



# Simposio SIRGAS 2015

Noviembre 18 - 20, 2015

## Modelos Geopotenciales modernos en el Análisis de Modelos Corticales Isostáticamente Equilibrados

**Claudia Infante<sup>1\*</sup>, Claudia Tocho<sup>2</sup>, Daniel Del Cogliano<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Belgrano (S) 1912. Santiago del Estero. ARGENTINA.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas. Universidad Nacional de La Plata. Paseo del Bosque s/n. La Plata. ARGENTINA.



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGÍAS – U.N.S.E.  
FACULTAD DE CIENCIAS ASTRONÓMICAS Y GEOFÍSICAS -U.N.L.P.  
REPÚBLICA ARGENTINA



# MOTIVACIÓN

Con el aporte de las misiones espaciales gravimétricas GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) y GOCE (*Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer*) se ha mejorado enormemente nuestro conocimiento del campo de gravedad global y sus variaciones temporales.

En este trabajo se ha utilizado la información de las ondulaciones del geoide, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, para analizar las características corticales de la estructura de Tandilia que se asume en equilibrio isostático.



**Simposio SIRGAS 2015**

**Noviembre 18 - 20, 2015**



# OBJETIVOS

## General

Inferir las características corticales de estructuras geológicas a partir del análisis del geoide isostático y modelos geopotenciales.

## Específicos

Calcular geoide isostático con parámetros de corteza de modelos globales y de datos gravimétricos terrestres.

Calcular un geoide residual mediante el filtrado de modelos geopotenciales globales.

Determinar los desvíos entre el geoide isostático y el geoide residual derivado de modelos geopotenciales modernos.

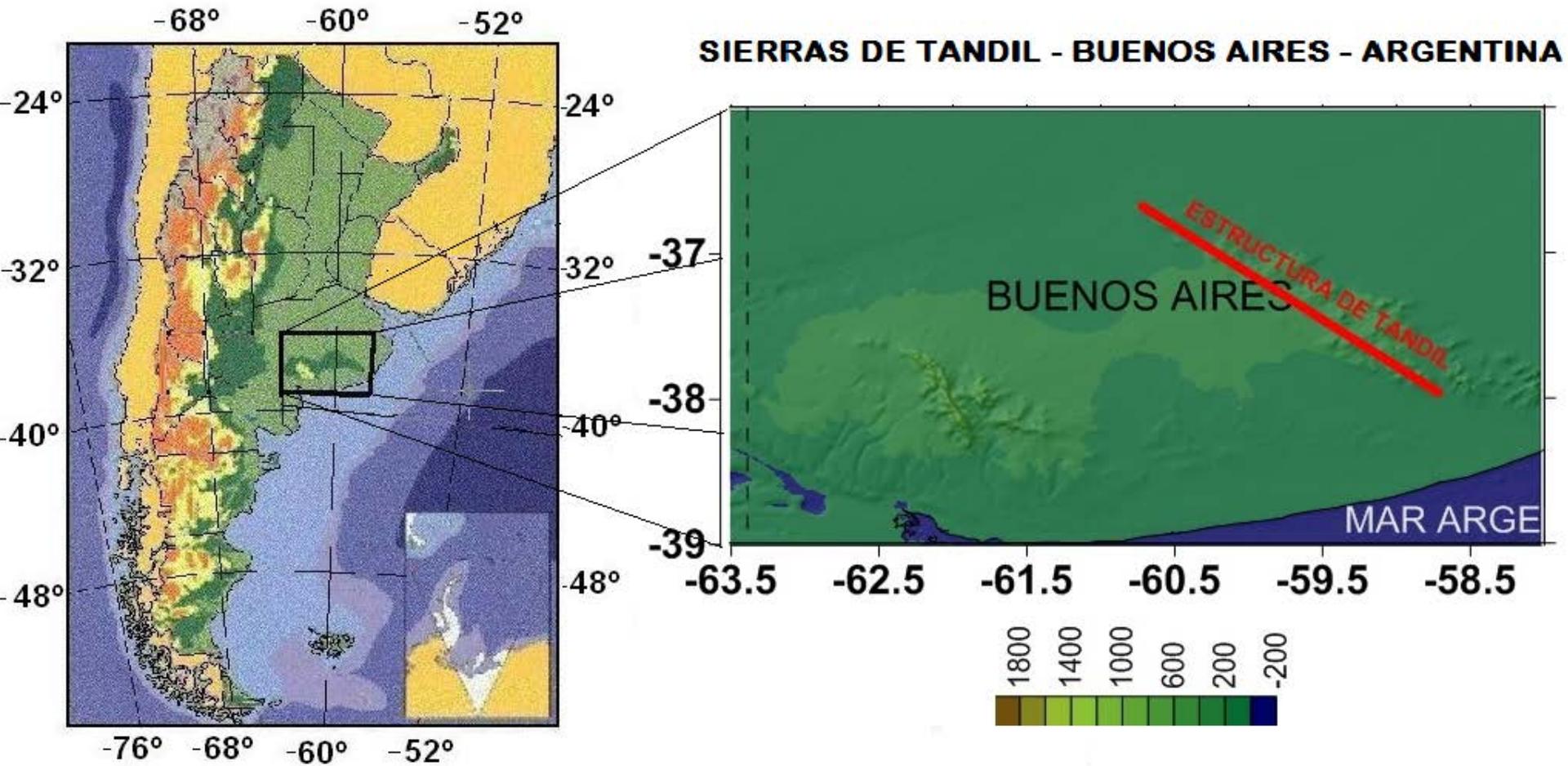


**Simposio SIRGAS 2015**

Noviembre 18 - 20, 2015



# ÁREA DE TRABAJO



# INTRODUCCIÓN

El análisis isostático de estructuras geológicas se realiza normalmente a partir de anomalías de gravedad isostáticas. Sin embargo, la utilización de información geoidal puede resultar adecuada para complementar y validar esos estudios.

En este trabajo las ondulaciones del geoide, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, son convenientemente filtradas para poner en evidencia la estructura de Tandilia (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 (Del Cogliano, 2006).

# ONDULACIÓN GEOIDE ISOSTÁTICO

## Ondulación del geoide e isostasia

Considerando que el potencial gravitatorio de la Tierra real  $V_{real}$  puede expresarse como:

$$V_{real} = V_{reg} + T_{isost} + v_I$$

$V_{reg}$  Potencial de Tierra regularizada en el sentido isostático

$T_{isost}$  Potencial perturbador isostático

$$T_{isost} = V_{real} - V_{reg} - v_I$$

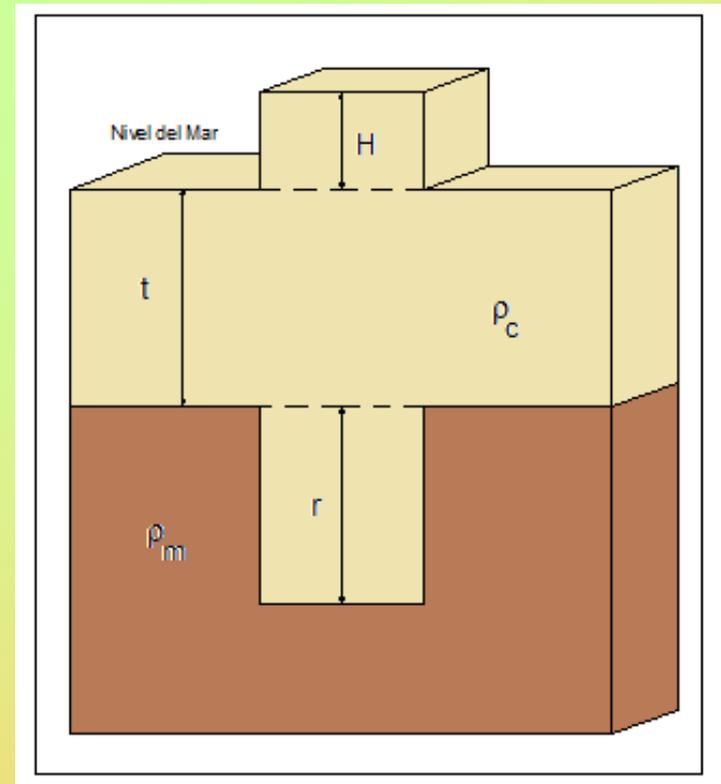
$v_I$  representa los desvíos del modelo isostático y los errores en la evaluación del mismo

Si consideramos en 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:

$$r = \frac{\rho_c H}{\rho_m - \rho_c}$$

$\rho_c$  densidad de la corteza

$\rho_m$  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:

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

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

$$N_{isost} = \frac{2\pi G\rho_c H}{\gamma} \left[ \frac{H}{2} + t + \frac{r}{2} \right]$$

Esta ecuación resuelve la ondulación isostática  $N_{isost}$  para una estructura compensada (Haxby y Turcotte, 1978) en términos de una función que depende únicamente de la altura de la estructura en estudio, establecidas las densidades y espesor cortical normal que serán asumidos como valores fijos.

# ANÁLISIS ISOSTÁTICO DE ESTRUCTURAS

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

Para la comparación tomaremos como geoide observado el obtenido del modelo geopotencial global  $N_{mod}$ , el cual debe ser debidamente filtrado para eliminar la componente regional  $N_{reg}$  y retener la componente residual  $N_{res}$  que refleje las particularidades de la estructura analizada:

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

siendo  $v_n$  los errores del modelo geopotencial.

En una situación de equilibrio isostático, se verifica que:

$$N_{res} + v_n \cong N_{isost} + v_I$$

donde  $v_I$  representa los desvíos del modelo isostático y los errores en la evaluación del mismo.

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

$$v_I = N_{res} + v_N - N_{isost}$$

# DATOS UTILIZADOS

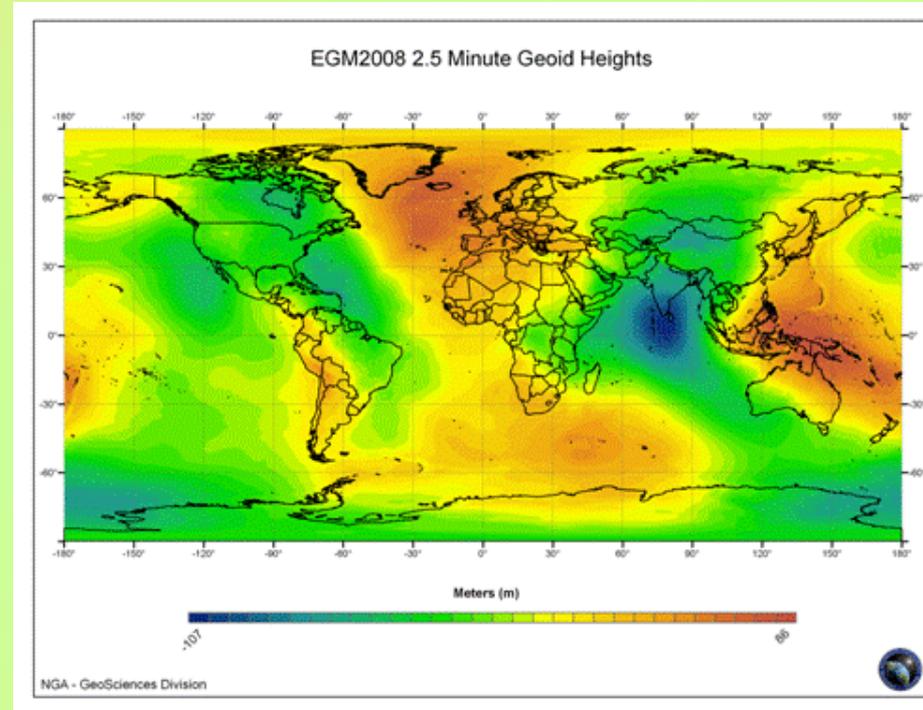
El **geoide residual** fue derivado de los modelos geopotenciales globales:

**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.

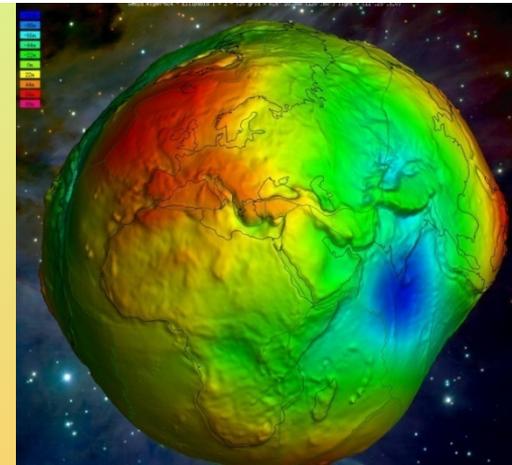


**EIGEN 6C4** (Förste, et al., 2014).

<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>

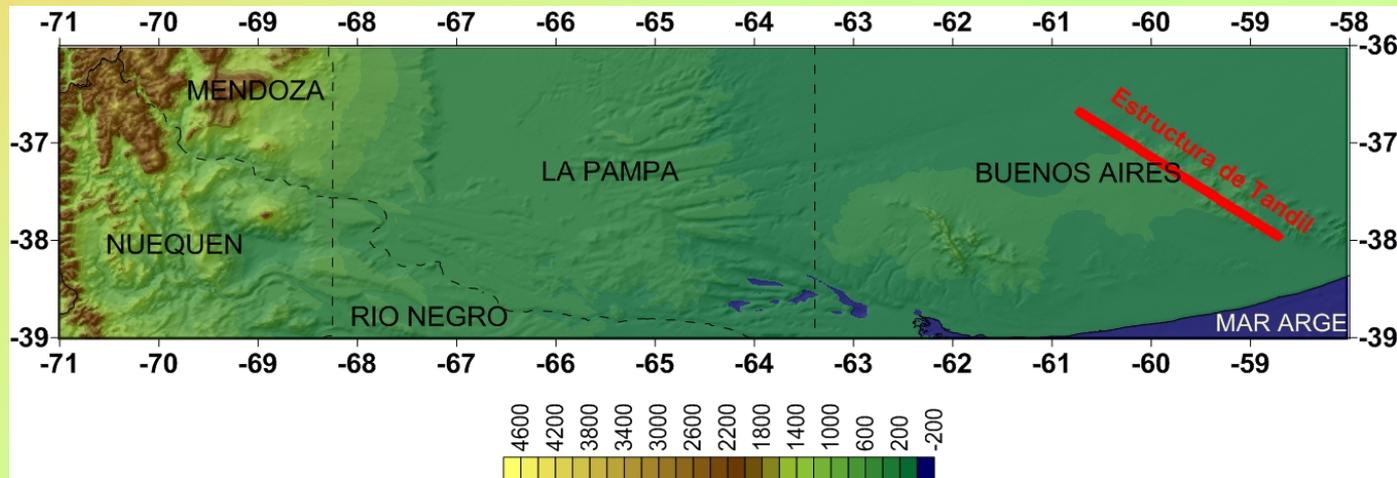
Es un modelo hasta el grado 2190, en término de armónicos esféricos.

Datos usados: LAGEOS, GRACE, GOCE and DTU.



# DATOS UTILIZADOS

En el cálculo del **geoide isostático** se utilizaron parámetros derivados de datos gravimétricos locales para evitar la simple interpolación de los modelos corticales globales.



## Parámetros usados:

(Del Cogliano, 2006, *Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la Estructura Geológica de Tandil.*)

$\rho_c$  densidad de la corteza: 2.84 g/cm<sup>3</sup>,

$\rho_m$  densidad del manto de 3.24 g/cm<sup>3</sup>,

t espesor de corteza de referencia: 42 km.

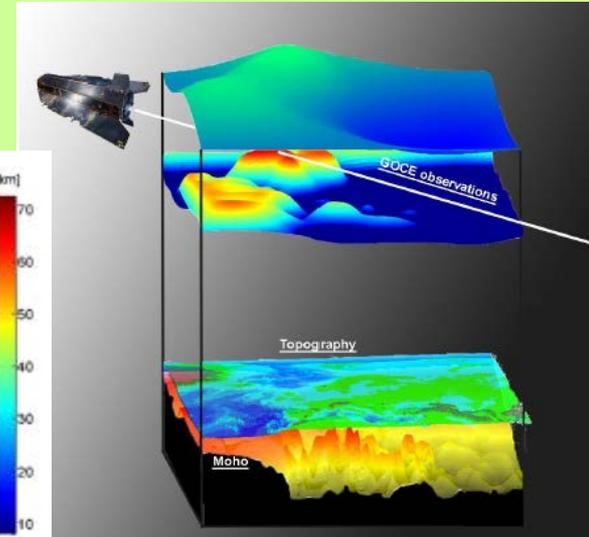
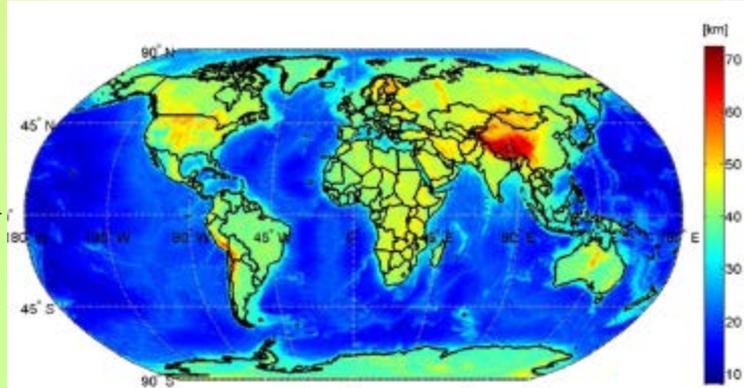
# DATOS UTILIZADOS

Asimismo se utilizaron parámetros de corteza fueron extraídos de modelos globales:

**GEMMA** (*GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications*) (Sampietro, et al., 2013)

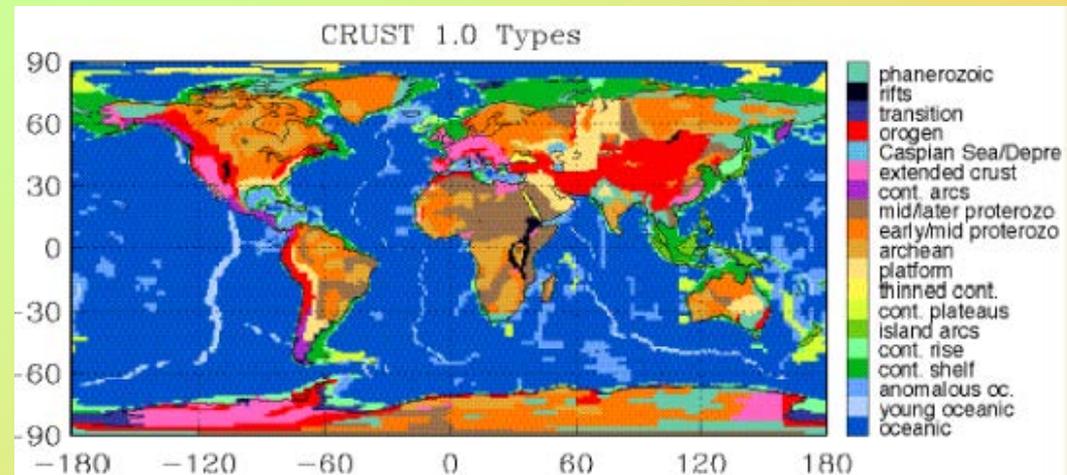
<http://gocedata.como.polimi.it/>

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 a Moho, las velocidades promedio de la corteza, la densidad, el espesor de la cubierta sedimentaria y velocidades Pn.



# CALCULOS

## Ondulación geoide residual (filtrado)

$N_{reg}$  se tomó la ondulación resultante de los modelos geopotenciales, truncado el desarrollo en grado 36 (longitud de onda asociada  $\approx 1110$  km y resolución 550 km) con lo cual se filtran las estructuras mayores que 500 km.

$$N_{res-EGM2008} = N_{mod(Gr2190)} - N_{reg(Gr36)}$$

$$N_{res-EIGEN6C4} = N_{mod(Gr2190)} - N_{reg(Gr36)}$$

	$N_{res-EGM2008}$	$N_{res-EIGEN6C4}$
Máximo [m]	1,37	1,34
Mínimo [m]	0,84	0,84
Rango [m]	0,53	0,50
Promedio [m]	1.17	1,17
Desv. estándar [m]	$\pm 0.14$	$\pm 0.12$

**Tabla 1.-** Resumen estadístico de la ondulación geoide residual.

# CALCULOS

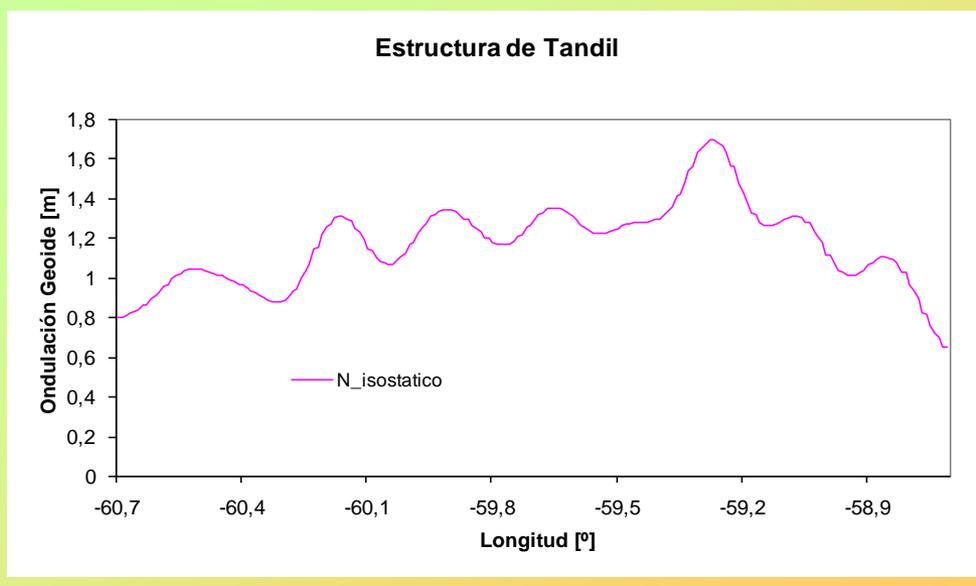
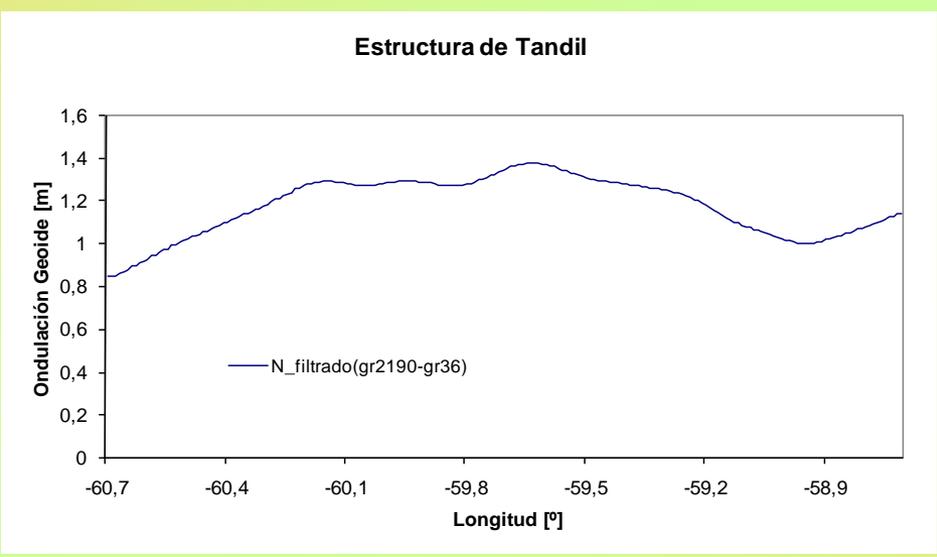
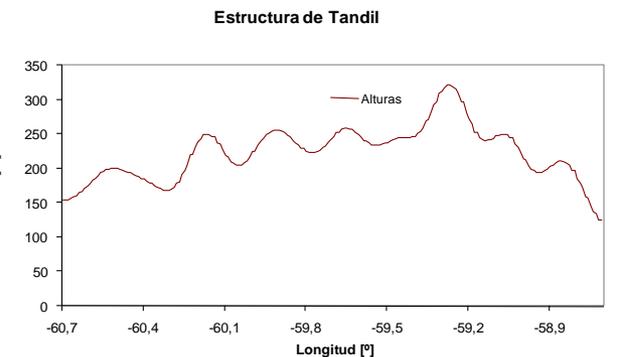
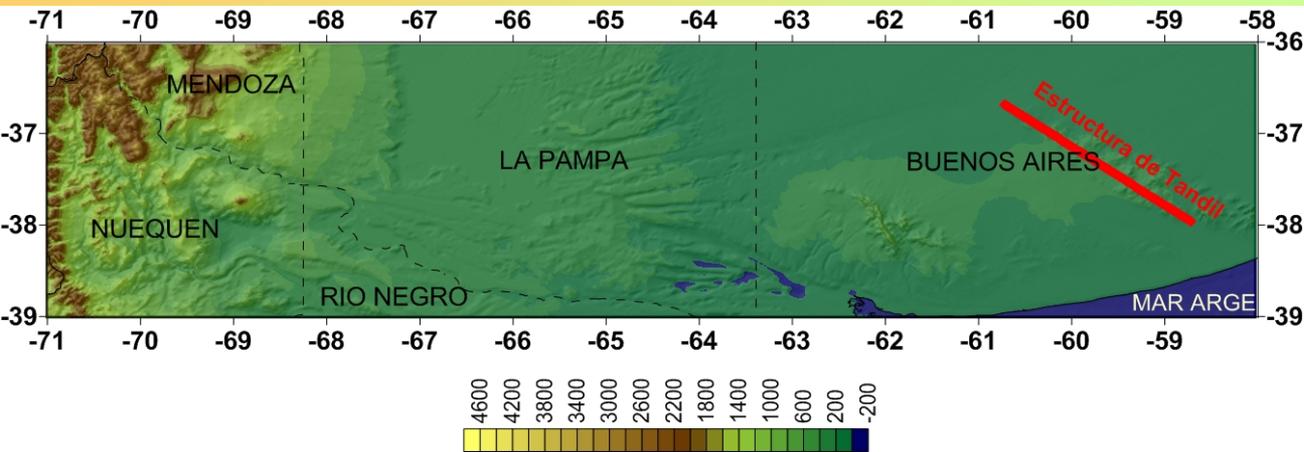
## Ondulación geoide isostático

El **geoide isostático** se calculo usando parámetros corticales determinados a partir de **datos gravimétricos locales** ( $\rho_c$ : 2.84 g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_m$  3.24 g/cm<sup>3</sup>,  $t$ : 42 km) y de los modelos globales **GEMMA** ( $\rho_c$ : 2.85 g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_m$  3.237 g/cm<sup>3</sup>,  $t$ : 35,7 km) y **Crust 1.0** ( $\rho_c$ : 2.85 g/cm<sup>3</sup>,  $\rho_m$  3.37 g/cm<sup>3</sup>,  $t$ : 35.9 km).

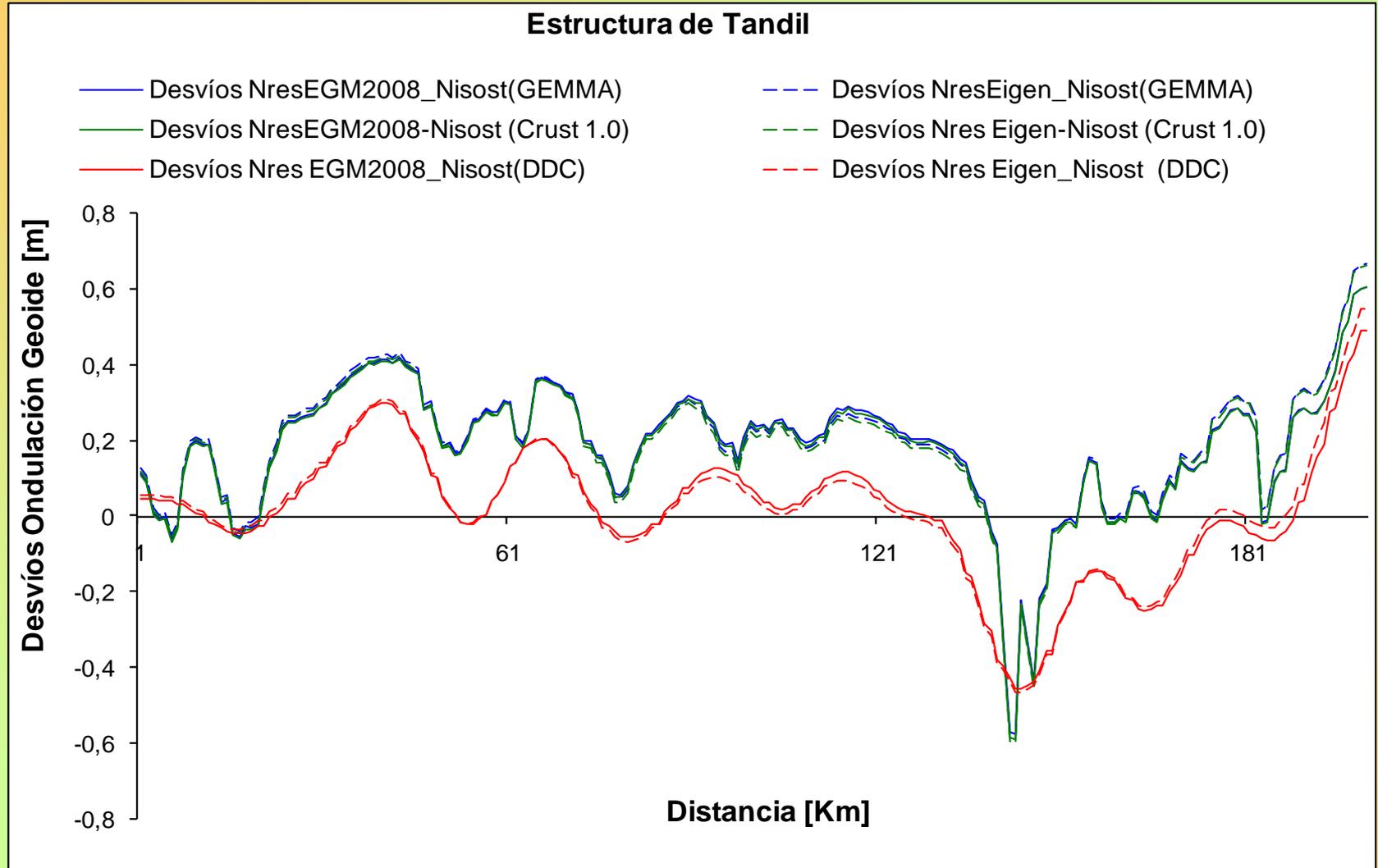
	$N_{\text{isost-GEMMA}}$	$N_{\text{isost-CRUST 1.0}}$	$N_{\text{isost-Local}}$
Máximo [m]	1,81	1,83	1,69
Mínimo [m]	0,53	0,53	0,65
Rango [m]	1,28	1,29	1,04
Promedio [m]	0,99	1,00	1,16
Desv. estándar [m]	±0.20	±0.20	±0.21

**Tabla 2.-** Resumen estadístico de la ondulación geoide isostático.

# ONDULACIÓN GEOIDE ISOSTÁTICO



# RESULTADOS



**Figura 2.-** Desvíos del modelo isostático con parámetros de corteza GEMMA, Crust 1.0 y DDC.

# RESULTADOS

Los resultados obtenidos se resumen en la Tabla 3, los cuales muestran el ajuste entre la ondulación del geoide isostático calculado con parámetros de corteza adoptados a partir de modelos globales y datos locales con respecto a la ondulación del geoide residual de los modelos EGM2008 y EIGEN 6C4.

	Desvíos EGM2008		Desvíos EIGEN 6C4	
	Promedio [m]	Desv.est.[m]	Promedio [m]	Desv.est.[m]
Parámetros ref. locales (DDC)	0.01	±0.17	0.02	±0.18
Parámetros ref. GEMMA	0.18	±0.17	0.19	±0.18
Parámetros ref. CRUST 1.0	0.17	±0.17	0.18	±0.18

**Tabla 3.-** Resumen estadístico de los desvíos entre geoide isostático y el geoide residual

# CONCLUSIONES

Los resultados muestran que el mejor ajuste se obtiene con un conjunto de parámetros corticales diferentes a los provistos por los citados modelos globales. La estadística calculada para el geoide residual arroja un promedio de 0.01 m, con una desviación estándar de  $\pm 0.17$  m (Infante, 2013). La significación del ajuste es analizada en base a los efectos que sobre el geoide produce la variación de algunos parámetros corticales.

Cuando los modelos GEMMA y CRUST 1.0 son utilizados, el promedio de los desvíos aumenta a 0.18 m y la desviación estándar se mantiene en los mismos valores. El comportamiento de ambos modelos corticales globales fue analizado además en otros cratones asociados a la estructura de Tandilia.

# CONCLUSIONES

Estos resultados ponen 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.

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

**MUCHAS GRACIAS!**

