

## COMPARACIÓN DE MODELOS GEOPOTENCIALES GLOBALES CON DATOS DE GRAVEDAD TERRESTRE PARA SANTIAGO DEL ESTERO

<sup>1</sup>Lucrecia Galván, <sup>1</sup>Claudia Infante, <sup>2</sup>Eduardo Lauría, <sup>2</sup>Rubén Ramos.  
<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912. (4200). Santiago del Estero. lgalvan@unse.edu.ar & cinfante@unse.edu.ar  
<sup>2</sup>Instituto Geográfico Militar. Av. Cabildo 381 (1426). Buenos Aires. elauria@igm.gov.ar & rubencarlosramos@yahoo.com.ar

### RESUMEN

El sostenido desarrollo experimentado en los últimos años en el procesamiento de los datos obtenidos de las misiones satelitales, por parte de instituciones de investigaciones en geodesia espacial, la incorporación de nuevos datos de gravedad terrestre, como así también, los datos provenientes de la altimetría satelital que permiten la definición de un nuevo modelo del nivel medio del mar, han permitido la aparición reciente de nuevos modelos del campo gravitacional a escala global. Las mejoras obtenidas en cuanto a su resolución, respecto de sus precursoras, imponen la necesidad de aplicación a escalas provinciales y/o regionales. En el presente trabajo se comparan los modelos geopotenciales más recientes con datos de gravedad medidos sobre puntos de las redes de nivelación del Instituto Geográfico Militar Argentino en la provincia de Santiago del Estero. Se muestran los resultados obtenidos, las particularidades más sobresalientes, como así también se establecen las expectativas futuras para la continuidad del trabajo ya que los mismos se constituirán como la base para el desarrollo de otros estudios y como contribución a los estudios científicos del tema ya iniciados en el país. PALABRAS CLAVES: Redes de Nivelación, Alturas, Modelos Geopotenciales Globales, Anomalías Gravimétricas.

### ABSTRACT

The recent improvements in satellite tracking data processing of Spatial Geodesy Research Institutions, the availability of newer surface gravity data sets, and the availability of a new mean sea surface height model from altimetry processing gave rise to the generation of various new global gravity field models. It is necessary their applications in local regions. This paper compares recent geopotential models with gravimetric data over levelling point (Argentine Military Geographical Institute) in Santiago del Estero. We have highlighted the most important information, we have established the future expectations to continue with this applications. We showed results and we hope that the project could be a contribution to the scientific studies already existing in our country.

KEYWORDS: Levelling Networks, Heights, Global Geopotential Models, Gravity Anomalies.

### INTRODUCCION

El desarrollo y la liberación de las funciones concernientes a diversos Modelos Geopotenciales Globales (MGG) acontecido en las últimas décadas han mostrado el sucesivo incremento en el grado y orden de los armónicos esféricos y el de las resoluciones alcanzadas por los mismos. Estas mejoras se han debido fundamentalmente a la incorporación de datos de mejor calidad y de diversas fuentes para toda la Tierra.

Con la finalidad de evaluar cual de estos últimos modelos liberados es el adecuado para la

provincia de Santiago del Estero se han comparado, en esta primera etapa de trabajo, las Anomalías de Aire Libre (AAL) de los modelos EIGEN-5C, GGM03C, EGM2008upto360 y EGM2008 con las Anomalías de Aire Libre calculadas a partir de medidas de gravedad llevadas a cabo por el Instituto Geográfico Militar Argentino.

A fin de determinar el modelo que mejor se ajusta a la región se usaron una serie de estadísticos sobre los residuales resultantes, tales como: mínimos (MIN), máximos (MAX), promedio (PROM) y desviación estándar (DES ESTD). Se adopta la desviación estándar para evaluar el MGG que mejor ajuste a los datos terrestres. En consecuencia el MGG que presenta la menor desviación estándar como resultado de la contrastación con los datos terrestres es el que mejor se ajusta a la región.

## DESCRIPCION Y RESULTADOS

La zona de estudio se ha definido entre los extremos latitudinales de  $-25^{\circ}$  a  $-30^{\circ}$  y los extremos longitudinales de  $-60.5^{\circ}$  a  $-65.5^{\circ}$  que corresponden aproximadamente con el territorio de la provincia de Santiago del Estero.

Los Modelos Geopotenciales Globales adoptados para el presente estudio se presentan en la Tabla 1. Estos Modelos se derivan de la combinación de datos de satélite (S), observaciones de gravedad terrestre (G) y datos de altimetría satelital (A). En la Tabla 1 se especifican el año de liberación, el Grado de coeficientes armónicos, el origen de los datos, y la referencia.

Modelo	Año	Grado	Datos	Referencia
GGM03C	2009	360	S (Grace), G, A	Tapley et al, 2007
EIGEN-5C	2008	360	S (Grace,Lageos), G, A	Förste et al, 2008
EGM2008 EGM2008upto360	2008	2190	S (Grace), G, A	Pavlis et al, 2008

TABLA 1: Modelos Geopotenciales Globales.

El Modelo GGM03C liberado en 2009 está sustentado por el modelo previo GGM02 que se basa en el análisis de 363 días de datos provenientes de la misión GRACE, que se extendió entre los días 4 de Abril del 2002 y el 31 de Diciembre de 2003. Su desarrollo es de orden y grado 360 e incorpora datos de gravedad y altimetría [Tapley et al, 2007] .

El Modelo EIGEN-5C liberado el 29 de Septiembre de 2008 es de orden y grado 360. Es una combinación de datos provenientes de la misión GRACE y LAGEOS (Enero 2002 - Diciembre 2006), datos gravimétricos de  $0.5 \times 0.5$  grados y datos de altimetría, resolución espacial de 55 km sobre la superficie terrestre [Förste et al, 2008].

El Modelo EGM2008 ha sido liberado por la Agencia de Inteligencia Geoespacial Nacional (NGA). Este modelo gravitacional es completo para grado y orden 2159 y contiene coeficientes adicionales para grado 2190 y orden 2159 [Pavlis et al, 2008].

En relación a los datos de gravedad se han usado para el presente trabajo la cantidad de 750 puntos. Las medidas de gravedad se obtuvieron sobre los Nodales y los Puntos Fijos Altimétricos de Primera Categoría (PFA) de la Red de Nivelación de Alta Precisión para la provincia. Son 19 líneas de nivelación, 741 puntos fijos altimétricos y 9 nodales. Los PFA están georreferenciados con exactitudes variables. Los valores de gravedad están referidos al sistema IGSN71 [IGM, 1973, 1983], [Galván et al, 2007].

Se han calculado Anomalías de Aire Libre para datos de gravedad terrestre usando la

ecuación según Zakatov (1997). 1:

$$\Delta g = g_M - \gamma_{\square}$$

(1)

Donde  $g_M$  es la gravedad observada en la superficie terrestre y  $\gamma_{\square}$  es la gravedad normal en el teluroide.

Por otro lado se han determinado las Anomalías de Aire Libre de cada uno de los MGG especificados en el párrafo más arriba indicado para la zona de estudio.

De la comparación de los valores de AAL entre los MGG y los puntos IGM se han obtenido los residuales para los puntos de nivelación del IGM. Los estadísticos resultantes se muestran en la Tabla 2.

MODELO\ [mGal]	MAX	MIN	PROM	DESV EST
GGM03C	45.192	-23.349	-1.532	9.411
EIGEN-5C	46.227	-23.004	-0.903	9.095
EGM2008	39.897	-23.899	-0.827	8.695
EGM2008upto360	46.647	-23.142	-1.155	8.921

TABLA 2: Comparación estadística entre los residuales de AAL de los MGG y datos terrestres.

Se puede observar que el modelo EGM2008 presenta la menor desviación estándar de 8.695mGal por lo que se infiere que este modelo es el que presenta el mejor ajuste para la zona de estudio [Amos et al, 2005], [Zhang et al, 1995].

En la Figura 1 se representan las anomalías gravimétricas de aire libre para los puntos IGM y las anomalías gravimétricas de aire libre del modelo EGM2008. No obstante el buen ajuste general que presentan ambas magnitudes, se observan algunos sectores correspondientes a líneas de nivelación que presentan diferencias que merecen ser analizadas.

Se ha adoptado la línea 313 comprendida entre los puntos 720 al 760 y la línea 180 entre los puntos 1 a 57 para la representación gráfica de las alturas IGM, las anomalías gravimétricas y los residuales resultantes, que se muestran en la Figura 2. La línea 313 se caracteriza por presentar alturas sobre el nivel medio del mar entre 150 y 220m. (Fig. 2a).

Las anomalías gravimétricas presentan un buen ajuste entre ellas (Fig. 2c). El orden de magnitud de los residuales es de  $\pm 5$  mGal (Fig. 2e). Esta línea tiene una dirección general de norte-oeste a sur-este en la zona norte del territorio de la provincia. Se caracteriza por ser una planicie con pendientes en la misma dirección.

Por otro lado la línea 180 se caracteriza por una fuerte variación en altura, con valores entre 110 y 630m (Fig. 2b). Cabe destacar que la variación de la anomalía gravimétrica de los datos terrestres es acorde a dicha variación mientras que la anomalía del modelo presenta una curva suavizada (Fig. 2d). La curva de residuos toma valores de anomalías de -10 a + 40 mGal, donde los mayores valores están en correspondencia con las mayores alturas (Fig. 2e). Esta línea se desarrolla entre las Sierras de Sumampa y Ambargasta al sur de la provincia con una dirección norte-sur. Ver Figura 3.

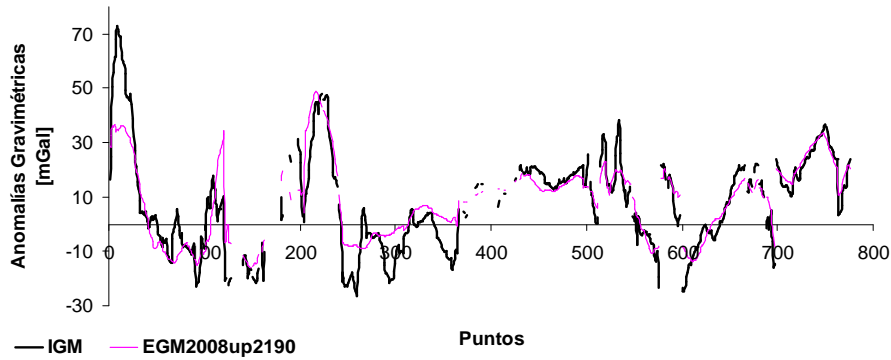


FIGURA 1: Anomalías Gravimétricas del IGM y del modelo EGM2008 para Santiago del Estero.

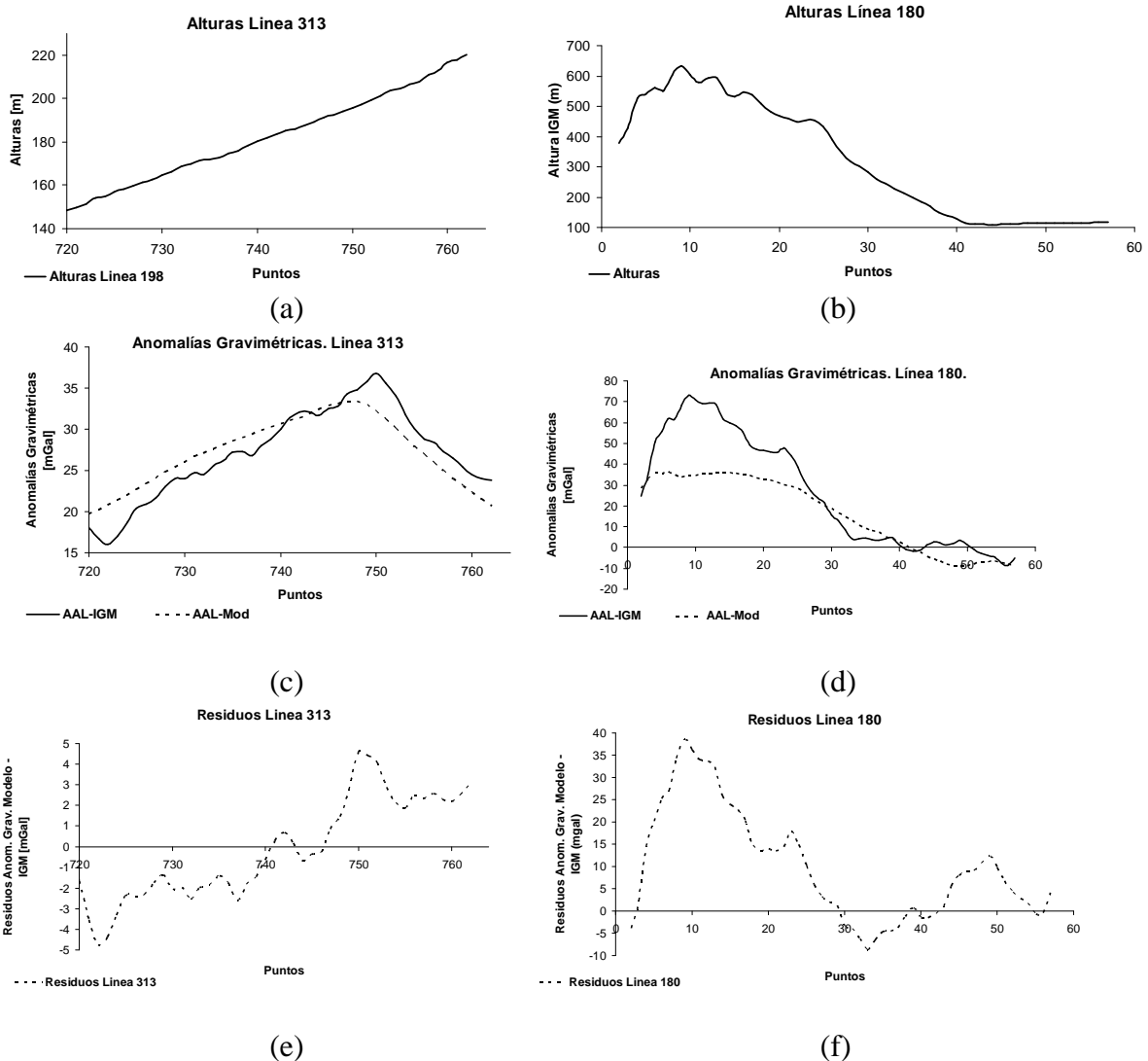


FIGURA 2: Alturas (a, b), AAL (c,d) y Residuos (d,e) de las Líneas de Nivelación 313 y 180 para Santiago del Estero.

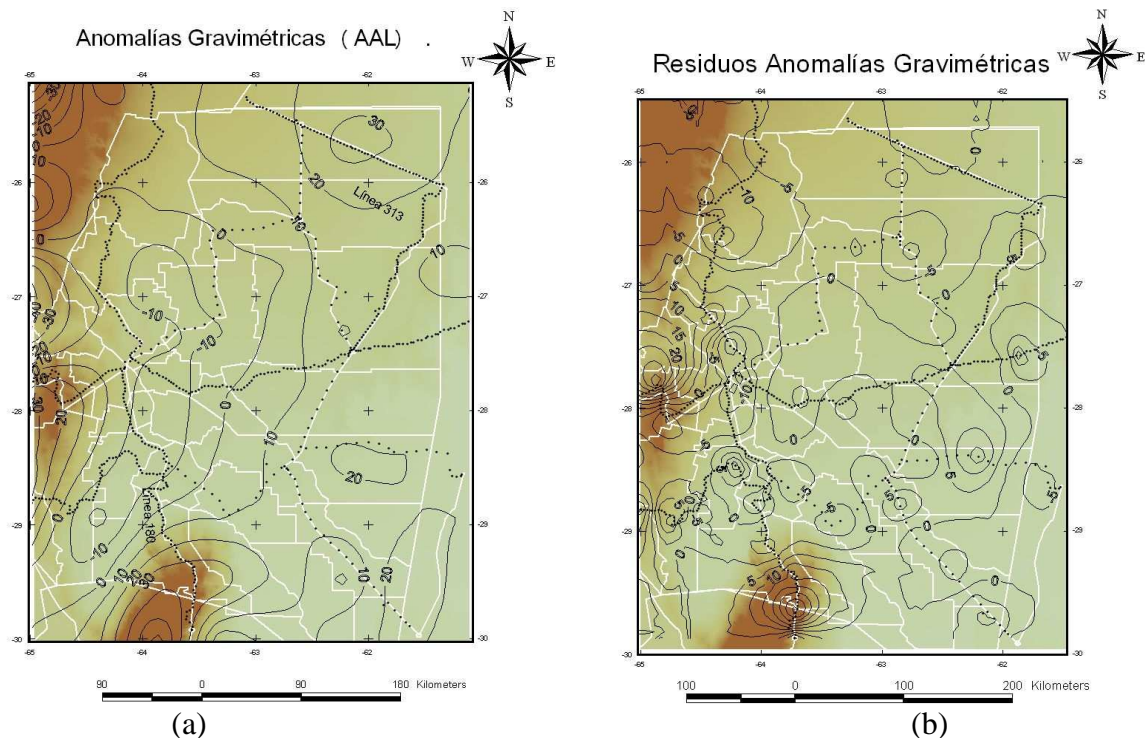


FIGURA 3: Mapa de Anomalías Gravimétricas (AAL) (a) y Residuos Anomalías Gravimétricas del Modelo EGM2008up2190 (b) para Santiago del Estero.

Las anomalías de la fuerza de gravedad caracterizan las desviaciones del potencial real de la Tierra del potencial normal. Estas anomalías también dan una indicación acerca de la distribución de las masas en el interior de la Tierra, pero no las determina, y teóricamente se pueden admitir muchas variantes de distribución de las masas para las cuales las anomalías en toda la superficie de la Tierra tendrán un mismo valor. [Zakatov, 1997].

Las anomalías positivas de la fuerza de gravedad o sea cuando  $g > \bar{g}$  corresponden al exceso de masas atrayentes en la región investigada, y las anomalías negativas, por el contrario, a carencia de estas masas. [Zakatov, 1997].

Las anomalías de la fuerza de gravedad dependen de la influencia de las masas topográficas exteriores, ubicadas por encima del nivel de los océanos, y de la acción de las masas anómalas que se encuentran dentro de la tierra. [Zakatov, 1997].

En la Figura 3 (a) se representan curvas de isoanomalías gravimétricas de aire libre del modelo EGM2008up2190 sobre una imagen SRTM90 del territorio de la provincia [Galván et al, 2008]. En la misma se observa que en el sur de la provincia las anomalías crecen en concordancia con las Sierras de Ambargasta y Sumampa y en el oeste coincide con las Sierras de Guasayán. El resto del territorio se caracteriza por una superficie llana con pendiente general en sentido norte-oeste a sur-este, en este sector las curvas de isoanomalías toman valores positivos y negativos. Asimismo están representadas las líneas de puntos las líneas de nivelación del IGM.

La Tabla 3 muestra el rango de variación de los residuos para toda la región investigada.

MODELO [mGal]	MAX	MIN	PROM	DESV EST
EGM2008up2190	39.897	-23.899	-0.827	8.695

TABLA 3: Comparación estadística entre los residuales de AAL del MGG EGM2008up2190 con los datos IGM.

En la Figura 3 (b) se muestra la distribución espacial de las diferencias entre las AAL del modelo EGM2008up2190 con los datos terrestres. Se puede observar que en amplias zonas del territorio se presentan residuos pequeños del orden de  $\pm 5$ mGal. Los residuos más altos se posicionan en las zonas de serranías más arriba mencionadas y en coincidencia con los mayores valores de anomalías.

### CONCLUSIONES

El resultado de las comparaciones de los recientes modelos geopotenciales globales seleccionados para el presente trabajo (EIGEN-5C, GGM03C y EGM2008upto360 y EGM2008) con datos de gravedad terrestre del IGM muestran que el modelo EGM2008upto2190 es el que mejor ajusta a la región investigada.

Para la comparación se han usado anomalías de gravedad de aire libre calculadas en 750 puntos IGM y contrastados con los datos de anomalía de gravedad de aire libre de cada uno de los modelos. Se han calculado los residuos respectivos para cada MGG obteniéndose para el modelo EGM2008 el menor valor de desviación estándar de 8.695mGal.

Este último modelo es el que se ha usado para el análisis espacial. Se han detectado dos zonas con altos valores residuales de AAL que se corresponden con las sierras de Sumampa y Ambargasta al sur y la sierra de Guasayán al oeste de la provincia.

El resto del territorio presenta residuales de AAL que varían en su mayor parte en rangos de unos pocos miligales [ $\pm 5$  mGal].

### Referencias Bibliográficas

- Zakatov, P. S., 1997. Curso de Geodesia Superior. Editorial Rubiños.
- Introcaso, A., 2006. Geodesia Física. Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología. Rosario.
- Introcaso, A. Gravimetría. UNR Editora. Editora de la Universidad Nacional de Rosario.
- Del Cogliano, D., 2006. Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la Estructura Geológica de Tandil. Universidad Nacional de Rosario.
- Corchete, V. y Pacino, M. C., 2007. The first high – resolution gravimetric geoid for Argentina: GAR. Physics of the earth and planetary interiors.
- Amos, M.J. y Featherstone, W.E. 2005. Comparisons of recent global geopotential models with terrestrial gravity field data over New Zealand and Australia. Geomatics Research Australasia.
- Zhang, F.K. y Featherstone, W.E., 1995. The statical fit of high degree geopotential models to the gravity field of Australia. Geomatics Research Australasia. No. 63. pp 1-18.
- Amos, M.J. y Featherstone, W.E. A Comparison of gridding Techniques for Terrestrial Gravity Observations in New Zealand. Geomatics Research Australasia.
- Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967. Physical Geodesy. W.H.Freeman, San Francisco.
- Instituto Geográfico Militar, 1983. Guía de la República Argentina para Investigaciones

Geográficas. pp 119-120.

Instituto Geográfico Militar, 1979. 100 Años en el Quehacer Cartográfico del País. pp 112.

Galván L., Infante C., Goitea I., 2007. Georreferenciación de puntos altimétricos IGM para la provincia de Santiago del Estero. GEOACTA. AAGG. Vol. 32. pp 217- 222. Galván L., Infante C., Goitea I. Lauría E., Ramos R., 2008. Evaluación del modelo SRTM 90 en alturas IGM para el área del río Dulce de la provincia de Santiago del Estero. Etapa preliminar. Libro de Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo I. Capítulo III: Ciencias de la Tierra. ECO FACET UNT 2008. pp III-1 a III-6.

Galván L., Infante C., Goitea I., 2008. Análisis preliminar del modelo geopotencial Eigen CG01C en el territorio de la provincia de Santiago del Estero. Libro de Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Tomo I. Capítulo III: Ciencias de la Tierra. ECO FACET UNT 2008. pp III-37 a III-41.

### **Agradecimientos**

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del Proyecto de Investigación "Evaluación de los modelos globales de elevación y geopotenciales para la provincia de Santiago del Estero", financiado por el Consejo de Investigación de Ciencia y Técnica (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

A Cristina Pacino por la idea original.