

MODELOS GEOPOTENCIALES GLOBALES EN EL ANÁLISIS DEL ESTADO ISOSTÁTICO DE ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS

Claudia Infante¹, Lucrecia Galván¹, Claudia Tocho^{2,3}, Javier Duro¹

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

² Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque s/n. La Plata. Argentina.

³ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires. Calle 526 e/10 y 11. La Plata - Buenos Aires. Argentina

OBJETIVO GENERAL

Emplear la información de las ondulaciones del geode, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, para analizar las características corticales de la estructura de Sierras de Sumampa y Ambargasta (provincia de Santiago del Estero, Argentina) que se asume en equilibrio isostático.

OBJETIVOS PARTICULARES

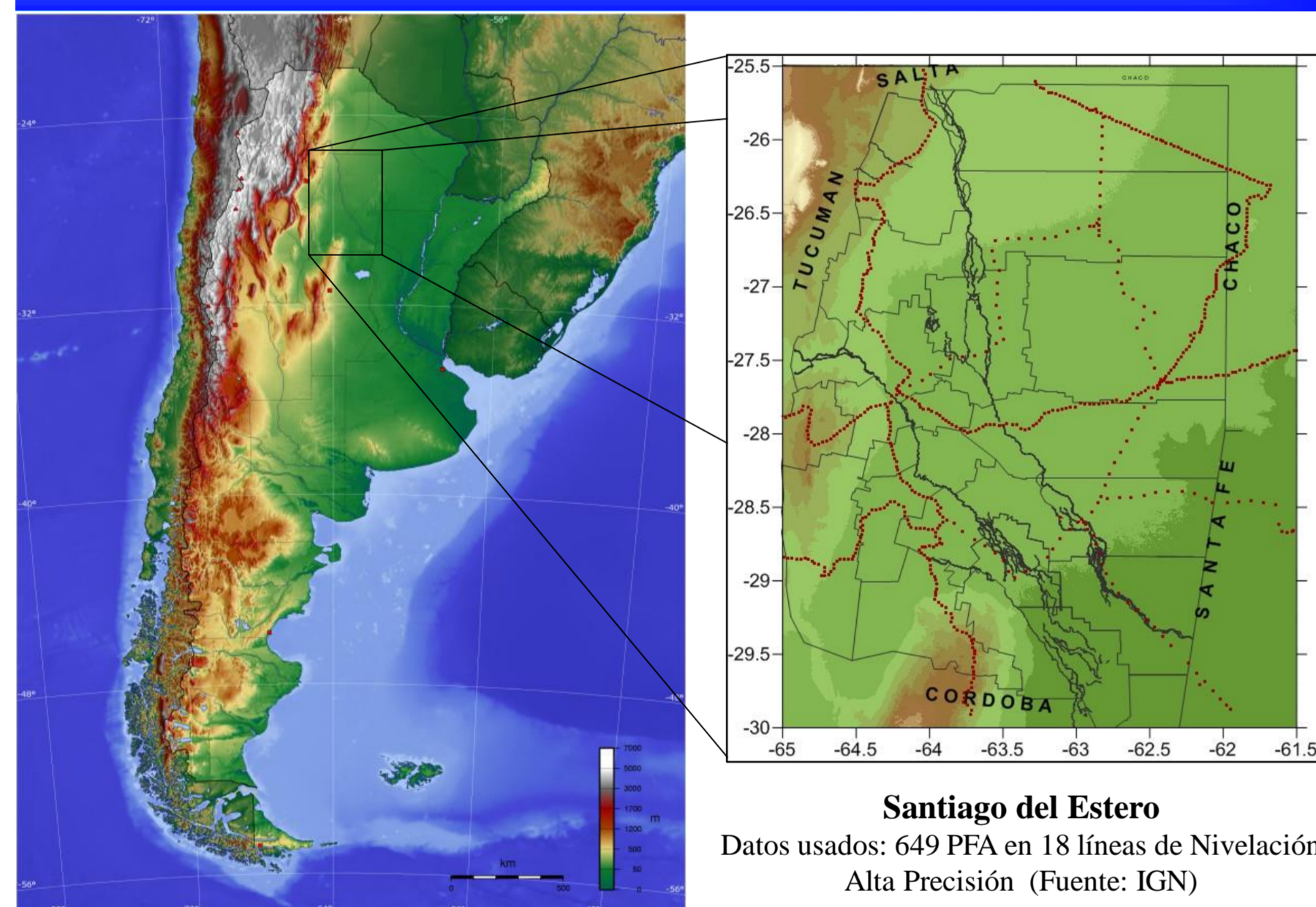
Evaluar los modelos geopotenciales EGM2008 y EIGEN 6C4 en la provincia de Santiago del Estero, Argentina.

Filtrar la ondulación del geode (geode residual) del modelo geopotencial que refleje las particularidades de la estructura a analizar.

Determinar el geode isostático en la estructura geológica utilizando parámetros de corteza de los modelos globales GEMMA y Crust 1.0.

Determinar el eventual apartamiento de la estructura analizada del modelo isostático adoptado, a partir de las diferencias entre el geode residual y el geode isostático.

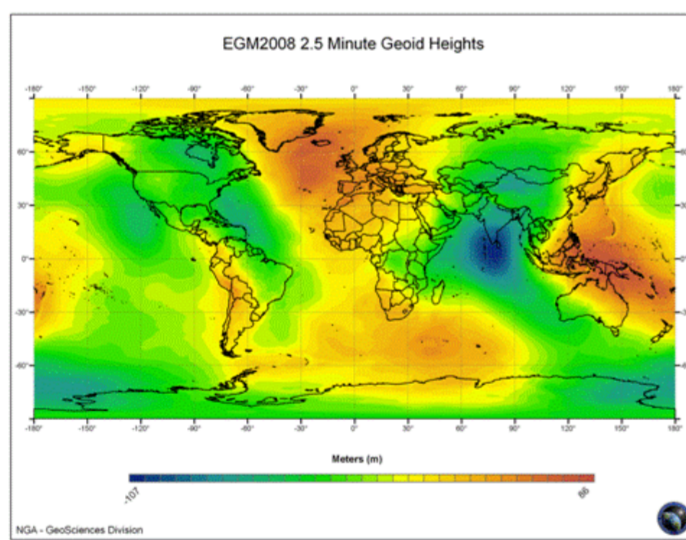
AREA DE TRABAJO Y DATOS TERRESTRES



MODELOS GEOPOTENCIALES GLOBALES

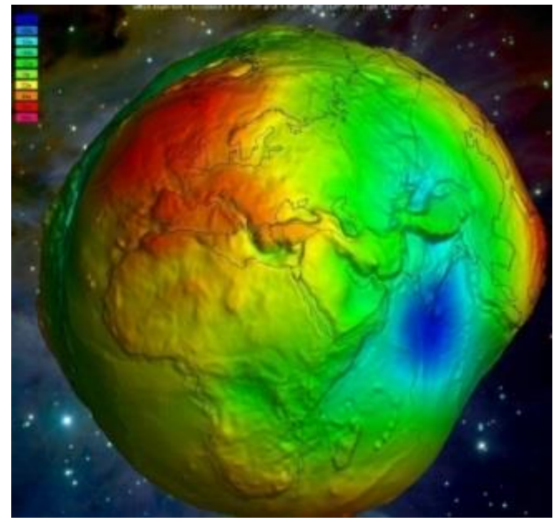
EGM2008

(Pavlis, et al., 2008)
<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>
Es un modelo completo hasta el grado 2190 y orden 2159, en término de armónicos esféricos. Datos usados: combinación de datos GRACE con base de datos de anomalías gravimétricas de aire libre en una grilla de 5 minutos de arco.



EIGEN 6C4 (Förste, et al., 2014)

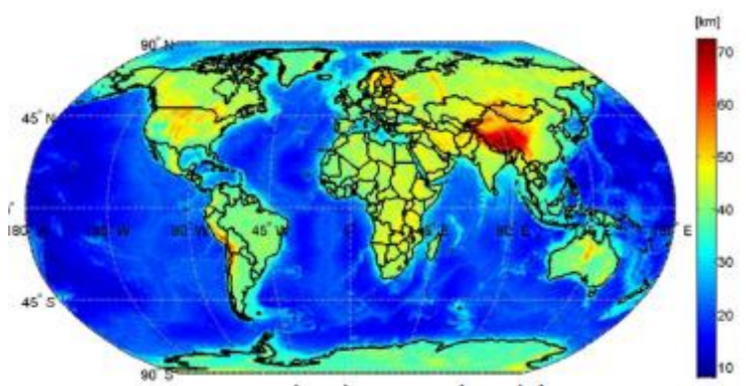
<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>
Es un modelo hasta el grado 2190, en término de armónicos esféricos. Datos usados: LAGEOS, GRACE, GOCE and DTU.



MODELOS GLOBALES DE CORTEZA UTILIZADOS

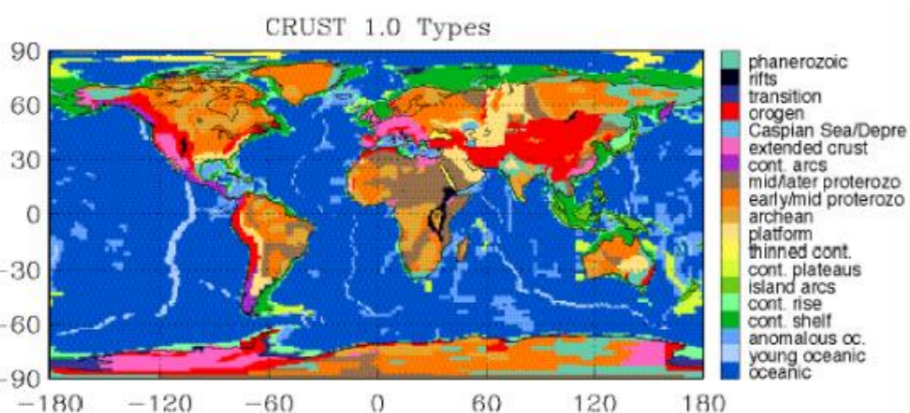
GEMMA (GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications)

(Sampietro, et al., 2013)
El objetivo es estimar el límite entre la corteza terrestre y el manto (la llamada discontinuidad de Mohorovičić o Moho) a partir de datos de GOCE.



CRUST 1.0

(Laske, et al., 2013).
<http://igppweb.ucsd.edu/~gabi/crust1.html>
Modelo de corteza que contiene información sobre profundidad del Moho, las velocidades promedio de la corteza, el espesor de la cubierta sedimentaria y velocidad Pn.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Del Cogliano, D. (2006). Modelado del Geode con GPS y Gravimetría. Caracterización de la estructura geológica de Tandil. Tesis Doctoral. FCElyA - UNR.
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, Christoph; Bruinsma, Sean; Abrikosov, Oleh ; Lemoine, Jean-Michel; Schaller T.; H.-J. Götze ; J. Ebbing, J.C. Marty, F. Fleicher, G. Balmino and R. 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.*
Infante, C. (2013). Detección de estructuras geológicas potencialmente en equilibrio isostático a partir del análisis de modelos geopotenciales y anomalías de Bouguer. Tesis de Maestría. FCAyG - UNLP.
Pavlis, N.K., Holmes, S.A., Kenyon, S.C. and Factor, J.K. (2008) *An Earth Gravitational Model to degree 2160: EGM2008.* Paper presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.

METODOLOGÍA

Considerando el modelo de compensación de Airy, una estructura de referencia, con una corteza normal de espesor t , una estructura de altura H será compensada por la presencia de raíces de espesor r , tal que:

$$r = \frac{\rho_c H}{\rho_m - \rho_c} \quad \rho_c \text{ densidad de la corteza} \quad \rho_m \text{ densidad del manto}$$

Se puede demostrar que el potencial perturbador isostático T_{isost} producido por la masa topográfica de una estructura de altura H y raíz r será:

$$T_{isost} = \pi G \rho_c H \left[2t + \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_m - \rho_c} H \right]$$

Aplicando la fórmula de Bruns, la ecuación puede expresarse como:

$$N_{isost} = \frac{\pi G \rho_c H}{\gamma} \left[2t + \frac{\rho_m - \rho_c}{\rho_m - \rho_c} H \right] \quad (\text{Haxby y Turcotte, 1978})$$

Es posible especular sobre las características de la corteza comparando el geode observado y debidamente filtrado con el correspondiente a un modelo cortical perfectamente compensado (Del Cogliano, 2006).

Para la comparación tomaremos:

$$N_{res} = N_{mod} - N_{reg} - v_n$$

N_{mod} : geode obs. obtenido MGG.
 N_{reg} : geode regional
 N_{res} : geode residual
 v_n los errores del modelo geopotencial.

En una situación de equilibrio isostático, se verifica que:

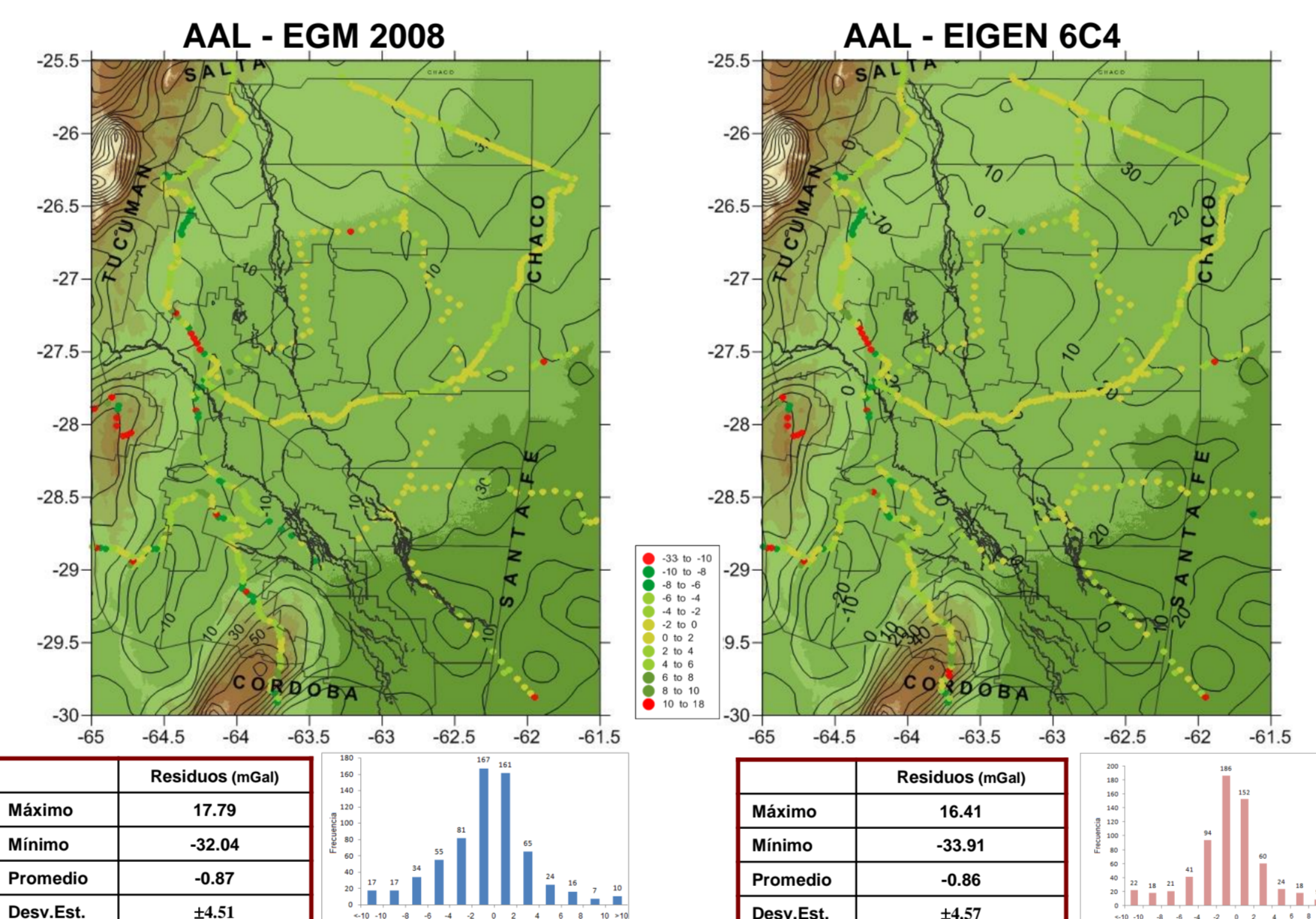
$$N_{res} + v_n \cong N_{isost} + v_l \quad v_l \text{ representa las diferencias del modelo isostático.}$$

Los valores v_l muestran el eventual apartamiento de la estructura analizada respecto del modelo isostático adoptado, una vez eliminada la componente isostática de la ondulación residual:

$$v_l = N_{res} + v_n - N_{isost}$$

CÁLCULOS

EVALUACIÓN MODELOS GEOPOTENCIALES



FILTRADO DEL GEOIDE (Geode Residual)

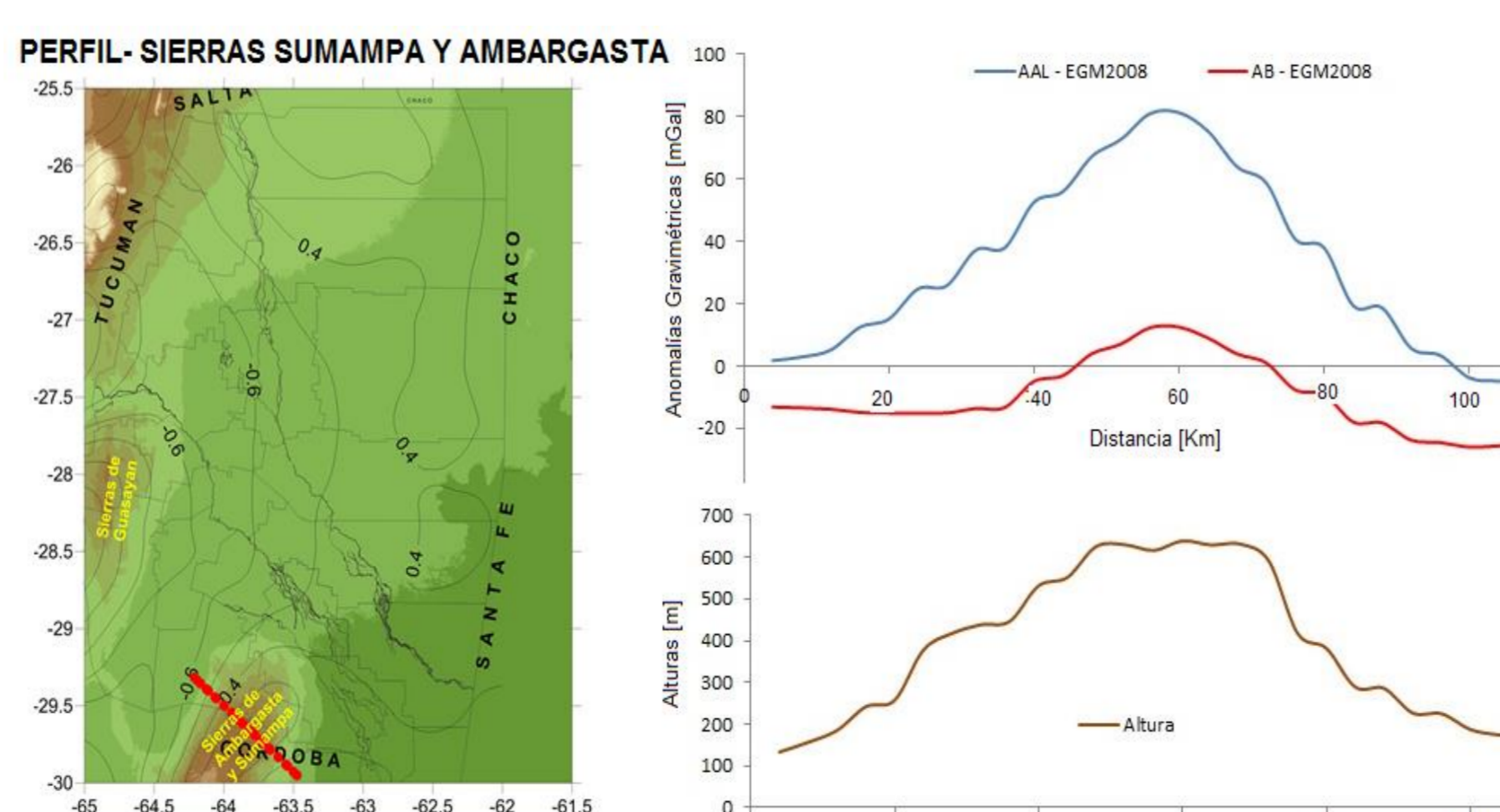
Los modelos geopotenciales describen el potencial de la gravedad de la Tierra empleando un desarrollo en serie de armónicos esféricos. A partir de los desarrollos del potencial de la gravedad y la fórmula de Bruns, es posible calcular la ondulación geoidal del modelo geopotencial:

$$N(r, \theta, \lambda) = \frac{GM}{\gamma} \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=0}^l \left(\frac{a}{r} \right)^l \left[\Delta C_{lm} \cos m\lambda + \Delta S_{lm} \sin m\lambda \right] P_{lm}(\cos \theta)$$

El filtrado de N consiste en la separación de la señal del campo gravitacional en diferentes longitudes de onda, retener sólo las longitudes de onda que interesan. En este caso, se separan los efectos de corta longitud de onda truncando el desarrollo en serie de los primeros términos, en este caso se trunca para grado 100 (long. onda ≈ 400 km)

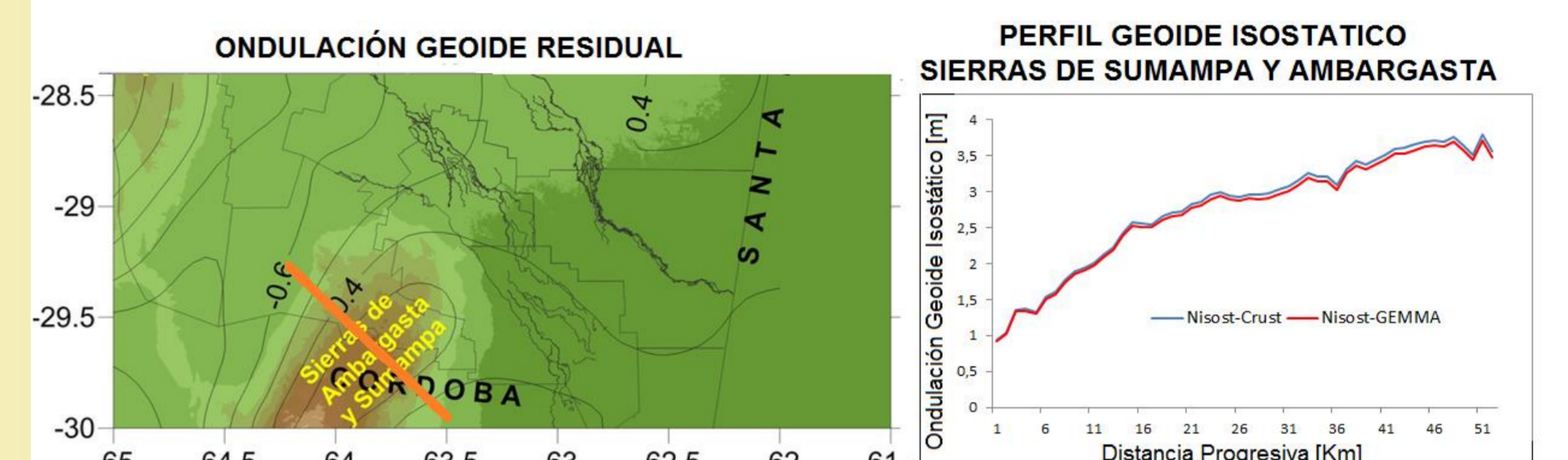
$$N_R = N - N_{LOC}$$

ANÁLISIS DEL ESTADO DE EQUILIBRIO ISOSTÁTICO



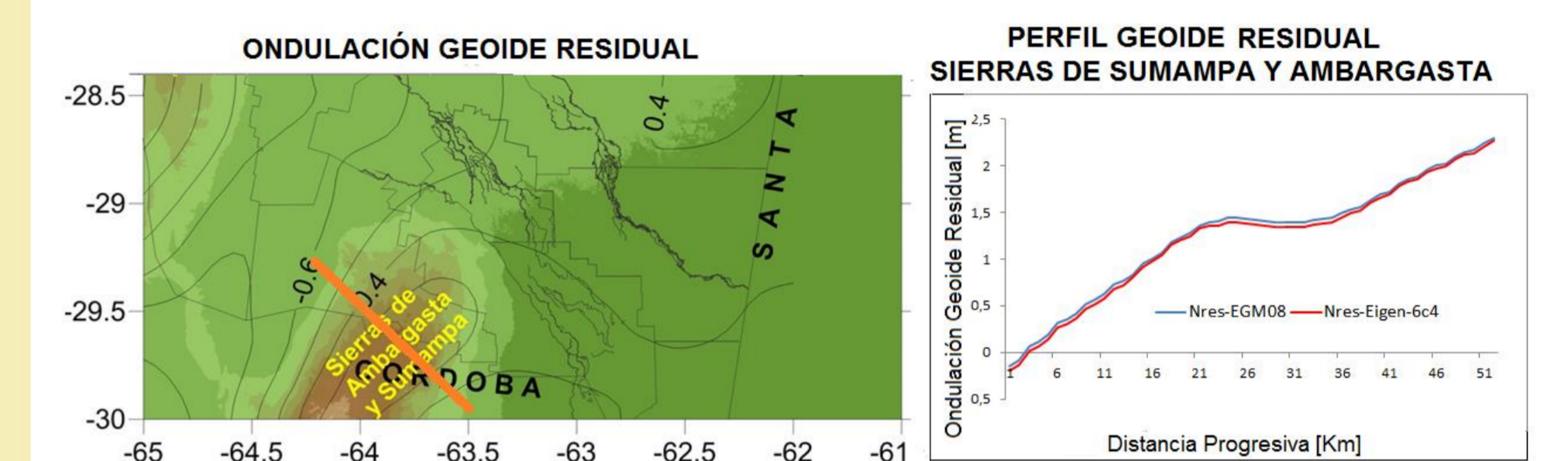
Las anomalías de aire libre y Bouguer no pueden revelarnos el mecanismo de compensación (Pratt o Airy) pero la correlación que existe entre dichas anomalías y la topografía nos brinda información que sirve para un análisis a priori del estado isostático de la estructura. Valores positivos altos de AAL correlacionados con la topografía se muestran en el perfil trazado sobre la estructura, indicando que esta estructura no estaría compensada de acuerdo a los modelos isostáticos clásicos.

RESULTADOS



	$N_{isost-GEMMA}$	$N_{isost-CRUST1.0}$
Máximo [m]	3.71	3.78
Mínimo [m]	0.92	0.93
Rango [m]	2.79	2.85
Promedio [m]	2.73	2.78
Desv. estándar [m]	±0.77	±0.78

Tabla 1.- Resumen estadístico de la ondulación geode isostático.



	$N_{res-EGM2008}$	$N_{res-EIGEN6C4}$
Máximo [m]	2.29	2.26
Mínimo [m]	-0.19	-0.18
Rango [m]	2.10	2.08
Promedio [m]	1.25	1.23
Desv. estándar [m]	±0.63	±0.64

Tabla 2.- Resumen estadístico de la ondulación geode residual.

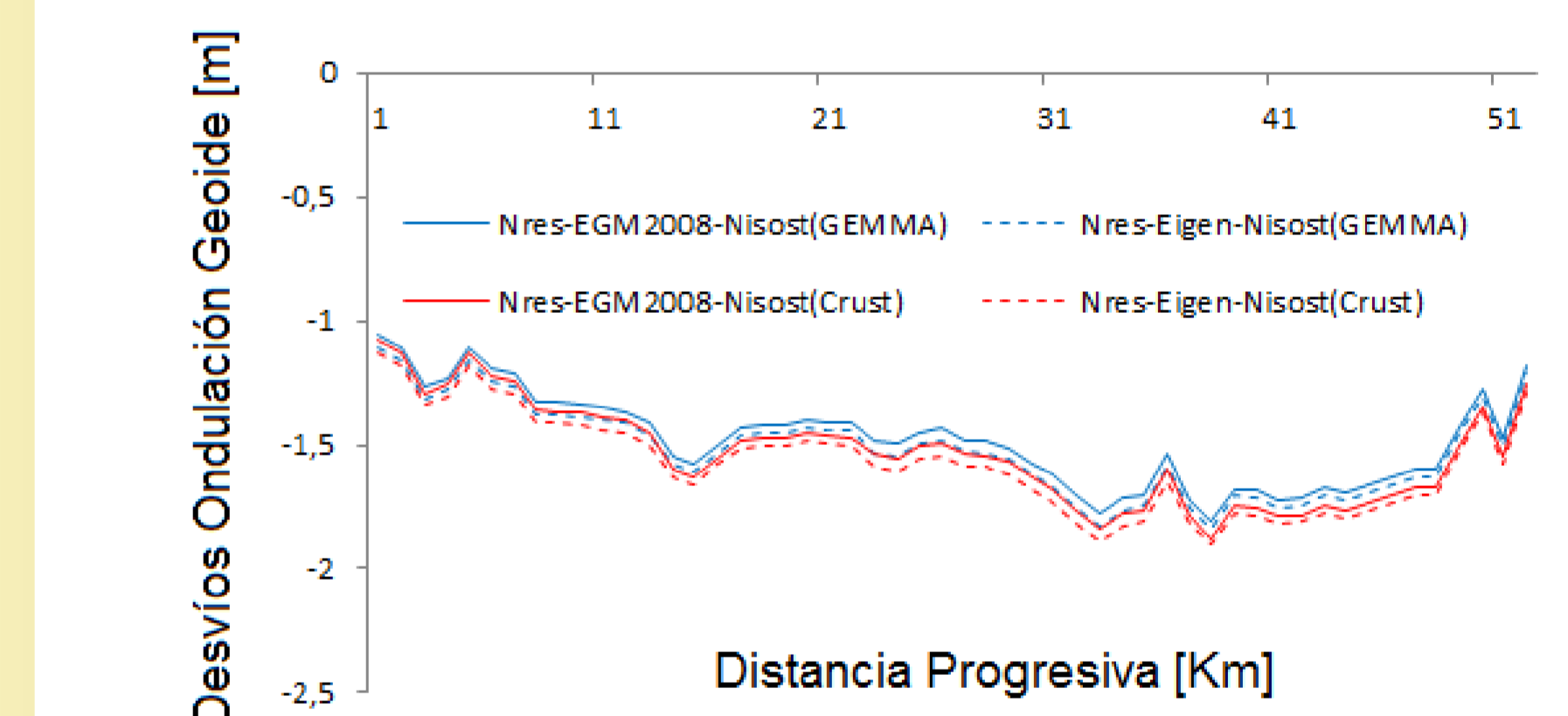


Figura 4.- Desvíos modelo isostático c/parámetros corteza GEMMA, y CRUST 1.0 respecto del geode residual EGM2008 y Eigen-6C4.

Parámetros ref.	Desvíos EGM2008		Desvíos EIGEN 6C4	
	Promedio [m]	Desv.est.[m]	Promedio [m]	Desv.est.[m]
Parámetros ref. GEMMA	-1.48	±0.18	-1.52	±0.18
Parámetros ref. CRUST 1.0	-1.53	±0.20	-1.57	±0.19

Tabla 3.- Resumen estadístico desvíos entre geode isostático y el geode residual.

CONCLUSIONES

Es posible emplear la ondulación del geode isostático sobre una estructura para inferir a partir de ella el balance isostático y las características corticales.

Analizando la estructura de las Sierras Sumampa y Ambargasta (provincia de Santiago del Estero), 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.

De la evaluación se advierte un buen ajuste de ambos modelos con una desviación estándar en los residuos en el orden de ± 4.5 [mGal] para la anomalía de aire libre y ± 3.8 [mGal] para la anomalía de Bouguer en ambos modelos.

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 geode podría ser apropiada para validar modelos de corteza, siempre que las estructuras analizadas tengan evidencias de estar isostáticamente equilibradas.

La utilización de modelos geopotenciales y modelos de corteza cada vez más precisos, permite proyectar estudios de fenómenos geofísicos apoyados en la infraestructura de datos SIRGAS.

El aporte de los modelos geopotenciales es fundamental en la Geodesia y las Ciencias de la Tierra, que van desde los efectos prácticos, como la determinación de la ondulación del geode, hasta aplicaciones científicas, como las investigaciones de la estructura interna de la Tierra.