



Analisis corticales de estructuras a partir de ondulaciones del geoides y modelos geopotenciales

C. Infante¹, C.Tocho^{2,3} y D. Del Cogliano²

¹ Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912. Santiago del Estero.

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP. Paseo del Bosque s/n. La Plata.

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

E-Mail: cinfante@unse.edu.ar / claudia.nfnt@gmail.com

Resumen

Las observaciones satelitales proporcionan series de datos continuos y homogéneos que permiten evaluar los cambios en la distribución de masas que se producen en el sistema Tierra, modificando su campo de gravedad, desde una perspectiva global. En los últimos años estas variaciones han sido monitoreadas por misiones satelitales gravimétricas (CHAMP, GRACE, y GOCE), propiciando el desarrollo de una nueva generación de modelos geopotenciales con soluciones en términos de armónicos esféricos de alto grado y orden, con mayor resolución espacial y mejor precisión.

En este trabajo se ha utilizado la información de las ondulaciones del geoides, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, para analizar las características corticales de la estructura de Sierras de la Ventana, en la provincia de Buenos Aires.

Las ondulaciones del geoides son convenientemente filtradas para poner en evidencia la estructura, a partir de la ondulación residual. Si se asume que la estructura geológica se encuentra en equilibrio isostático, la ondulación residual puede ser asimilada y comparada con la ondulación isostática generada a partir de una corteza isostáticamente compensada.

Los desvíos entre la ondulación isostática y el geoides residual, muestran el eventual apartamiento de la estructura analizada respecto del modelo isostático adoptado. En consecuencia, en presencia de estructuras isostáticamente equilibradas, este procedimiento puede ser apropiado para validar o ajustar modelos corticales.

El geoides residual fue derivado de los modelos geopotenciales globales EGM2008 y EIGEN 6C4; mientras que los parámetros de la corteza fueron extraídos de los modelos globales GEMMA y Crust 1.0.

Las diferencias entre el geoides residual y el geoides isostático en la zona de Sierras de la Ventana presenta una desviación estándar de ± 0.40 m para ambos modelos corticales.

Palabras claves: geoides isostático – modelos geopotenciales – modelos de corteza



Introducción

Las misiones satelitales gravimétricas CHAMP (Challenging Minisatellite Payload), GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), y GOCE (Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer). han propiciado el desarrollo de una nueva generación de modelos geopotenciales con soluciones de alto grado y orden en términos de armónicos esféricos, y errores de comisión bajos.

Los modelos geopotenciales brindan información del campo gravitacional terrestre global y permiten analizar anomalías de masa a diferentes profundidades. Es posible detectar estructuras geológicas en la corteza mediante el filtrado de la ondulación del geode, eliminando la componente de larga longitud de onda. Las características corticales de estructuras geológicas en equilibrio isostático pueden ser inferidas a partir de la interpretación de desviaciones del geode respecto del elipsoide de referencia (Haxby y Turcotte, 1978). La información contenida en las ondulaciones de un geode representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, se utilizan para analizar las características corticales de estructuras.

Asimismo, se disponen de modelos globales de corteza tales como GEMMA (GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications) (Sampietro, y otros, 2013) y Crust 1.0 (Laske, y otros, 2013) que proporcionan parámetros de corteza globales que facilitan evaluaciones del estado de compensación de estructuras geológicas cuando no se disponen de datos locales.

Metodología

Para inferir las características corticales de la estructura geológica que se asume en equilibrio isostático, se compara el geode observado y debidamente filtrado con el correspondiente a un modelo cortical perfectamente compensado.

La ondulación isostática N_{isost} para la estructura compensada en el sistema isostático de Airy, puede resolverse en términos de una función que depende de la altura topográfica, las densidades del manto y la corteza, y el espesor cortical normal que serán asumidos como valores fijos (Haxby y Turcotte, 1978; Fowler, 2005).

$$N_{isost} = \frac{\pi G \rho_c H}{\gamma} \left[2t + \frac{\rho_m}{\rho_m - \rho_c} H \right] \quad (1)$$

siendo γ la gravedad normal en el punto de cálculo, G la constante de Gravitación Universal con un valor de $6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ seg}^{-2}$, ρ_c y ρ_m las densidades de la corteza y manto superior respectivamente, t el espesor de la corteza de referencia y H la altura de la estructura.

La ondulación del geode observada N_{mod} , se obtiene de los modelos geopotenciales globales, los cuales son convenientemente filtrados para eliminar la componente regional N_{reg} , que refleja el comportamiento predominante de la zona. De esta manera



es posible retener la componente residual N_{res} ligada a las particularidades de la estructura geológica más próxima. N_{res} puede expresarse como (Del Cogliano, 2006):

$$N_{res} = N_{mod} - N_{reg} - v_n \quad (2)$$

donde v_n representa los errores del modelo geopotencial.

Si las particularidades son atribuidas a las discrepancias entre la corteza real y la corteza regularizada, es posible asimilar la ondulación residual (2) a la isostática (1), determinada con parámetros de corteza del modelo de referencia adoptado. Eliminada la componente isostática de la ondulación residual, determinamos valores v_I (3) que muestran el apartamiento de la estructura analizada del modelo isostático adoptado.

$$v_I = N_{res} + v_N - N_{isost} \quad (3)$$

Esta metodología se aplicó a las Sierras de la Ventana ubicada en la zona Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. La estructura topográfica estudiada se extiende sobre unos 200 km con un ancho que no supera los 50 km. El análisis se realizó sobre un perfil que secciona la estructura con una longitud de 110 km y dirección Noroeste a Sureste (Figura 1).

Para el análisis, se tomó como geode observado los obtenidos de los modelos geopotenciales globales EGM2008 (Pavlis, y otros, 2008) y EIGEN 6C4 (Förste, y otros, 2014). Para el cálculo de la ondulación del geode isostático, se tomaron como parámetros de referencia (densidades y espesor de corteza) los correspondientes a los modelos GEMMA y Crust 1.0. En ambos casos se usó el modelo de elevaciones DTM2006 (Pavlis, y otros; 2006).

Resultados y discusión

La ondulación del geode isostático en la estructura, se calculó usando parámetros corticales determinados a partir de los modelos globales GEMMA ($\rho_c = 2.82 \text{ g/cm}^3$, $\rho_m = 3.37 \text{ g/cm}^3$, $t = 34 \text{ km}$) y Crust 1.0 ($t = 35 \text{ km}$). La altura se tomó del modelo digital de elevación DTM2006.

El geode residual N_{res} se obtuvo de la ondulación del geode de los modelos geopotenciales completos EGM2008 y EIGEN-6C4 (N_{mod}) al que se le restó la ondulación del geode regional N_{reg} resultante del truncamiento de sus desarrollos en armónicos esféricos hasta el grado 100 para retener las particularidades de la estructura. Al restarle a la señal completa la contribución de la larga longitud de onda, solo retenemos la información relativa a las sierras en estudio. La Figura 1 (izquierda) muestra las curvas del geode residual del modelo EGM2008 que pone en evidencia la



estructura de la Ventana. La distribución espacial del geode residual del modelo EIGEN 6C4 es consistente con el modelo EGM2008.

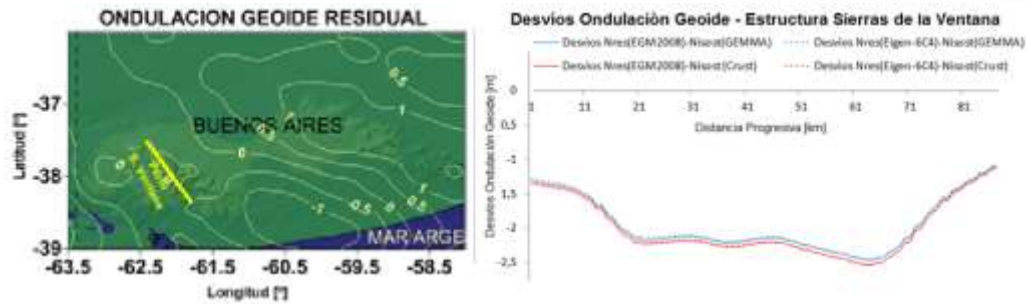


Figura 1.- Desvíos del modelo isostático con parámetros de corteza GEMMA, y Crust 1.0 respecto del geode residual resultante de los modelos EGM2008 y Eigen-6C4.

Los desvíos v_i muestran el apartamiento de la estructura analizada del modelo isostático adoptado (Figura 1- Derecha). El promedio de los mismos tiene valores próximos a -1.9m y -2.0m cuando se toman valores de GEMMA y Crust, respectivamente, tanto para el geode residual de EGM2008 como de Eigen-6C4. (Tabla 1). La desviación estándar de los residuos es próxima a $\pm 0.40m$ en todos los casos, lo que muestra un ajuste razonable.

Con la finalidad de comparar morfológicamente las ondulaciones residuales a las isostáticas (Cornaglia, 2005), se llevó ambos perfiles a un origen común, corrigiendo el N_{isost} con el promedio de los desvíos. Posteriormente se calcularon los coeficientes de correlación (Walpole, et al., 2007) entre N_{res} y N_{isost} , obteniéndose en todos los casos un valor de 0.96, indicando buena correlación entre los valores isostáticos y observados. Estos resultados muestran que los parámetros usados para el modelo teórico de corteza en la estructura de la Sierra de la Ventana son apropiados, corroborando además que la estructura presenta un estado que tiende al equilibrio isostático.

Tabla 1.- Desvíos entre geode isostático y el geode residual.

	Desvíos EGM2008		Desvíos EIGEN 6C4	
	Promedio [m]	Desv.Est. [m]	Promedio [m]	Desv.Est. [m]
Parámetros GEMMA	-1.97	± 0.39	-1.95	± 0.40
Parámetros CRUST 1.0	-2.03	± 0.41	-2.01	± 0.41

Conclusiones

Del análisis de la estructura de las Sierras de la Ventana en el sistema de Airy, se obtuvo un geode isostático correspondiente a un modelo compensado, el que fue comparado con valores observados representados por modelos geopotenciales modernos debidamente filtrados. Los resultados obtenidos permiten corroborar que la



estructura presenta un estado que tiende al equilibrio isostático y que los parámetros usados para el modelo teórico de corteza son apropiados. En consecuencia, este procedimiento, pone en evidencia que la ondulación isostática del geoide podría ser apropiada para validar modelos de corteza, siempre que las estructuras analizadas tengan evidencias de estar isostáticamente equilibradas.

Referencias

- Cornaglia, L. (2005). "Determinación del estado isostático y características corticales de las sierras de San Luis a partir de las ondulaciones del geoide". Tesis Doctoral. U.N.R.
- Del Cogliano, D. (2006). Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la estructura geológica de Tandil. Tesis Doctoral. F.C.E.I.y.A – U.N.R.
- Fowler C. M. R., (2005). The solid earth. An introduction to Global Geophysics. - Cambridge University Press. 2 edition -704 p.- ISBN 10: 521 89307 0. ISBN 13: 978-0521893077.
- Förste, C.; S. Bruinsma; O. Abrikosov; J.M. Lemoine; T. Schaller; J. Götze, J. Ebbing, J.C. Marty, Flechtner, and Biancale (2014) EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse.
- Haxby W. and D. Turcotte (1978). On isostatic geoid anomalies. Journal Geophysical Journal Vol. 94. (B4)3876-3890.
- Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C. and Factor, J.K. (2008) An Earth Gravitational Model to degree 2160: EGM2008. Presented General Assembly of the European Geosciences Union.
- Pavlis N, Factor J, y Holmes S. (2006). Terrain-related gravimetric quantities computed for the next EGM.
- Sampietro, D and Reguzzoni, M. (2013) Global Moho from the combination of the CRUST2.0 model and GOCE data. Submitted to Geophysical Journal International.
- Laske, G.; Z. Ma; Masters, Guy; and M. Pasyanos. (2013). CRUST 1.0. A New Global Crustal Model at 1x1 Degrees.
- Walpole, R., Myers; R., Myres, S. y Ye, K. (2007). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Ed. Pearson.