



INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR  
**SIRGAS 2016 ECUADOR**  
Simposio y Taller



NOV-2016

**SIRGAS**  
ECUADOR



# 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>, Lucrecia Galván<sup>1</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



# OBJETIVO

**Emplear la información de las ondulaciones del geoide, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, para analizar las características corticales de la estructura de Sierras de la Ventana que se asume en equilibrio isostático.**



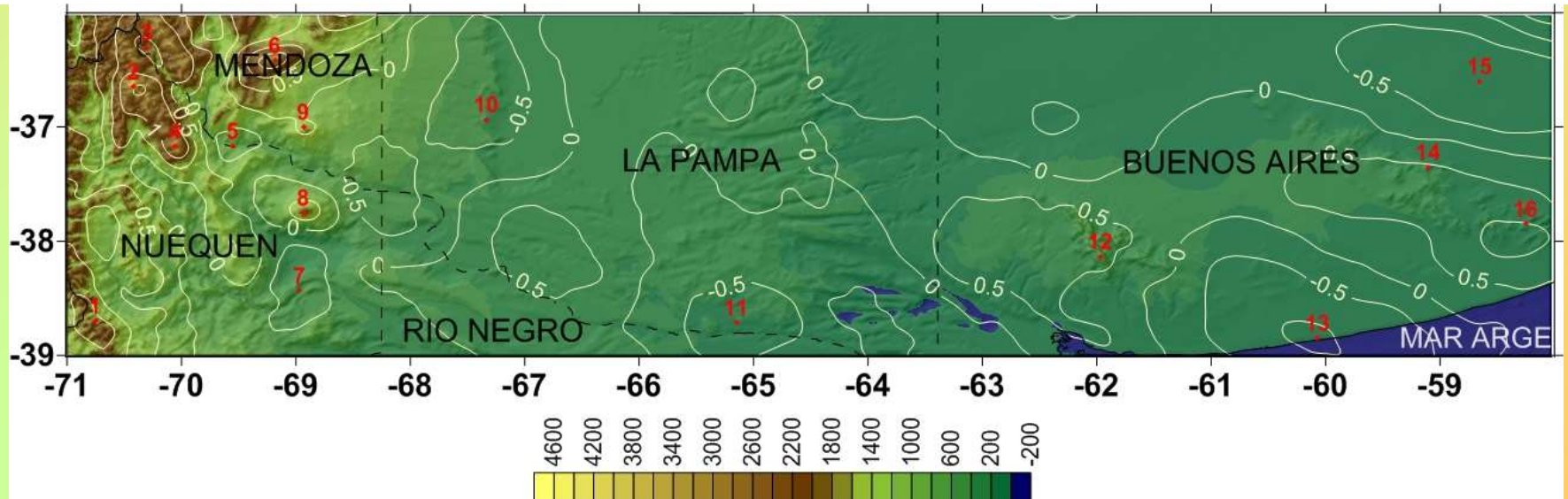
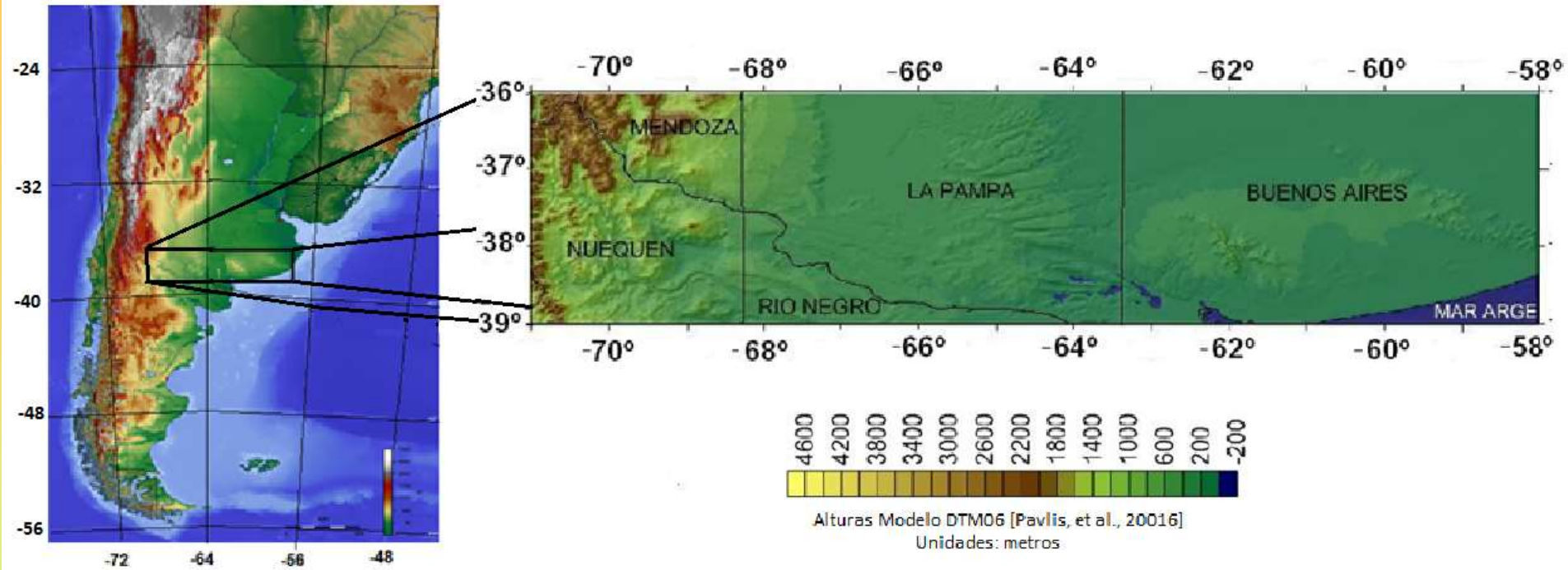
# INTRODUCCIÓN

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

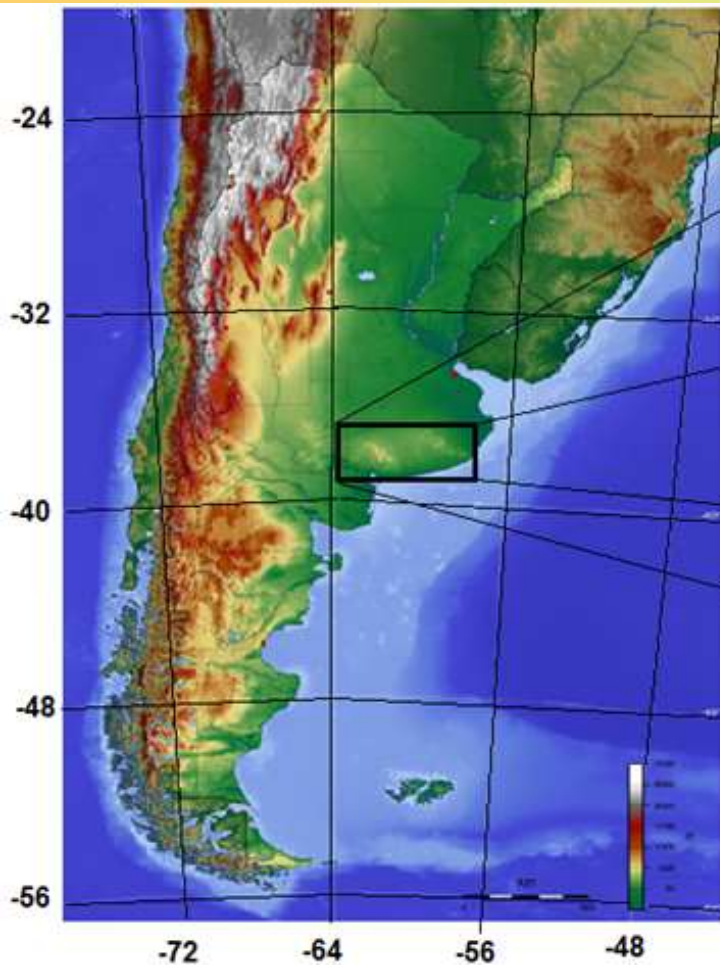
En este trabajo las **ondulaciones del geoide**, representadas a partir de modelos geopotenciales modernos, son convenientemente filtradas para poner en evidencia la estructura de Sierras de la Ventana (**ondulación residual**).

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.

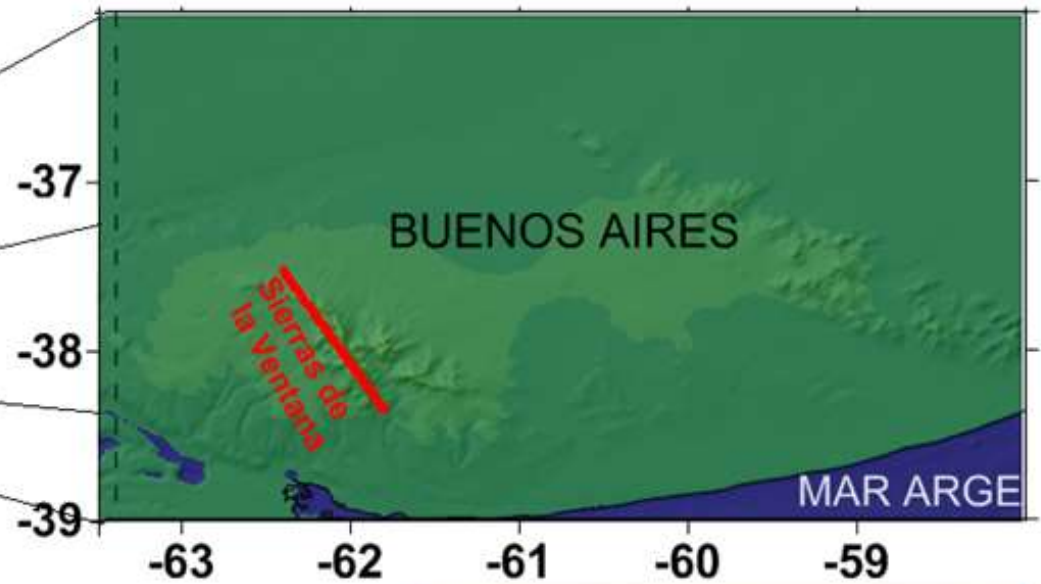
# ÁREA DE TRABAJO



# SELECCIÓN DE ESTRUCTURA GEOLOGICA



## Sierras de la Ventana- Buenos Aires- Argentina



Alturas: Modelo DTM06  
[Pavlis, et al., 2006]  
Unidades: metros



# MARCO TEÓRICO: ONDULACIÓN GEOIDE ISOSTÁTICO

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:

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

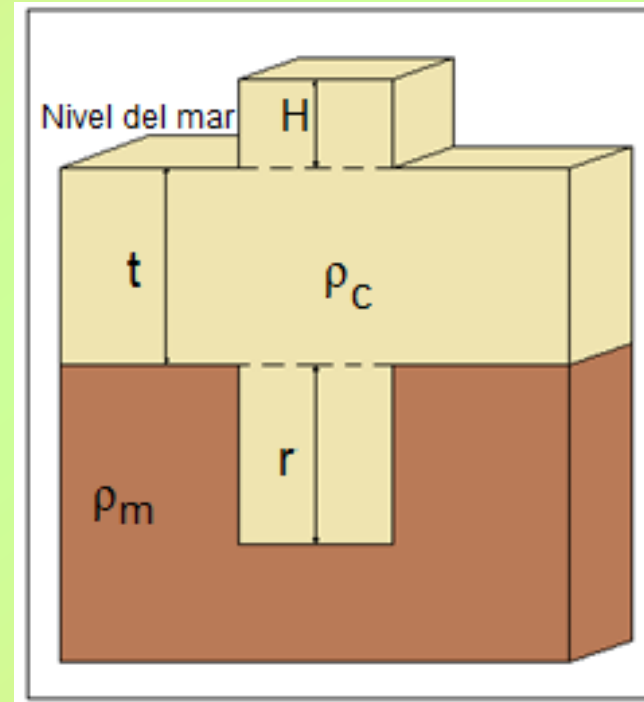
Se puede demostrar que el potencial perturbador isostático  $T_{isost}$  producido por la masa topográfica de una estructura de altura  $H$  y raíz  $r$  será:

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

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

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

(Haxby y Turcotte, 1978)



# METODOLOGÍA (1)

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:

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

$N_{mod}$ : geoide obs. obtenido MGG.

$N_{reg}$ : geoide regional

$N_{res}$ : *geoide residual*

$v_n$  los errores del modelo geopotencial.

En una situación de equilibrio isostático, se verifica que:

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

$v_I$  representa los desvíos del modelo isostático.

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:

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

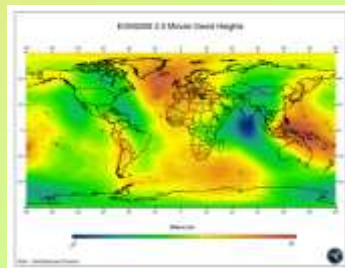
# DATOS UTILIZADOS

## Geoide Residual

### 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.

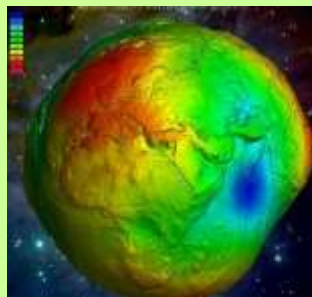
Datos usados: combinación de datos GRACE con base de datos de anomalías gravimétricas de aire libre en una grilla de 5 minutos de arco.



### 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.



Ecuación:

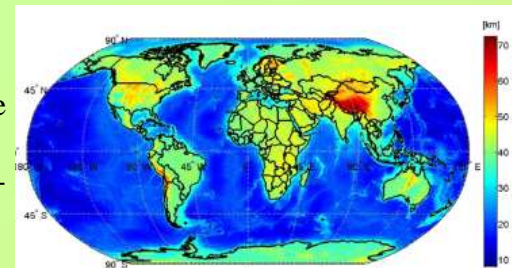
$$N_{res} = N_{mod(Gr2190)} - N_{reg(Gr120)}$$

## Geoide Isostático

### GEMMA (*GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications*)

(Sampietro, et al., 2013)

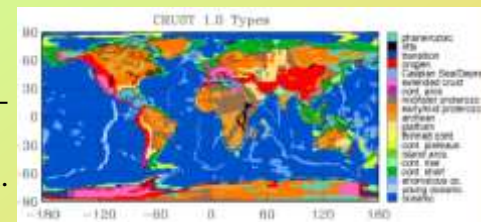
El objetivo es estimar el límite entre la corteza terrestre y el manto (la llamada discontinuidad de Mohorovičić o Moho) a partir de datos de GOCE.



### 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 veloc.Pn.



Ecuación:

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

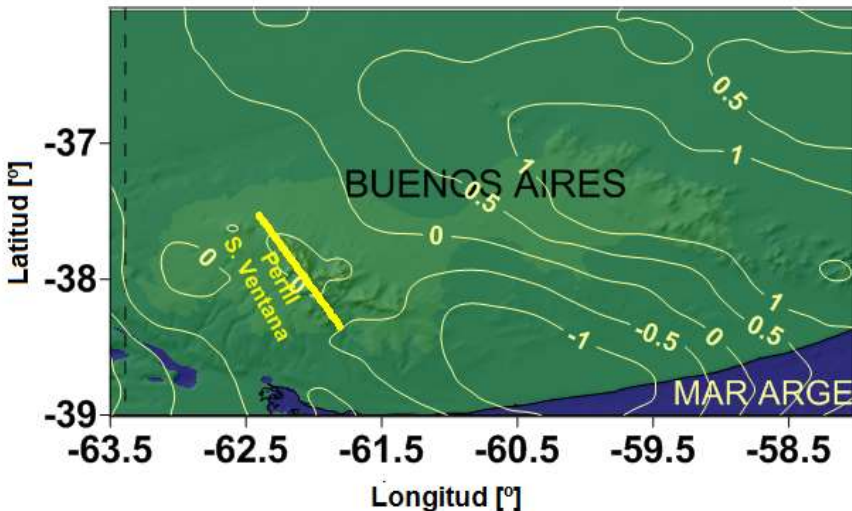
Cálculo de los desvíos:

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

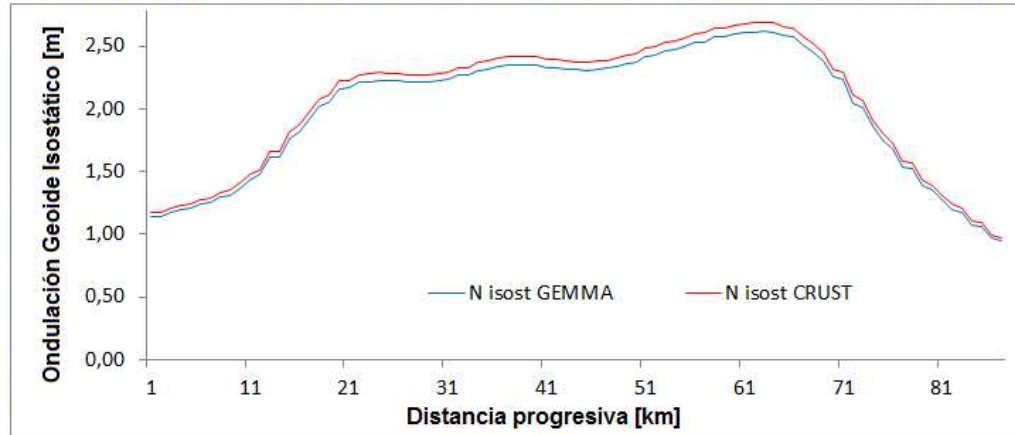


# RESULTADOS (1)

ONDULACION GEOIDE RESIDUAL



GEOIDE ISOSTÁTICO PERFIL ESTRUCTURA DE LA VENTANA

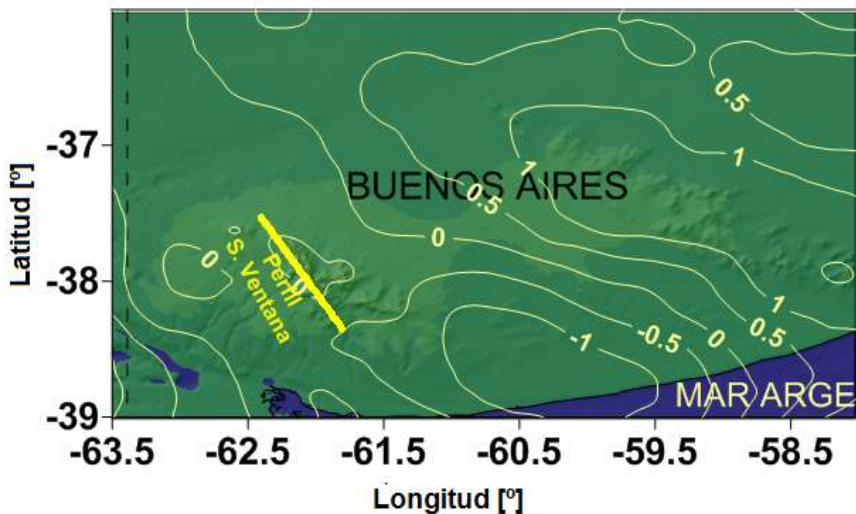


	$N_{\text{isost-GEMMA}}$	$N_{\text{isost-CRUST1.0}}$
Máximo [m]	2,62	2,69
Mínimo [m]	0,95	0,97
Rango [m]	1,67	1,72
Promedio [m]	2,02	2,08
Desv. estándar [m]	$\pm 0.51$	$\pm 0.52$

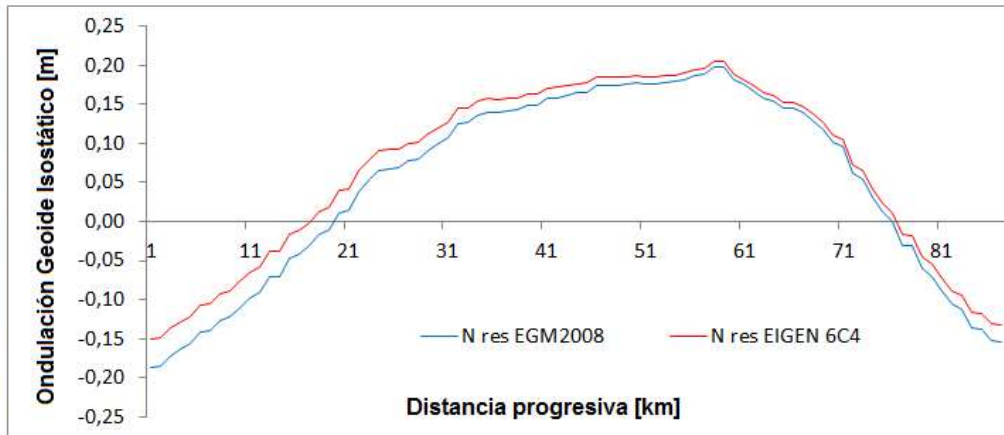
**Tabla 1.-** Resumen estadístico de la ondulación **geoide isostático**.

# RESULTADOS (2)

ONDULACION GEOIDE RESIDUAL



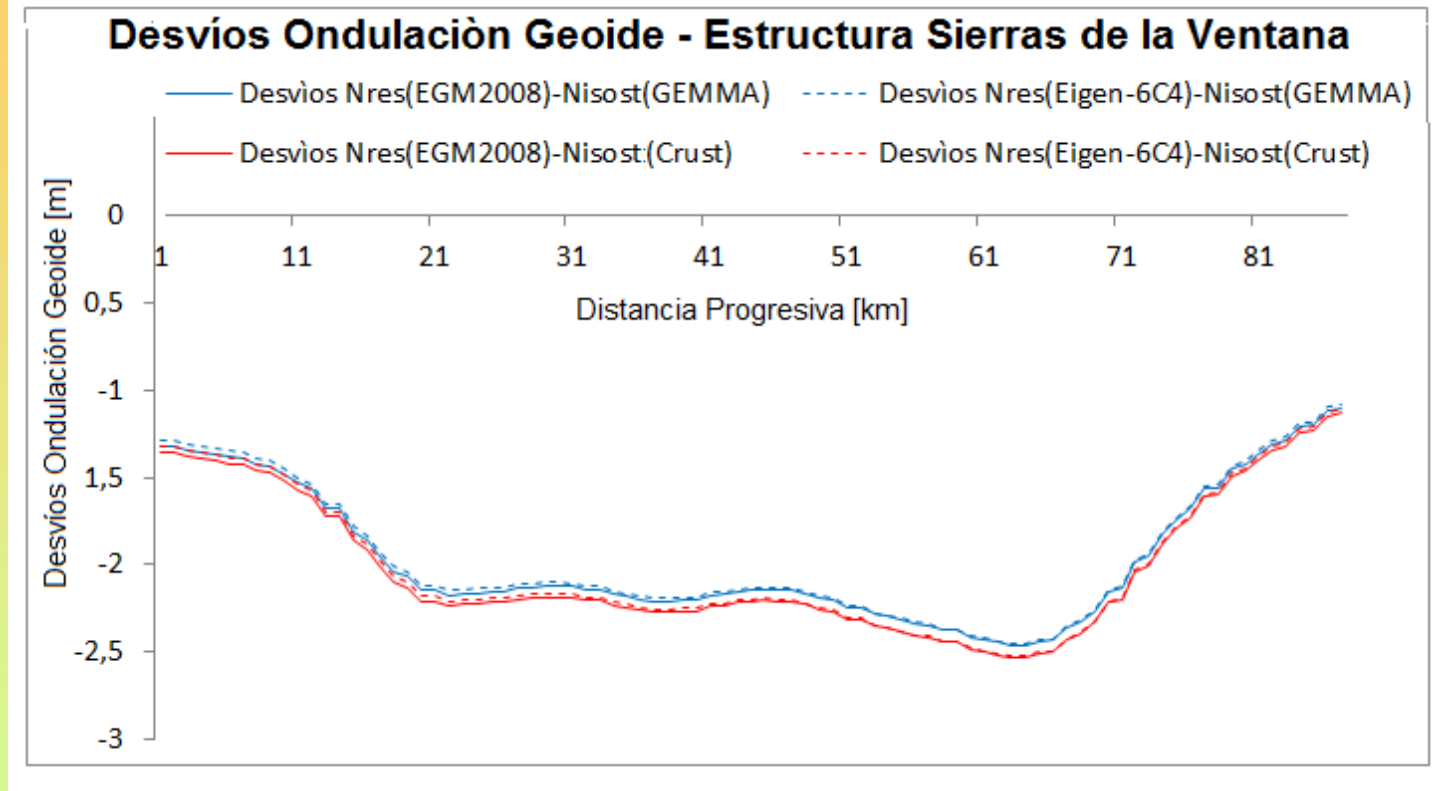
GEOIDE RESIDUAL PERFIL ESTRUCTURA DE LA VENTANA



	$N_{\text{res-EGM2008}}$	$N_{\text{res-EIGEN 6C4}}$
Máximo [m]	0,20	0,19
Mínimo [m]	-0,19	-0,15
Rango [m]	0,39	0,34
Promedio [m]	0,05	0,07
Desv. estándar [m]	$\pm 0.12$	$\pm 0.11$

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

# RESULTADOS (3)

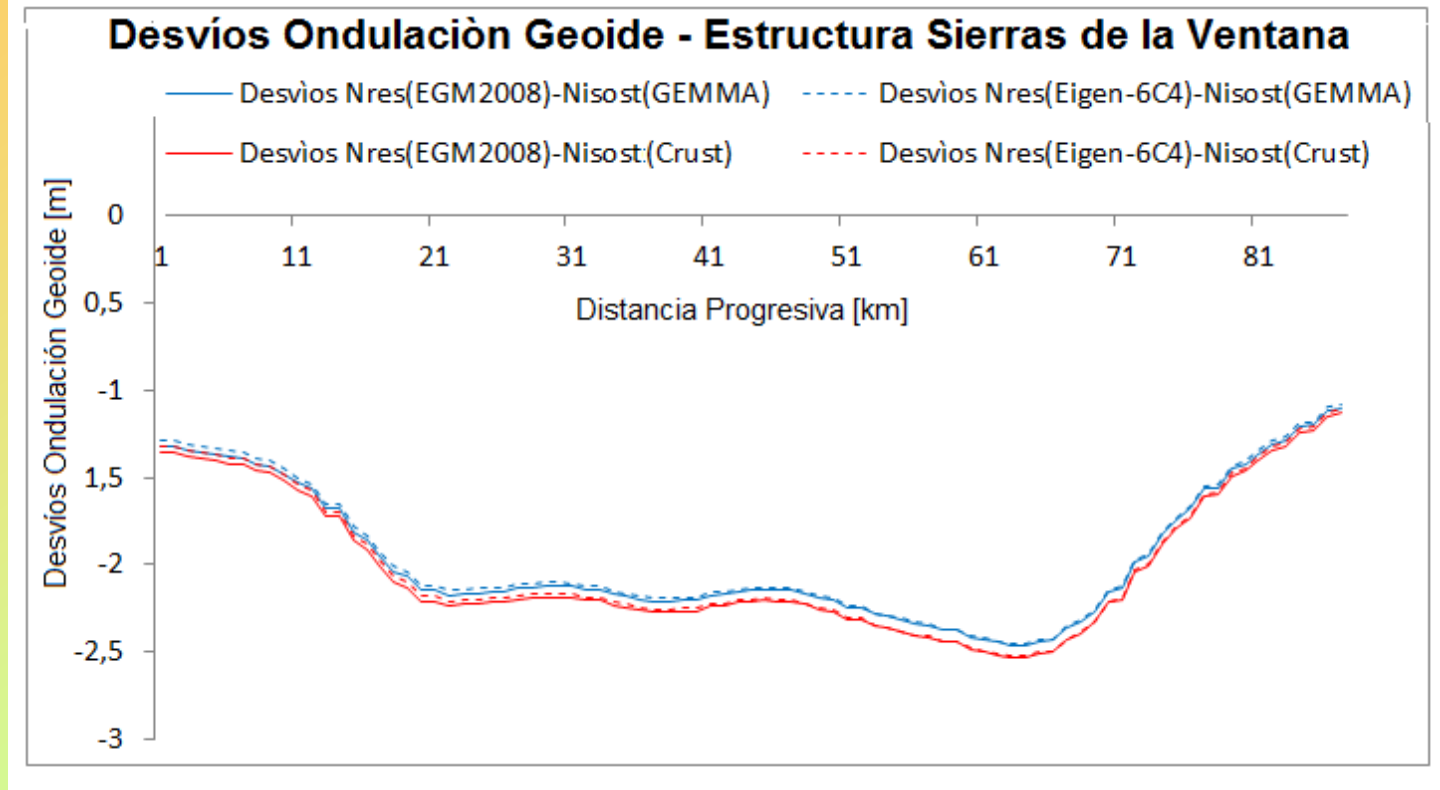


**Figura 4.-** Desvíos modelo isostático c/parámetros corteza GEMMA, y CRUST 1.0 respecto del geode residual EGM2008 y Eigen-6C4.

	Desvíos EGM2008		Desvíos EIGEN 6C4	
	Promedio [m]	Desv.est.[m]	Promedio [m]	Desv.est.[m]
Parámetros ref. GEMMA	-1,97	±0.39	-1,95	±0.40
Parámetros ref. CRUST 1.0	-2,03	±0.41	-0,21	±0,41

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

# RESULTADOS (4)



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

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 determinación** (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.

# CONCLUSIONES (1)

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

Analizando la estructura de las Sierras de la Ventana en el sistema de Airy, se obtuvo un geoide 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.



# CONCLUSIONES (2)

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.

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.



**MUCHAS GRACIAS!**

