Introcaso A. & Introcaso B., 2004. Estudio cortical en una sección de los Andes Bolivianos a partir de ondulaciones del geoide. *XVI Congreso Geológico Boliviano, Oruro, Bolivia*, 4 pp.

Estudio cortical en una sección de los Andes Bolivianos a partir de ondulaciones del geoide

Introcaso, Antonio[1], Introcaso, Beatriz[1]

(1) IFIR Instituto de Física Rosario, Universidad Nacional de Rosario, CONICET – Av. Pellegrini 250, 2000 Rosario, Argentina

RESUMEN

Actualmente, desde el advenimiento de la era satelital, la aparición del GPS y la multiplicación de las observaciones de gravedad, el geoide ha sido definido en forma detallada generando excelentes modelos modernos (por ejemplo EGM96). Tanto las anomalías de gravedad (método gravimétrico tradicional) como las ondulaciones del geoide (método moderno) son sensibles a la distribución de masas terrestres. Es bien conocida la inversión de las anomalías de gravedad en busca del modelo litosférico. Análogamente, invirtiendo las ondulaciones del geoide, es posible caracterizar a la corteza y manto superior.

Demostramos aquí que a partir de la ondución del geoide en una sección EW de los Andes Bolivianos ubicados en 22ºS, es posible: (a) definir el grado y tipo de compensación isostática en cortas longitudes de onda, y (b) inferir desde la anomalía del geoide en larga longitud de onda la probable existencia de convección profunda subandina. Así, el análisis del geoide permite: (i) reemplazar el método gravimétrico tradicional si no se dispone de relevamiento gravimétrico, y (ii) agregar una nueva herramienta al método clásico de interpretación si se cuenta con cartas del geoide y de anomalías de gravedad, proveyendo así una forma eficaz de validación.

INTRODUCCIÓN

El campo gravimétrico terrestre se expresa usualmente mediante: (a) las líneas de fuerza, y (b) las superficies equipotenciales. Ambos, (a) y (b) son perpendiculares. Tradicionalmente los modelos de inversión, en busca de las estructuras geológicas, se determinan utilizando anomalías de gravedad (derivados de (a)).

Con el advenimiento de la era satelital la definición de los equipotenciales terrestres, en particular el geoide o verdadera superficie física de la Tierra puede ser obtenida con suficiente detalle. En efecto, estudiando las deformaciones de las órbitas satelitales, incorporando mediciones GPS y multiplicando el número de observaciones gravimétricas, se han podido establecer modelos tales como el EGM96 que permiten disponer de valores del geoide y desde ellos las características de la corteza y la litosfera.

De hecho, cualquier alteración en la distribución de masas produce las llamadas ondulaciones del geoide *N*. La ecuación que vincula las ondulaciones correspondientes a distintas longitudes de onda es:

$$N = N_{LLO} + N_{LOI} + N_{CLO} + N_{ULO} \qquad (1)$$

con N : ondulación total; N_{LLO} : ondulación en larga longitud de onda; N_{LOI} : ondulación en longitud de onda intermedia; N_{CLO} : ondulación en cortas longitudes de onda y N_{ULO} : ondulación en longitudes de onda ultracortas.

En este trabajo pretendemos demostrar que las ondulaciones de onda del geoide constituyen una moderna herramienta de análisis que puede reemplazar expeditivamente a las anomalías de gravedad en caso de no disponer de ellas, o puede agregarse a ellas para dar mayor potencia resolutiva (validación).

A partir de una sección andina boliviana en 22º de latitud sur demostraremos el alcance de este moderno método de interpretación.

LAS CARACTERÍSITCAS CORTICALES EN LA SECCIÓN DE LOS ANDES BOLIVIANOS EN 22º S, DESDE LAS ONDULACIONES DEL GEOIDE

Con el fin de destacar el alcance del análisis de *N*, hemos recurrido a la investigación clásica realizada desde anomalías de gravedad (Abriatta e Introcaso, 1990, Fig. 1). Los principales resultados obtenidos fueron:

- El espesor de corteza encontrado es de 66 km
- Existe equilibrio isostático en términos generales en el sistema de Airy.

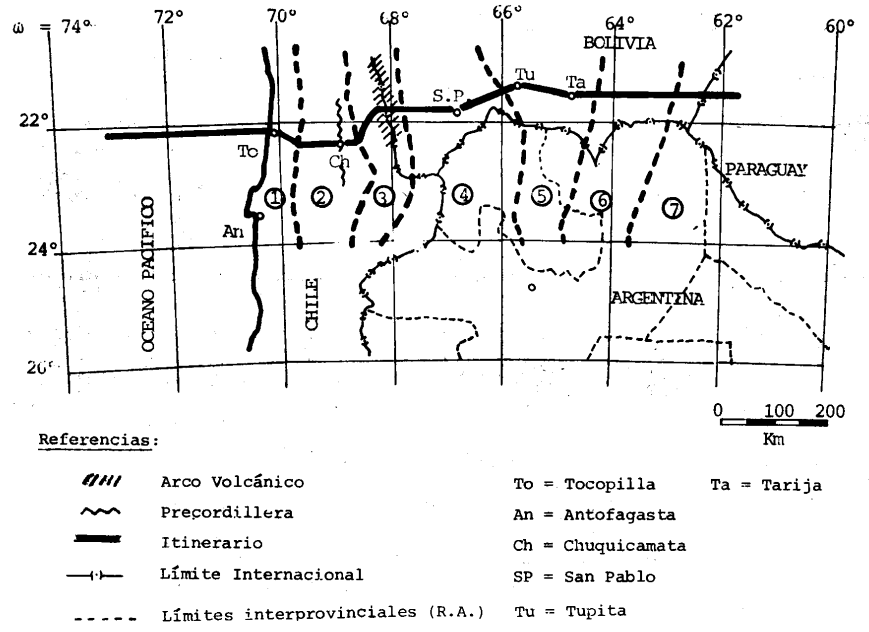

Figura 1. Croquis de ubicación y rasgos fisiográficos. El perfil atraviesa las provincias geológicas: (1) Cordillera de la Costa; (2) Valle Central (Precordillera de Chile); (3) Cordillera de los Andes o Principal (Cordillera Domeyko); (4) Altiplano-Puna; (5) Cordillera Oriental; (6) Sierras Subandinas; (7) Llanura Chaco-Pampeana.

La Figura 2 muestra el modelo obtenido por inversión clásica, desde H = 40 km (altura desde donde desaparecen las cortas longitudes de onda sin perder información). La comparación de este modelo cortical con el modelo de perfecta compensación señala balance isostático para los Andes como un todo.

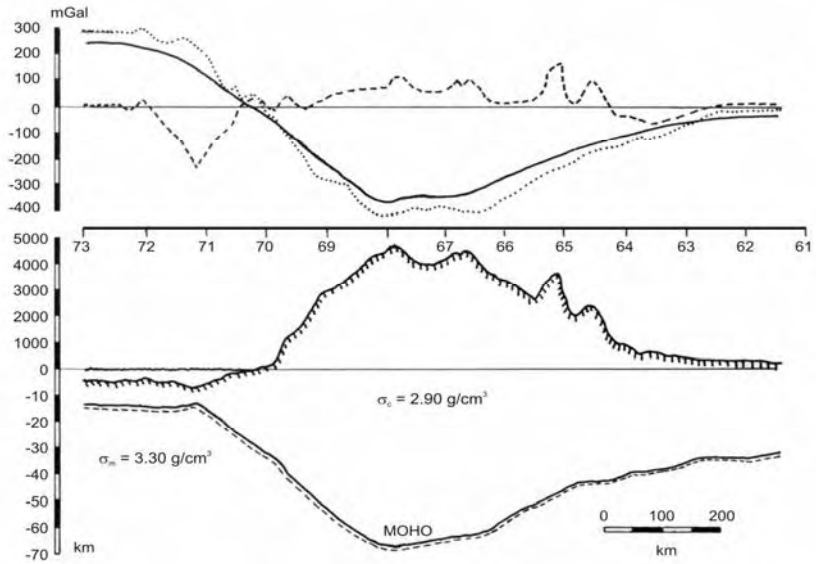

Figura 2. Arriba: Anomalía de Bouguer: a 40 km de altura (línea sólida) y anomalía de Bouguer tradicional (línea de puntos). Anomalía de Aire Libre (línea de trazos). Abajo: Modelo cortical obtenido por inversión (relieve exagerado).

Veamos ahora el análisis realizado a partir de las ondulaciones obtenidas en la misma sección de Fig. 1 para el modelo EGM96 (Lemoine et al., 1998).

La Figura 3 exhibe: (a) el relieve andino en la sección estudiada; (b) la ondulación del geoide obtenida en 22ºS a partir de expresiones planas con el relieve (a) como señal de entrada. Las expresiones utilizadas pueden encontrarse en páginas 225 y 226 (fórmulas 5.148 y 5.149) de la obra de Turcotte y Shubert (1982). Para un ancho andino de 500 km, estas expresiones simplificadas difieren sólo en un 7% del cálculo con paralelepípedos tridimensionales de 2000 km de longitud (perpendicular a la sección, Molinari, R., en preparación). En (c) vemos en línea sólida delgada el geoide correspondiente al EGM96; en línea sólida espesa la larga longitud de onda (ver leyenda de la Figura), y en línea de trazos la ondulación o copa de sombrero que se expresa claramente en Froideveaux e Isacks (1984).

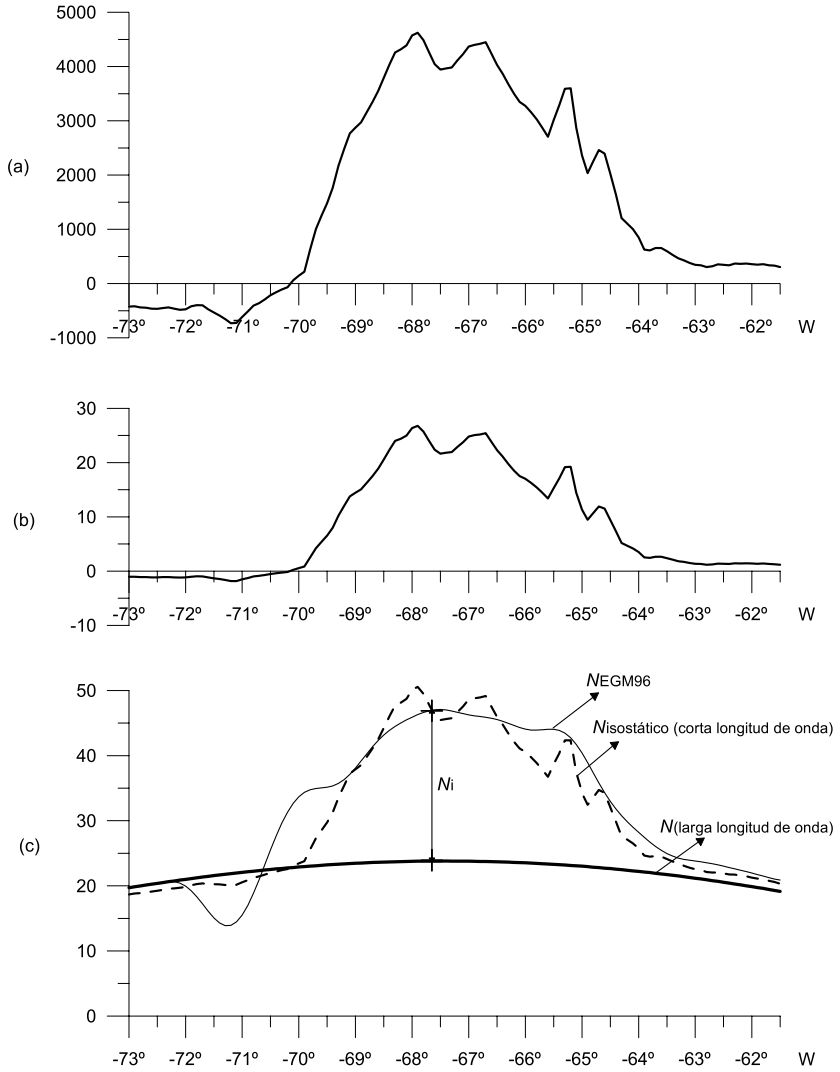

Figura 3. (a) Topografía en el perfil 22º S; (b) *N* isostático obtenido a partir de fórmulas planas (modelo de Airy); (c) *N* EGM96 obtenido a partir del modelo EGM96 con grado y orden 360; *N* (larga longitud de onda) obtenido a partir del modelo EGM96 con grado y orden 10, ajustado atendiendo a la eliminación de la ondulación local de la fosa descompensada; *N* isostático (corta longitud de onda) es la suma del obtenido en (b) y el *N* (larga longitud de onda).

La expresión (1) de este trabajo puede ser simplificada ignorando N_{ULO} y fusionando N_{LLO} y N_{LOI} resultando:

$$N = N_{LLO} + N_{CLO} \quad (2)$$

dado que restando a N en Figura 3(c) la larga longitud de onda, el residuo N_{CLO} que se correlaciona perfectamente con el relieve y muestra una amplitud con los parámetros de Turcotte y Shubert (1982) para h = 4 km; $N \approx 20$ m consistente con el de una corteza compensada, nos informa con claridad los dos resultados obtenidos clásicamente: (i) compensación isostática razonable, y (ii) sistema de compensación (Airy). Las expresiones planas utilizadas contienen, en coincidencia con la corteza de Fig. 2, una raiz andina ΔR que sumada al espesor normal de la corteza, la duplica.

Finalmente digamos que: (a) las expresiones planas usadas aquí pueden ser refinadas con expresiones tridimensionales, y (b) el modelo EGM96 puede ser confirmado y detallado utilizando, desde las anomalías de aire libre, el método de fuentes equivalentes (Guspí et al., 2004).

CONCLUSIONES

Hemos demostrado que la interpretación gravimétrica tradicional de la corteza puede ser reemplazada (o utilizada como método de validación) por el análisis de las ondulaciones del geoide. En la sección andina considerada en 22º S, la ondulación residual N_{CLO} obtenida como: $N - N_{LLO}$, es consistente con la ondulación N_i calculada con expresiones planas, para un modelo perfectamente compensado en el sistema de Airy. Se confirman así los resultados obtenidos tradicionalmente: la cordillera Andina Boliviana en 22º S está razonablemente balanceada en el sistema de Airy, con duplicación del espesor cortical.

REFERENCIAS

Abriata, J.C., Introcaso, A., 1990. Contribución gravimétrica al estudio de la transecta ubicada al sur de Bolivia. *Revista del Instituto Geográfico Militar, Año 5 Nº 7, p. 8 a 19*.

Froideveaux, C., Isacks, B., 1984. The mechanical state of the lithosphere in the Altiplano-Puna segment of the Andes. *Earth & Planet. Sci. Lett., 71, p. 305-314*.

Guspí, F.P.V., Introcaso, A., Introcaso, B., 2004. Gravity enhanced representation of measure geoid undulations using equivalent sources. *Geophysical Journal International 158, p. 1 to 8 .*

Lemoine, F., Kenyon, S., Factor, J., Trimmer, R., Pavlis, N., Chiuw, D., Cox, C., Klosko, S., Lutheke, S., Torrence, M., Wang, Y., Williamson, R., Pavlis. H., Rapp, R. & Olson, T., 1998. The development of the join NASA, CSFC and NIMA geopotential model EGM96, *NASA/TP – 1998 – 206861*, *Goddard Space Flight Center*.

Turcotte, D.L., Schubert, G., 1982. Geodynamics. Applications of Continuum Physics to Geological Problems. *John Wiley & Sons Ed., New York, 450 ps.*