell (1992)[1], entre otros.

El modelo construido haciendo uso del algoritmo mencionado en el párrafo anterior, fue obtenido a partir de un total de 65 valores residuales de ondulación geoidal y una grilla de 558 valores de anomalías gravimétricas. Estas últimas fueron generadas durante el procedimiento de reducción de unos 300 valores de gravedad medidos. Este proceso forma parte del esquema conocido como remover - restaurar. Sólo se indicará que es un método altamente conveniente en el manejo de información del campo gravitacional para el filtrado

de largas y cortas longitudes de onda, y que las anomalías gravimétricas iniciales fueron anomalías MTR (Modelado de Terreno Residual).

Para la determinación de las cortas longitudes de onda (efectos propios de la topografía local), se utilizó el modelo digital de elevaciones (DEM), SRTM3 (Farr et al., 2007)[5].

Para modelar las largas longitudes de onda (efectos regionales y globales) se utilizó el modelo geopotencial global EIGEN-GL04c (Förste et al., 2005)[6]. Todo esto conformó parte del método remover-restaurar en su etapa de remoción.

De acuerdo con lo comentado en el párrafo anterior, a los valores de ondulación geoidal que ingresaron también en la elaboración del modelo (N_{obs}), se les sustrajo la ondulación determinada con el modelo global (N_{mod}), haciendo uso del mismo grado y orden, que el empleado durante el proceso de reducción gravimétrica.

Con esta información y mediante el método de las FE, es posible generar la diferencia:

$$D_N = N_{obs} - N_{mod} \quad (2)$$

para cualquier punto dentro de la región de validez. Es decir, un punto arbitrario sobre el que no se haya incorporado información. Luego, el valor de N es calculado (N_{cal}), mediante la restauración (proceso de restaurar) del valor de N_{mod} . Este último es obtenido a partir del paquete de coeficientes armónicos esféricos y los valores de N_{mod} se obtienen a partir de una grilla de ondulaciones geoidales del modelo. Conocidas las coordenadas geodésicas del punto, se estima sobre el mismo el valor de ondulación geoidal proveniente del mismo.

$$N_{cal} = D_N + N_{mod} \quad (3)$$

3.2. Información local contenida en el modelo:

En la elaboración del modelo descripto se incluyeron:

- 52 puntos con cota conocida distribuidos a lo largo de las rutas B, H, y 3.
- 10 observaciones dispuestas sobre el Lago Fagnano.
- 3 observaciones de GPS/nivelación sobre el sector chileno, las que sólo fueron utilizadas como información de contorno.
- 558 valores de anomalías gravimétricas MTR dispuestas en una grilla de 7 km de equiespaciado.

Los datos aquí descriptos, provienen de la colaboración con varias instituciones aparte de las mencionadas al principio. Estas son:

- Departamento de Gravimetría de la FCAG-UNLP
- Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Instituto de Geofísica Daniel Valencio (InGeoDaV, UBA-CONICET)

- Instituto de Geodesia Planetaria (IPG) de la Universidad Técnica de Dresden (TUD, Alemania)

Es la información gravimétrica, la que permite extender el modelo en la zona central de la isla, más allá de las líneas de nivelación disponible. Al mismo tiempo, la nivelación que pueda existir en la región permite calibrar verticalmente el modelo.

4. Comportamiento y errores del modelo

A continuación, se presentan dos figuras (Fig. 2), correspondientes a las ondulaciones geoidales provenientes del modelo EIGEN-GL04c, y las diferencias D_N . Como se comentó en la sección anterior, el valor de ondulación obtenido es la suma de estos últimos: N_{mod} y D_N .

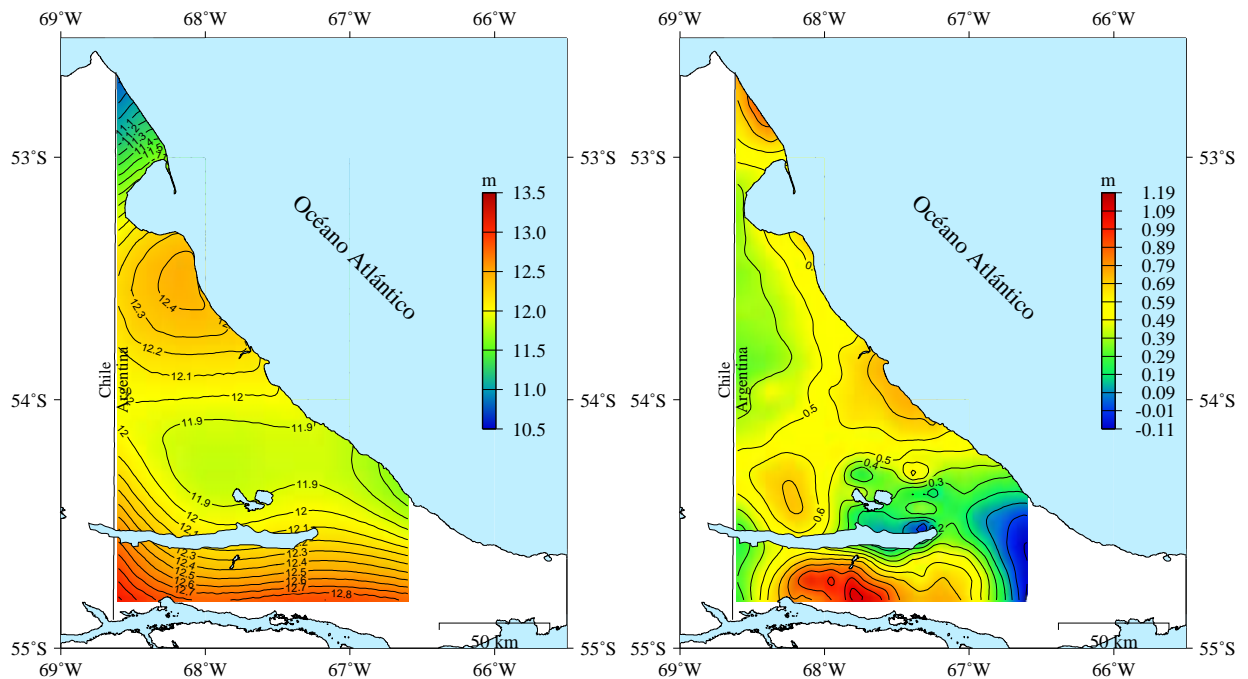


Figura 2: distribución espacial de los valores de ondulación geoidal proporcionados por el modelo global EIGEN-GL04c (Izq.) y de las diferencias en relación al valor observado (Der.).

Por último, se presenta un gráfico con la distribución de los apartamientos del modelo resultante, respecto a los valores observados (Fig. 3).

Los errores del modelo se estiman en 5 cm al norte del Lago Fagnano, y de entre 7 y 10 cm al sur del mismo (y cercano a las líneas de nivelación). Esta distribución espacial de errores se relaciona con la disponibilidad de información en ciertas regiones de la isla, como así también de su calidad.

La falta de información es la razón por la cuál el modelo no se extiende al Este de -66.6° .

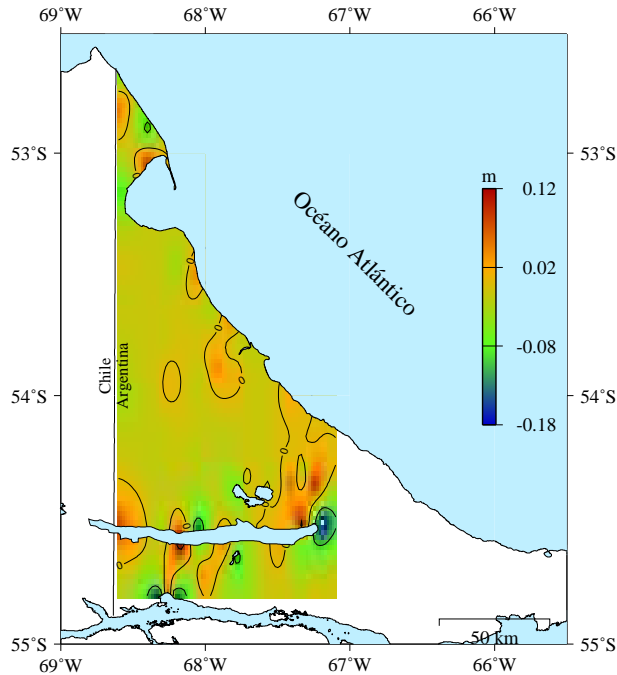


Figura 3: distribución espacial de los errores del modelo de geoides elaborado para Tierra del Fuego. Al sur del lago Fagnano, y por fuera de la región que limita la Ruta N. 3, se observan algunos residuos altos que se deben a la escasa y mala distribución de datos observacionales en esa región.

Teniendo en cuenta que gran parte de esta información ha sido incluida en el modelo, los residuos mostrados en la Fig. 3 son el resultado de un proceso de validación cruzada, el cual permite estimar de manera realista el error cometido al calcular la ondulación geoidal sobre un punto no incluido en el mismo.

En el año 2008 fue publicado el modelo geopotencial global EGM2008 (Pavlis et al., 2007)[10], el cual cuenta en la región con mayor información que modelos anteriores.

En tal sentido, constituye una herramienta de control independiente del modelo propio, así como, en el otro sentido, permite una evaluación de este modelo global en una región con pocos datos como Tierra del Fuego.

El acuerdo del EGM2008 con la información de los puntos de GPS/nivelación es satisfactorio (presenta una desviación estándar de 9 cm).

No obstante, si bien no existen puntos de GPS/nivelación sobre el sector sudoeste, se cuenta allí con información sobre el lago Fagnano (considerado como si fuera una superficie

de nivel). A partir de ésta fue posible detectar discrepancias de hasta 80 cm entre el EGM2008 y las observaciones, llevando el desvío estándar de 9 cm a 35 cm en esa región (Fig. 4). Una posible explicación es la ausencia de información real en esa zona. Este dato se desprende de la misma publicación del modelo.

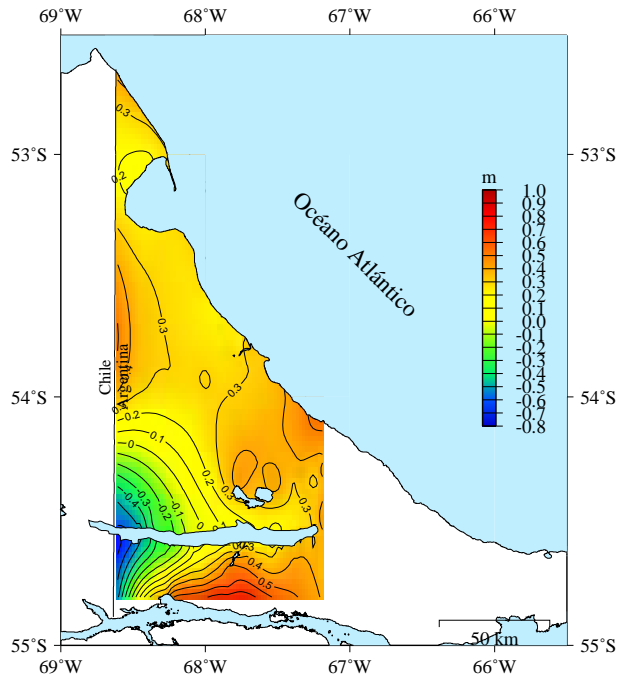


Figura 4: distribución espacial de las diferencias $N_{obs} - N_{EGM2008}$ en una porción de la provincia de Tierra del Fuego.

5. Modelo de Transformación de alturas tdaTDF

El modelo **tdaTDF** tiene como fuente, las masas equivalentes generadas con el algoritmo de FE.

El usuario tendrá acceso al modelo, a partir de la página web dispuesta para tal fin, ingresando las coordenadas elipsoidales de los puntos en los que quiera efectuar el cálculo. La página web es accesible desde cualquier navegador web.

Debido a que siempre existe una posibilidad de mejora en los modelos, este primer modelo constituye la versión 2011 de tdaTDF. Con esta aplicación, el usuario obtendrá en los puntos que lo requiera, la altura s.n.m.m estimada (H). Esto será posible siempre y cuando se encuentre dentro de la región de validez definida para el modelo.

Si el usuario necesitara el valor de la ondulación geoidal, podrá efectuar a partir de los valores ahora conocidos, la diferencia:

$$N = h - H \quad (4)$$

Deberá tener en cuenta el usuario, el marco de sus coordenadas elipsoidales al momento de aplicar este valor de ondulación obtenido. El error quedará determinado por:

$$\sigma_N = \sqrt{\sigma_h^2 + \sigma_H^2} \quad (5)$$

Referencias

- [1] Cordell L., 1992. *A scattered equivalent-source method for interpolation and gridding of potential-field data in three dimensions*. Geophysics. Vol. 57, N. 4.
- [2] Dampney C. N. G., 1969. *The equivalent source technique*. Geophysics, Vol. 34, Nro. 1, 39-53.
- [3] Del Cogliano D., Hormaechea J.L., Perdomo R., Galbán F., Lauría E., Ramos G., 2001. *Geoid Study in Tierra del Fuego*. IAG Symposia. Vertical Reference Systems. Springer, Vol. 124, 192-193.
- [4] Del Cogliano D., Dietrich R., Richter A., Perdomo R., Hormaechea J. L., Liebsch G. and Fritsche M., 2007. *Regional geoid determination in Tierra del Fuego including GPS levelling*. Geologica Acta, Vol.5, Nro. 4, 315-322.
- [5] Far et al., 2007. *The Shuttle Radar Topography Mission*
- [6] Förste C., Flechtner F., Schmidt R., Meyer U., Stubbenvoll R., Barthelmes F., König R., Neumayer K.-H., Rothacher M., Reigber C., Biancale R., Bruinsma S., Lemoine J.-M., Raimondo J.C., 2005. *A high resolution global gravity field model combining GRACE and CHAMP mission and altimetry/gravimetry surface gravity data*.
- [7] Gomez M. E. 2010. *Modelado del Geoide en Tierra del Fuego Integración de técnicas geodésicas y astrométricas*. Tesis Doctoral, FCAG-UNLP.
- [8] Guspí F., Introcaso A., Introcaso B., 2004. *Gravity-enhanced representation of measured geoid undulations using equivalent sources*. Geophysical Journal International, 158, 1-8.
- [9] Mendoza L., 2008. *Densificación del Marco de Referencia Terrestre ITRF y determinación de movimientos de la corteza en la Tierra del Fuego. Resultados del reprocesamiento de 14 años de observaciones GPS*. Tesis Doctoral. UNLP, Argentina.
- [10] Pavlis N., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. 2008. *An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008*. European Geosciences Union General Assembly. Austria, Vienna.

- [11] Perdomo R., Hormaechea J. L., Del Cogliano D., Brunini C., Canosa D., Mondinalli C., Usandivaras J. C., Barbero L. H., Connon G., 1994. *La red geodésica de Tierra del Fuego y geodinámica de Tierra del Fuego 1993.* Informe Final. UNLP. SHN. CONICET.

Bibliografía

- Brunini C., Perdomo R., Brunini A., Usandivaras J. C., Hormaechea J. L., Pinciroli R., Del Cogliano D. y Mayer F. 1988. *Seminario GPS 88*. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Del Cogliano D. Lauría E., Perdomo R., D' Onofrio E., Hermosilla A., Maturana R., Hormaechea J. L., Rubio W., Cimbaro S., Mendoza L., 2004. *Aporte a la definición del Sistema Vertical en el extremo sur de América del Sur*. Tópicos de Geociencias. EFU Editorial, San Juan, Argentina.
- Heiskanen W. y Moritz H. 1967. *Physical Geodesy*. Freeman, San Francisco y Londres.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J. 1997. *GPS, Theory and Practice, 5ta Edición*. Springer, Berlin y New York.
- Perdomo R., Del Cogliano D., Di Crotche N., Neuman K. 2001. *Advances in the calculation of a height transformation model in Buenos Aires province*. IAG, Actas de la Reunión de Cartagena.
- Seeber G. 1993. *Satellite Geodesy*. Walter de Gruyter, Berlin.
- Teunissen y Kleusberg. 1996. *GPS for Geodesy*. Springer, Berlin.
- Torge W. 2001. *Geodesy*. 3er Edición, Walter de Gruyter, Berlin y New York.