

GEOIDE GRAVIMETRICO EN ARGENTINA. PRESENTE Y FUTURO

Claudia Tocho¹, Graciela Font¹ y Michael G. Sideris²

¹Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, Argentina,
ctocho@fcaglp.unlp.edu.ar

²Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, 2500 University Drive N.W., T2N 1N4,
Calgary, Canada. sideris@ucalgary.ca

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta el estado actual del geoide gravimétrico de la República Argentina. En el mismo se discuten la metodología y los datos utilizados para su cálculo y se plantean los trabajos futuros que se realizarán con el fin de mejorar su precisión y exactitud. ARG05_EGM96 es un geoide gravimétrico puro calculado durante 2005. Las ondulaciones del geoide ARG05_EGM96 se refieren al elipsoide geocéntrico GRS80 y fueron calculadas en una grilla de 5' x 5' cubriendo toda la Argentina (tierra y mar). El cálculo se realizó utilizando la técnica clásica remover-restaurar.

La componente del geoide residual así como los efectos de terreno se calcularon utilizando la transformada rápida de Fourier. Para el tratamiento de la topografía se empleó el segundo método de compensación de Helmert. ARG05_EGM96 fue determinado en cuatro componentes. La primera componente fue calculada a partir del modelo de geopotencial EGM96, la segunda componente representa la contribución de los datos de gravedad reducidos por el modelo de geopotencial, la tercera es la derivada de las correcciones topográficas y la cuarta componente representa el efecto indirecto primario sobre el geoide. De comparaciones externas realizadas entre ARG05_EGM96 y el geoide derivado de GPS y nivelación, se estima que la exactitud absoluta de ARG05 es de 32 cm en términos de desviación standard. La exactitud relativa, para toda la Argentina, es de 1.4 a 0.2 ppm para líneas bases entre 15 km y 115 km. En el presente trabajo se presentan, otras tres soluciones, denominadas: ARG05_EIGEN-CG01C (Tocho et al., 2005), ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C calculadas utilizando otros modelos de gravedad globales recientemente distribuidos. Finalmente se enumeran trabajos futuros, por ejemplo, la evaluación de modelos digitales de terreno y sus implicancias en la determinación práctica de geoides gravimétricos.
Palabras clave: Argentina, geoide gravimétrico, FFT, ARG05, ARG06

ABSTRACT

The status of the gravimetric geoid for Argentina is presented in this paper. The methodology applied for its computation as well as the data used is discussed.

A high-accuracy and high-precision gravimetric geoid model (ARG05_EGM96) for Argentina has been computed during 2005. ARG05_EGM96 is a purely gravimetric geoid model. The geoid undulations refer to the geocentric ellipsoid GRS80 and they were computed on a 5' x 5' grid covering all of Argentina (both land and ocean regions) ARG05_EGM96 was computed using the classical remove-compute-restore technique. The Fast Fourier Transform technique was employed in the computation of the residual geoid and terrain effects. The treatment of the topography in ARG05_EGM96 was based on Helmert's second method of condensation. ARG05_EGM96 is developed in four components. The first component is determined from the EGM96 global geopotential model, the second component represents the contribution of the local gravity data reduced by the global field, the third component was determined from the contribution of the terrain corrections to the geoid, and the four component is the primary indirect effect on the geoid. From comparisons between Global Positioning System (GPS) and Argentinean Height Datum (GPS/levelling-derived) geoid undulations with ARG05_EGM96, it is estimated that the absolute

accuracy of the new geoid, after fit, is around 32 cm in terms of standard deviation. The relative agreement for the whole Argentina is 1.4 to 0.2 ppm for baselines between 15 km and 115 km.

Three new solutions, ARG06_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C, calculated with new global gravity models are presented in this paper. Finally, futures works are mention, especially those concerning with digital terrain models and their implications in practical geoid determination.

Keywords: Argentina, gravimetric geoid, FFT, ARG05, ARG06

INTRODUCCION

El principal objetivo de este trabajo es la determinación de un geoide gravimétrico de alta precisión y alta resolución para la República Argentina. El geoide gravimétrico es de gran importancia para aplicaciones geodésicas, geofísicas, oceanográficas y en general para todos aquellos usuarios de datos geoespaciales. En primer lugar, se describirán los datos utilizados y los fundamentos teóricos para la estimación del geoide gravimétrico. Luego, se presentarán estudios numéricos realizados en el área de estudio.

AREA DE ESTUDIO Y DATOS EMPLEADOS

El área de estudio abarca toda la República Argentina desde las latitudes 20° S y 55° S y las longitudes 53° O (307°E) y 76° O (284° E). Parte de esta área se encuentra en los océanos Pacífico y Atlántico en donde fueron utilizadas anomalías de aire libre derivadas altimétricamente del modelo KMS02 (Andersen *et al.*, 2005) con el fin de completar la información gravimétrica para mejorar la exactitud del geoide gravimétrico. Los datos de gravedad en tierra consisten en 66777 valores distribuidos en forma irregular, los mismos fueron homogeneizados y referidos a la red fundamental mundial IGSN71. Las anomalías de aire libre y Bouguer fueron calculadas aplicando la corrección atmosférica, la reducción de aire libre de segundo orden (Featherstone and Denith, 1998), una densidad constante de 2670kg m⁻³ y referidas al elipsoide de referencia geodésico de 1980

(GRS80) (Moritz, 2000) La distribución de los datos gravimétricos se observa en la Figura 1.

Para derivar la información de larga longitud de onda del campo de gravedad se utilizó el modelo de geopotencial EGM96, EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C y EIGEN-GL04C. En el presente trabajo se presentarán cuatro soluciones de geoides gravimétricos referenciadas a los modelos de gravedad global combinados: EGM96 (Lemoine *et al.*, 1998); EIGEN-CG01C (Reigber *et al.*, 2004);

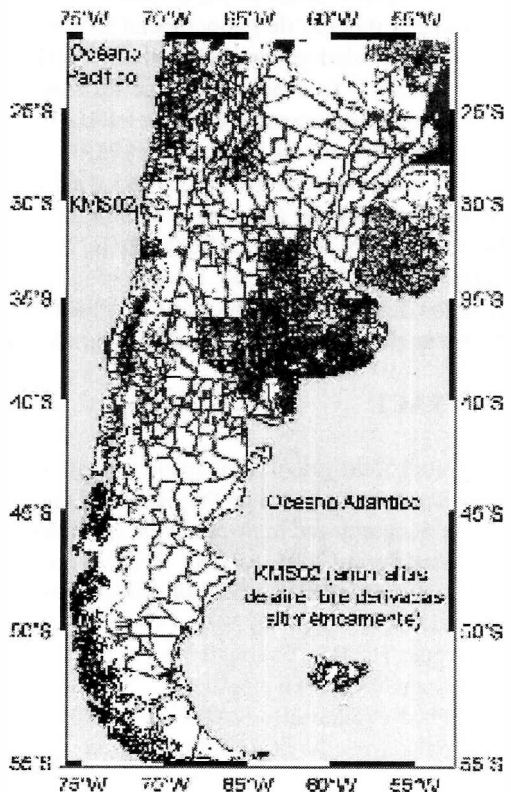


Figura 1. Distribución de los datos gravimétricos en el área de estudio

Geoide gravimétrico en Argentina. Presente y futuro.

EIGEN-CG03C (Förste *et al.*, 2005); EIGEN-GL04C (Förste *et al.*, 2006), respectivamente. Todos los modelos, completos hasta orden y grado 360, permiten resolver longitudes de onda de anomalías y geoide de 110 km. El modelo EIGEN-CG01C fue generado con datos de CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) y de 200 días de GRACE (Experimento de Recuperación Gravitacional y Clima) mas datos superficiales gravimétricos y altimétricos. EIGEN-CG03C es una actualización del anterior y se genera con mas días de datos de GRACE y por ultimo el modelo EIGEN-GL04C combina datos de las misiones GRACE y LAGEOS (LAsER GEODynamics Satellite) y la misma información terrestre, excepto las ondulaciones de geoide sobre los océanos.

Las correcciones topográficas y los efectos indirectos sobre el geoide debidos al segundo método de condensación de Helmert fueron calculados a partir del modelo digital de elevaciones (MDE) GTOPO30, que es un modelo matricial formado por celdas de aproximadamente 1 km x 1 km de lado.

Se utilizaron 539 puntos con doble información altimétrica: alturas elipsoidales y nivelación y datos de altura de la superficie del mar medidos por la misión TOPEX/POSEIDÓN (T/P) SSHs, conocidas por su gran precisión para realizar una evaluación externa de los modelos gravimétricos calculados en tierra y en mar, respectivamente. La distribución de estos datos se observa en la Figura 2.

METODOLOGIA DE CALCULO

Modelado de geoide gravimétrico

Las soluciones de geoides gravimétricos que se presentan en este trabajo se calcularon usando la técnica “remover-calculer-restaurar”. Este procedimiento puede resumirse así: 1) Remover anomalías de gravedad (calculadas de un modelo de armónicos

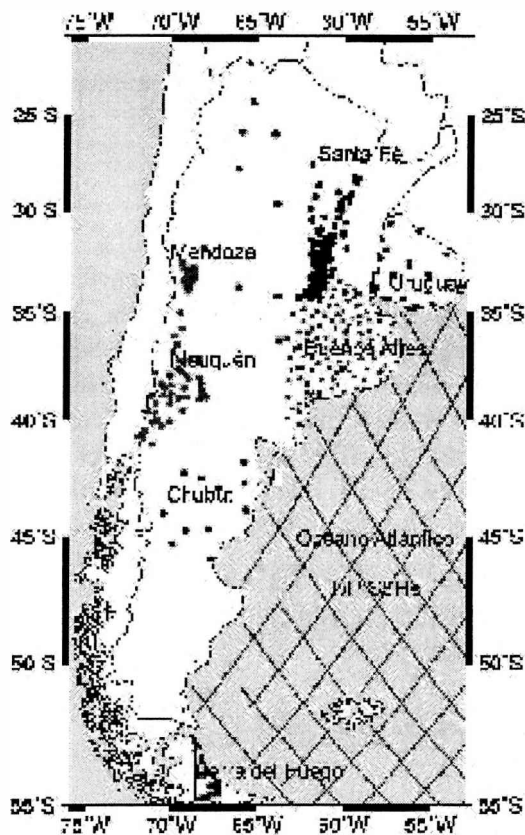


Figura 2. Distribución de datos para validar los modelos gravimétricos estimados

esféricos global, evaluadas en el geoide) de anomalías de gravedad de Helmert, las que son calculadas de mediciones de gravedad local y un modelo digital de elevaciones. De esta forma, obtenemos “anomalías de Helmert residuales” que son aproximadas por anomalías de Faye.

2) Calcular de las anomalías de gravedad residuales “ondulaciones de cogeoides residuales” (N_{DG}) usando 1D FFT esférica (Haagmans *et al.*, 1993)

3) Restaurar a las ondulaciones de cogeoides residuales calculadas, las ondulaciones de geoide (N_{GM} calculadas de un modelo global de armónicos esféricos, evaluadas en el geoide) y el efecto topográfico indirecto N_{int}

(calculados del MDE) para obtener el geoido gravimétrico final.

Los tres pasos anteriores se combinan en la siguiente fórmula simple:

$$N = N_{\ddot{A}_G} + N_{GM} + N_{ind} \quad (1)$$

El cálculo de fue hecho en una grilla de 5' x 5', dentro de los siguientes límites geográficos: latitudes 20° S y 55° S y longitudes 53° O (307°E) y 76° O (284° E), siendo esta la misma configuración del geoido gravimétrico final. Los modelos EGM96, EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C, y EIGEN-GL04C completos hasta orden y grado 360 fueron utilizados para calcular N_{GM} , de acuerdo con la siguiente fórmula (Heiskanen y Moritz, 1967):

$$N_{GM} = R \sum_{n=2}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n (\overline{C_{n,m}} \cos m \hat{p} + \overline{S_{n,m}} \sin m \hat{p}) \overline{P_{n,m}}(\sin \hat{p}) \quad (2)$$

donde $\overline{C_{n,m}}$ y $\overline{S_{n,m}}$ son los coeficientes de armónicos esféricos normalizados, $\overline{P_{n,m}}$ son las funciones de Legendre normalizados R es el radio medio de la Tierra.

Las medias y cortas longitudes de onda que contribuyen al geoido gravimétrico total se calculan de las anomalías de gravedad local de acuerdo a La fórmula de Stokes (Heiskanen y Moritz, 1967)

$$N(\varphi_p, \hat{p}) = \frac{R}{4\pi\gamma} \int \int_{\varphi_Q, \hat{p}_Q} fg(\varphi_Q, \hat{p}_Q) S(\varphi_p - \varphi_Q) \cos \varphi_Q d\varphi d\hat{p} \quad (3)$$

donde $S(\varphi_p - \varphi_Q)$ es la función de Stokes y son las anomalías residuales dadas por:

$$fg = fg_{FA} + c - fg_{GM} \quad (4)$$

donde son las anomalías de aire libre, c es la corrección topográfica y fg_{GM} es la contribución de larga longitud de onda calculada de un modelo de gravedad global mediante la siguiente expresión:

$$fg_{GM} = G \sum_{n=2}^{n_{max}} (n-1) \sum_{m=0}^n (\overline{C_{n,m}} \cos m \hat{p} + \overline{S_{n,m}} \sin m \hat{p}) \overline{P_{n,m}}(\sin \hat{p}) \quad (5)$$

siendo G la gravedad media de la Tierra.

Según (1) y (4), el término se calculó $N_{\Delta g}$

$$N_{DG} = N(\ddot{A}_{FA} - \ddot{A}_{GM}) + N(c) \quad (6)$$

Los dos términos de (6) se evaluaron mediante la integral de Stokes utilizando la 1D FFT esférica (Haagmans *et al.*, 1993), mediante la siguiente expresión:

$$N(\varphi_p, \lambda_p) = \frac{R\Delta\varphi\Delta\lambda}{4\pi\gamma} F^{-1} \left\{ \sum_{\varphi_Q=\varphi_1}^{\varphi_{max}} F[S(\varphi_p - \varphi_Q)] F[\Delta g(\varphi_Q, \lambda_Q) \cos \varphi_Q] \right\} \quad (7)$$

donde F y F^{-1} son las 1D-FFT directa e inversa, $\Delta\varphi$ y $\Delta\lambda$ son los espaciamientos de las grillas φ_1 y φ_{max} y son las latitudes sur y norte, respectivamente.

La información de corta longitud de onda al geoido gravimétrico total se obtiene a partir del cálculo del efecto indirecto N_{ind} , producido por el uso del segundo método de condensación de Helmert para reducir los datos de gravedad al geoido. En general, el efecto topográfico indirecto debido al segundo método de condensación de Helmert se fórmula en términos de una serie de Taylor de los cuales sólo los tres primeros términos son considerados, siendo el término de orden cero el más dominante, el cual se expresa (Wichiencharoen, 1982):

$$N_{ind} = - \frac{\pi G \rho H_{MDE}^2}{\gamma} \quad (8)$$

GRILLADO DE ANOMALIAS

Con el fin de reducir los efectos de aliasing en gravedad y geoide, las anomalías de aire en tierra fueron grilladas del siguiente modo:

1) En cada estación gravimétrica se calcularon las anomalías de Bouguer simple (fg_B):

$$fg_B = \Delta g_{FA} - 2\pi G\rho H \quad (9)$$

2) Las anomalías de Bouguer simples fueron interpoladas en los nodos de la grilla que define el MDE, en este caso 2' x 2', resultando una grilla de anomalías de Bouguer (fg_B)^{grilla}

3) Las anomalías de aire fueron reconstruidas en cada punto de la grilla donde las anomalías de Bouguer fueron interpoladas sumando la placa de Bouguer. De este modo se obtiene una grilla de anomalías de aire libre reconstruidas de 2' x 2'. calculadas de la siguiente forma:

$$(\Delta g_{FA}) = (ff_B)^{grilla} + (2\pi G\rho H_{MDE})^{grilla} \quad (10)$$

La grilla de anomalías de aire libre reconstruidas contiene valores tanto en tierra como en el mar; los valores en el mar son eliminados y rellenados con anomalías de aire derivadas altimétricamente del modelo global KMS02.

4) Las anomalías de aire libre fueron promediadas en una grilla de 5' x 5' constituyendo una grilla de anomalías de aire

Tabla1. Estadística de varios modelos de geoide gravimétricos.

Geoide	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Standard
ARG05_EGM96	-4.12	48.53	17.47	8.94
ARG05_EIGEN-CG01C	-3.66	48.57	17.48	8.95
ARG06_EIGEN-CG03C	-3.82	48.57	17.48	8.94
ARG06_EIGEN-GL04C	-3.66	48.53	17.48	8.95

libre medias de 5' x 5'. La principal ventaja de este método es que da como resultado anomalías de gravedad medias más representativas y menos sujetas a efectos de aliasing durante el proceso de grillado (Featherstone y Kirby, 2000)

DESARROLLO DE MODELOS DE GEOIDE GRAVIMETRICOS

Mediante el procedimiento anterior fueron calculados cuatro geoides gravimétricos. Las cuatro soluciones difieren básicamente debido al modelo de gravedad global utilizado para modelar la larga longitud de onda. Las soluciones se denominan: ARG05_EGM96, ARG05_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C de acuerdo al modelo de gravedad global utilizado. La estadística de los distintos modelos gravimétricos calculados y del modelo ARG05 (Tocho *et al.*, 2005) se resume en la Tabla 1.

VALIDACION DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES DETERMINADAS

Comparación entre varios modelos

La estadística de las diferencias entre las soluciones: ARG05_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C y el modelo ARG05_EGM96 se muestra en la Tabla 2.

Las diferencias entre las soluciones ARG05_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C y el modelo ARG05_EGM96, en términos de desviación standard, son del orden de los 25 cm, y las diferencias tienen un máximo de 1.64 m y un mínimo de 1 m

Con respecto a las diferencias entre sí de los modelos ARG05_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C, en términos también de desviación standard, es de 7 cm con un máximo y mínimo extremo de -42 cm y 40 cm.

Tabla 2. Estadística de las diferencias entre varios modelos de geoides.

<i>Geoide</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Standard</i>
ARG05 EIGEN-CG01C - ARG05 EGM96	-1.00	1.55	0.01	0.25
ARG06 EIGEN-CG03C - ARG05 EGM96	-0.91	1.62	0.01	0.25
ARG06 EIGEN-GL04C - ARG05 EGM96	-0.92	1.64	0.01	0.25
ARG06 EIGEN-CG03C - ARG05 EIGENCG01C	-0.42	0.40	0.00	0.07
ARG06 EIGEN-GL04C - ARG05 EIGENCG01C	-0.35	0.37	0.00	0.07
ARG06 EIGEN-GL04C - ARG06 EIGENCG03C	-0.35	0.40	-0.01	0.07

Comparación con puntos GPS/nivelación y T/P SSHs

La exactitud de los modelos gravimétricos estimados fue calculada mediante una evaluación externa, realizando comparaciones con ondulaciones de geoides derivadas de puntos GPS/nivelación (N^{GPS}) y SSHs apiladas de la misión TOPEX/POSEIDÓN ($N^{T/P}$).

Las diferencias entre las distintas soluciones de geoides fueron minimizadas utilizando un modelo de transformación de cuatro parámetros:

$$N_i^{GPS \delta T/P} - N_i = h_i - H_i - N_i = x_0 + x_1 \cos \varphi \cos \lambda + x_2 \cos \varphi \text{sen} \lambda - x_3 \text{sen} \varphi - x_3 + v_i \quad (11)$$

donde $N_i^{GPS \delta T/P}$ son las ondulaciones de geoides obtenidas en los puntos GPS/nivelación o las SSHs apiladas de TOPEX/POSEIDÓN y N_i es el geoides gravimétrico estimado. Los

parámetros x_0, x_1, x_2 y x_3 , se calculan mediante cuadrados mínimos minimizando la cantidad $v^T v$. Los valores ajustados de los residuos dan una idea realista del nivel de acuerdo absoluto entre el geoides gravimétrico y las alturas de geoides derivados de GPS/nivelación.

El modelo de 4-parámetros absorbe la mayoría de las inconsistencias de los datums de los distintos tipos de alturas así como los errores del geoides de larga longitud de onda.

Las Tablas 3 y 4 muestran la estadística de las diferencias absolutas, antes y después del ajuste (valores entre paréntesis), entre los geoides globales y las soluciones de geoides gravimétricos con las ondulaciones de geoides derivadas en los puntos GPS/nivelación y T/P SSHs para toda la Argentina, respectivamente.

De la estadística mostrada en la Tabla 3, se observa que los cuatro geoides gravimétricos tienen un acuerdo absoluto con el geoides derivado en puntos GPS/nivelación de 40 a

Tabla 3: Estadística de las diferencias absolutas entre varios modelos y el geoides derivado de GPS/nivelación. Toda la Argentina. Unidad: [m].

<i>Geoide</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Standard</i>
$N^{EGM96} - N^{GPS}$	-2.43 (-2.18)	1.89 (2.00)	0.15 (0.00)	0.80 (0.54)
$N^{EIGEN-CG01C} - N^{GPS}$	-1.37 (-1.17)	1.60 (1.21)	0.48 (0.00)	0.40 (0.36)
$N^{EIGEN-CG03C} - N^{GPS}$	-1.42 (-1.88)	1.60 (1.24)	0.48 (0.00)	0.38 (0.34)
$N^{EIGEN-GL04C} - N^{GPS}$	-1.25 (-1.63)	1.75 (1.46)	0.42 (0.00)	0.40 (0.33)
$N^{ARG05_EGM96} - N^{GPS}$	-0.63 (-1.74)	2.72 (0.99)	1.41 (0.00)	0.41 (0.32)
$N^{ARG05_EIGEN-CG01C} - N^{GPS}$	-0.79 (-1.93)	3.05 (1.15)	1.45 (0.00)	0.42 (0.33)
$N^{ARG06_EIGEN-CG03C} - N^{GPS}$	-0.72 (-1.87)	3.06 (1.17)	1.45 (0.00)	0.41 (0.33)
$N^{ARG06_EIGEN-GL04C} - N^{GPS}$	-0.70 (-1.83)	3.00 (1.15)	1.43 (0.00)	0.40 (0.32)

Tabla 4: Estadística de las diferencias absolutas entre varios modelos y T/P SSHs. Unidad: [m]

<i>Geoide</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Promedio</i>	<i>Desviación Standard</i>
$N_{EGM96} - N^{T/P}$	-1.68 (-1.52)	0.89 (1.53)	-0.20 (0.00)	0.26 (0.25)
$N_{EIGEN-CG01C} - N^{T/P}$	-1.49 (-1.10)	1.06 (1.35)	-0.22 (0.00)	0.31 (0.28)
$N_{EIGEN-CG03C} - N^{T/P}$	-1.51 (-0.96)	1.11 (1.40)	-0.22 (0.00)	0.32 (0.29)
$N_{EIGEN-GL04C} - N^{T/P}$	-1.37 (-0.85)	1.01 (1.32)	-0.24 (0.00)	0.30 (0.28)
$N_{ARG05_EGM96} - N^{T/P}$	-0.33 (-0.71)	1.96 (1.33)	0.32 (0.00)	0.24 (0.20)
$N_{ARG06_EIGEN-CG01C} - N^{T/P}$	-0.53 (-0.85)	1.80 (1.03)	0.33 (0.00)	0.29 (0.21)
$N_{ARG06_EIGEN-CG03C} - N^{T/P}$	-0.48 (-0.81)	1.75 (1.05)	0.35 (0.00)	0.29 (0.22)
$N_{ARG06_EIGEN-GL04C} - N^{T/P}$	-0.66 (-0.87)	1.77 (1.00)	0.33 (0.00)	0.30 (0.23)

42 cm de desviación standard antes del ajuste y que luego del ajuste, los cuatro modelos presentan aproximadamente la misma exactitud externa del orden de los 32 a 33 cm. Esto sugiere que la exactitud y resolución de los datos gravimétricos necesita ser mejorada en Argentina, con el fin de disminuir al nivel centimétrico la consistencia absoluta del geoide gravimétrico con los datos de GPS/nivelación. Es interesante observar, que si bien los modelos globales EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C y EIGEN-GL04C, que describen la larga longitud de onda son superiores que el modelo EGM96, antes y después del ajuste, cuando se los combina con datos de gravedad local y DEM, todos los modelos gravimétricos presentan similar desviación standard.

A partir de la Tabla 4, observamos que tanto el modelo global EGM96 como el geoide gravimétrico derivado de él mejora la desviación standard de las diferencias, antes del ajuste, en aproximadamente 4 cm a 6 cm y 5 cm a 6 cm, respectivamente.

Luego del ajuste, ambos modelos son superiores que las otras soluciones.

Con el fin de evaluar la exactitud relativa de todos los modelos de geoide con respecto a los datos GPS/nivelación, se formaron todas las diferencias de ondulación relativa en parte por millón (ppm) para todas las líneas bases las que fueron graficadas en función de la

longitud de la línea base. La Figura 3 ilustra las diferencias relativas para toda Argentina, las diferencias relativas se refieren a valores han sido ajustados por el modelo de 4-parámetros.

Un análisis regional fue llevado a cabo con puntos de dos redes GPS/nivelación, una ubicada en la zona plana y con datos de gravedad densamente distribuidos de la provincia de Buenos Aires y otra en una zona montañosa con una escasa distribución de datos de gravedad en la provincia de Mendoza.

Los resultados de estos análisis se muestran en las Tablas 5 y 6.

En Buenos Aires, todos los modelos de geoide gravimétricos presentan la misma exactitud externa, que en términos de desviación standard es de 8 ó 9 centímetros luego del ajuste y en Mendoza de 26 centímetros.

CONCLUSIONES Y PLANES FUTUROS

Se calcularon cuatro geoides gravimétricos, cubriendo toda la Argentina. El cálculo de las cuatro soluciones llamadas, ARG05_EGM96, ARG05_EIGEN-CG01C, ARG06_EIGEN-CG03C y ARG06_EIGEN-GL04C se realizó sobre la base de la técnica remover-restaurar. La comparación con el geoide derivado de puntos GPS/nivelación

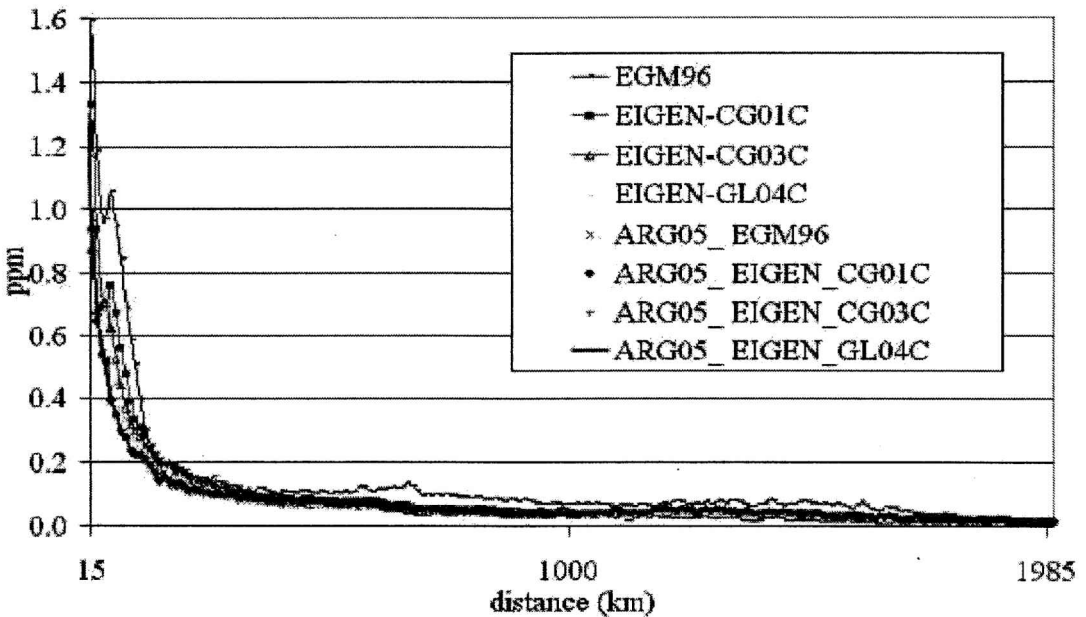


Figura 3: Exactitud relativa de los modelos de geode en Argentina

Tabla 5: Estadística de las diferencias absolutas entre varios modelos y el geode derivado de GPS/nivelación. Buenos Aires. Unidad: [m]

Geode	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Standard
$N_{EGM96} - N_{GPS}$	0.03 (-0.50)	1.16 (0.30)	0.71 (0.00)	0.25 (0.15)
$N_{EIGEN-CG01C} - N_{GPS}$	0.19 (-0.48)	1.10 (0.35)	0.72 (0.00)	0.15 (0.14)
$N_{EIGEN-CG03C} - N_{GPS}$	0.33 (-0.36)	1.20 (0.45)	0.71 (0.00)	0.16 (0.16)
$N_{EIGEN-GL04C} - N_{GPS}$	0.37 (-0.32)	1.09 (0.27)	0.72 (0.00)	0.13 (0.12)
$N_{ARG05_EGM96} - N_{GPS}$	1.08 (-0.46)	2.17 (0.23)	1.62 (0.00)	0.19 (0.08)
$N_{ARG05_EIGEN_CG01C} - N_{GPS}$	1.12 (-0.45)	1.10 (0.30)	0.72 (0.00)	0.13 (0.09)
$N_{ARG06_EIGEN_CG03C} - N_{GPS}$	1.12 (-0.45)	2.01 (0.29)	1.65 (0.00)	0.13 (0.08)
$N_{ARG06_EIGEN_GL04C} - N_{GPS}$	1.13 (-0.39)	1.20 (0.23)	0.71 (0.00)	0.13 (0.09)

Tabla 6: Estadística de las diferencias absolutas entre varios modelos y el geode derivado de GPS/nivelación. Mendoza.

Geode	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación Standard
$N_{EGM96} - N_{GPS}$	-2.43 (-1.35)	0.15 (0.71)	1.06 (0.00)	0.55 (0.28)
$N_{EIGEN-CG01C} - N_{GPS}$	0.08 (-1.96)	2.43 (0.67)	1.48 (0.00)	0.34 (0.25)
$N_{EIGEN-CG03C} - N_{GPS}$	-1.13 (-1.42)	1.20 (0.62)	0.40 (0.00)	0.34 (0.25)
$N_{EIGEN-GL04C} - N_{GPS}$	-0.35 (-1.96)	2.35 (0.64)	1.67 (0.00)	0.28 (0.28)
$N_{ARG05_EGM96} - N_{GPS}$	-1.30 (-1.42)	1.17 (0.62)	0.47 (0.00)	0.33 (0.26)
$N_{ARG05_EIGEN_CG01C} - N_{GPS}$	-0.38 (-1.96)	2.33 (0.65)	1.66 (0.00)	0.28 (0.26)
$N_{ARG06_EIGEN_CG03C} - N_{GPS}$	-1.21 (-1.46)	1.04 (0.59)	0.24 (0.00)	0.30 (0.26)
$N_{ARG06_EIGEN_GL04C} - N_{GPS}$	-0.38 (-1.96)	2.26 (0.65)	1.57 (0.00)	0.28 (0.26)

Geoide gravimétrico en Argentina. Presente y futuro.

muestra que el acuerdo absoluto es de aproximadamente 32 a 33 cm (luego de ajustar un modelo de 4-parámetros), cualquiera sea el modelo de gravedad global utilizado. ARG06_EIGEN-GL04C se observa en la Figura 4.

Los cuatro modelos de geopotencial tienen la aproximadamente la misma exactitud relativa para líneas bases de hasta 15 km, con valores desde 8.5 a 1.3 ppm. Para líneas bases de 15 a 125 km, podemos apreciar una mejora en la estructura de la larga longitud de onda de los modelos EIGEN comparados con el EGM96.

Para líneas bases entre 125 a 500 km todos los modelos presentan exactitudes relativas similares. Para distancias mayores que 125 a 500 km se observa nuevamente una mejora de los modelos EIGEN comparados con el EGM96, tendiendo a 0 ppm para longitudes mayores que los 1800 km. Los cuatro geoides gravimétricos presentan para toda la Argentina un comportamiento similar para todas las líneas bases con excepción de las comprendidas entre 15 y 115 km donde los

geoides derivados con los modelos EIGEN son mejores que el que calculamos con el modelo EGM96 y entre ellos son similares.

Si se mejora la calidad, cobertura y densidad de datos gravimétricos, especialmente en la zona de los Andes, será posible mejorar la exactitud del geoide que cumpla con los requerimientos necesarios hoy en día para aplicaciones geodésicas, oceanográficas y geofísicas.

Como los modelos digitales de terreno juegan un importante rol en el uso de la técnica remover-restaurar, el modelo SRTM3 (JPL, 2004) con una resolución de 90 m debe ser evaluado en Argentina. Con el fin de optimizar la combinación de modelos de gravedad global con gravedad local debe ser investigado el espectro del geoide debido a las distintas señales del campo de gravedad. Finalmente debe evaluarse una solución numérica para resolver el problema de contorno altimetría / gravedad con el fin de combinar y aplicar condiciones de suavizamiento a lo largo de la línea de costa para evitar discontinuidades en los datos como propone Grebenitcharsky (2004).

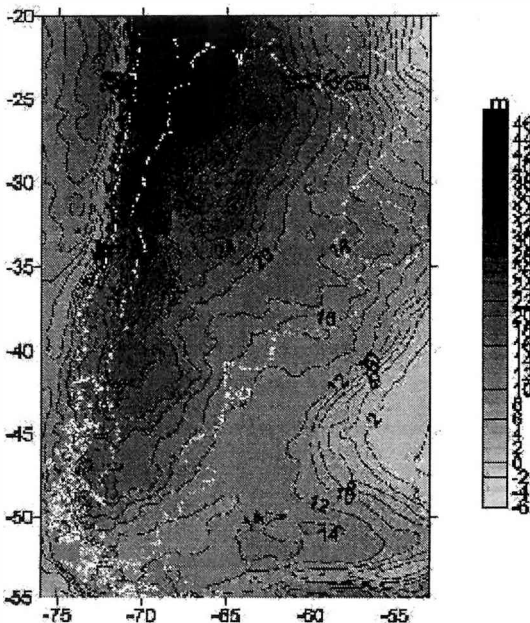


Figura 4: ARG06_EIGEN-GL04

REFERENCIAS

- Andersen, O.B., P. Knudsen and R. Trimmer. 2005. Improved high-resolution altimetric gravity field mapping (KMS02 Global marine gravity field), International Association of Geodesy Symposia, vol. 128, Sanso F. (Ed.), Springer. Proceedings of the Symposium 128: A window on the future of Geodesy, Sapporo, Japan, June 30-July 11, 2003: 326-331.
- Featherstone, W.E. and M.C. Denith. 1998. A geodetic approach to gravity data reduction for geophysics. Computers and Geosciences. 23 (10):78 1063-1070.
- Featherstone, W.E. and Kirby J.F. 2000: The reduction of aliasing in gravity anomalies and geoid heights using digital terrain data, Geophysical Journal Research, vol. 141, pp. 204-214.

- Förste, C., F. Flechtner, R. Schmidt, U. Meyer, R. Stubenvoll, F. Barthelmes, R. König, K.H. Neumayer, M. Rothacher, Ch. Reigber, R. Biancale, S. Bruinsma, J.-M. Lemoine and J.C. Raimondo. 2005. A New High Resolution Global Gravity Field Model Derived From Combination of GRACE and CHAMP Mission and Altimetry/Gravimetry Surface Gravity Data presented at EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, 24-29, April 2005.
- Förste, C., F. Flechtner, R. Schmidt, R. König, U. Meyer, R. Stubenvoll, M. Rothacher, F. Barthelmes, K.H. Neumayer, R. Biancale, S. Bruinsma, J.M.Lemoine, S. Loyer. 2006. A mean global gravity field model from the combination of satellite mission and altimetry/gravimetry surface gravity data-EIGEN-GL04C. Poster presented at EGU General Assembly 2006, Vienna, Austria, 02-07, April 2006. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 03462, 2006
- Grebenitcharsky, R. 2004. Numerical solutions to altimetry gravimetry Boundary Value Problem in coastal region. UCGE Reports, Number 20195, The University of Calgary.
- GTOPO30. 2005. <http://edcdaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>.
- Lemoine, F.G., S.C. Kenyon, J.K., Factim, R.G: Trimmer, N.K. Pavlis, D.S. Chinn, C.M: Cox, S.M. Klosko, S.B. Luthcke, M.H. Torrence, Y.M.Wang, R.G. Williamson, E.C.Pavlis, H. Rapp and T.R. Olson. 1998. The development of the joint NASA, GSFC and the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) Geopotential Model EGM96, NASA, Technical Publication-1998-206861, July, 1998.
- Haagmans, R., E. de Min E and M. van Gelderen. 1993. Fast evaluation of convolution integrals on the sphere using 1D FFT and a comparison with existing methods for Stokes' integral. Manuscripta Geodaetica. Vol. 18: 227-241.
- Heiskanen, W.A. and H. Moritz. 1967. Physical Geodesy, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- JPL. 2004 SRTM-The mission to map the World, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of technology. <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>.
- Moritz, H.. 2000. Geodetic Reference System 1980. Journal of Geodesy. Vol. 74: 128-162.
- Reigber, C.H., P. Schwintzer, R. Stubenvoll, R. Schmidt, F. Flechtner, U. Meye, R.König, H. Neumayer, Ch. Förste, F. Barthelmes, S.Y. Zhu, G. Balmino, R. Biancale, J. Lemoine, H. Meixner and J.C. Raimondo. 2004. A High Resolution Global Gravity Field Model Combining CHAMP and GRACE Satellite Mission and Surface Gravity Data: EIGEN-CG01C, aceptado Journal of Geodesy.
- Tocho, C., G. Font and M. Sideris. 2005. A new high-precision gravimetric geoid for Argentina, aceptado para publicar en los proceedings de la Asamblea Científica de la IAG realizada en Cairns, Australia en agosto de 2005.
- Wichiencharoen, C. 1982. The indirect effects on the computation of geoid undulations, Report of the Department of Geodetic Science and Surveying no. 336. The Ohio State University, Columbus, Ohio.