

Avances en la modelización de las variaciones  
no lineales en la componente vertical  
de estaciones SIRGAS-CON  
causadas por fenómenos de carga

Romina Galván,

Mauricio Gende & Claudio Brunini

Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP  
Grupo GESA, Argentina  
CONICET



Facultad de Ciencias  
**Astronómicas  
Y Geofísicas**  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



Reunión SIRGAS, Chile, 2012



# Contenidos

- 1 Problemas actuales de los marcos de referencia
- 2 Objetivos
- 3 Fuentes de información
- 4 Modelado analítico
- 5 Resultados
- 6 Resumen y conclusiones

## Problemas actuales de los marcos de referencia

En cuanto a la determinación cinématica de los marcos de referencia utilizando soluciones multianuales acumuladas:

- ▶ El cálculo de velocidades constantes (movimientos lineales de las estaciones) es insuficiente para representar la cinemática real del marco de referencia. Se requiere del análisis y modelado de los movimientos no lineales (**Cinemática del marco de referencia SIRGAS, Reunión 2011, Sanchez L. et al.**).
- ▶ La realización de los marcos de referencia por coordenadas de época y velocidades constantes no es adecuado. Se debe buscar un método alternativo (**Los servicios científicos de la IAG y el marco de referencia ITRF, Reunión 2011, Drewes, H.**).

# Causas de las variaciones temporales periódicas no lineales de las coordenadas

- ▶ Variaciones temporales estacionales por efectos climáticos (deformaciones por carga atmosférica e hidrológica),
- ▶ Variaciones de períodos largos por efectos hidrológicos (sequedad, variación del agua subterránea)
- ▶ Variaciones a largo plazo, por ej. por efectos hidrológicos (carga, extracción de agua o petróleo, etc.),

¡los cambios lineales de las coordenadas no son verdaderos!

# Objetivos

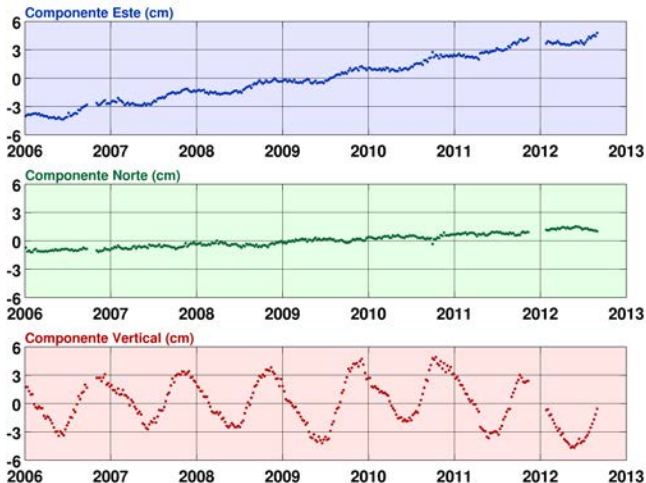
Mejorar la modelización de las deformaciones verticales de la corteza terrestre en respuesta a las variaciones temporales estacionales de la carga superficial.

# Fuentes de Información

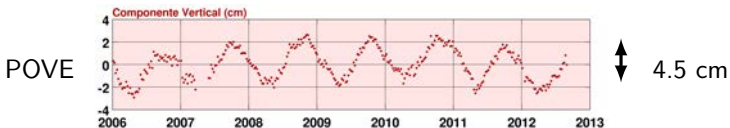
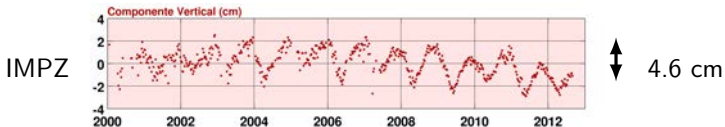
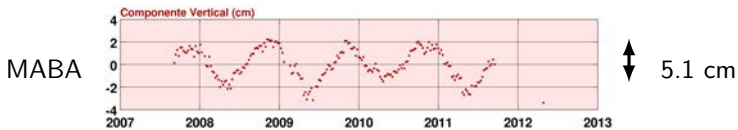
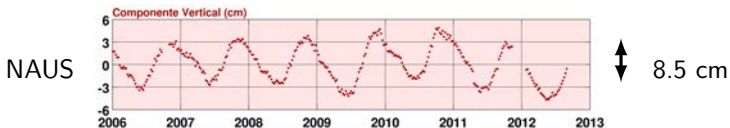
- ▶ Series temporales de **soluciones semanales de coordenadas SIRGAS**, en particular la componente vertical para caracterizar las variaciones temporales de la superficie terrestre.
- ▶ Grillas globales de **altura de agua equivalente** obtenidas por la misión satelital GRACE para caracterizar las variaciones temporales de la carga superficial.

# Series temporales de soluciones semanales de coordenadas SIRGAS

Estación NAUS



# Ejemplos de variaciones temporales periódicas no lineales



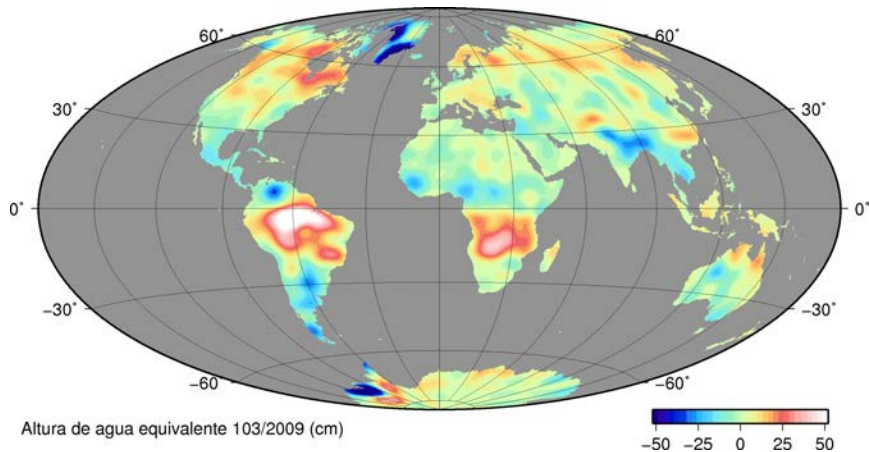


# Misión satelital GRACE

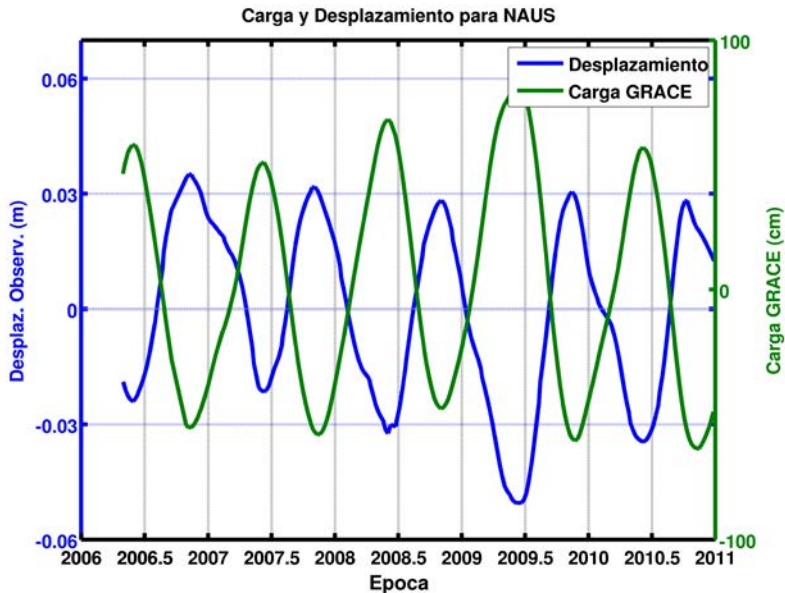


1. Misión desarrollada por la NASA, utiliza 2 satélites idénticos situados en la misma órbita, separados 220 km. entre sí.
2. Los cambios de gravedad terrestre ejercen una atracción sobre ellos a medida que se van desplazando y se mide con extrema precisión la distancia relativa entre ellos.
3. Se obtiene un mapa mensual global del campo de gravedad terrestre.
4. **Se observan fenómenos de transporte de masa.**

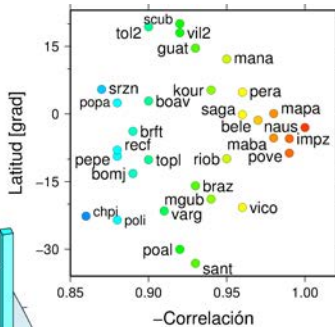
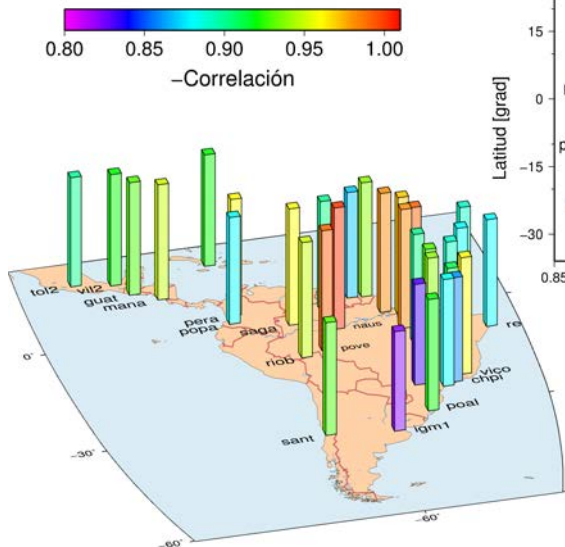
# Alturas de agua equivalente globales



# Comparación de ambas señales suavizadas



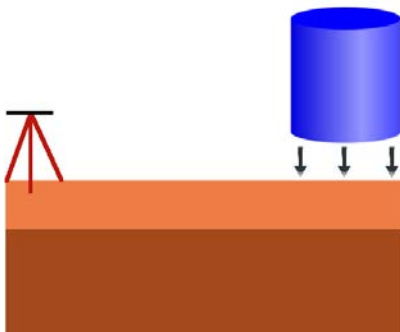
# Correlaciones entre desplazamientos verticales y carga de agua



# Modelado analítico

$$\text{Deformación}(x, t) = \int F(\psi_{P,Q})m(x, t)dm \quad (1)$$

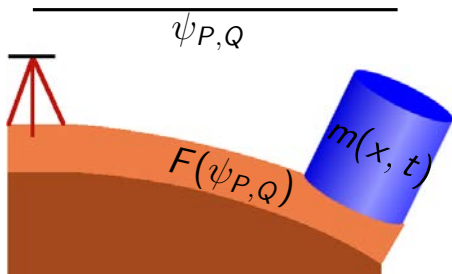
- ▶  $F(\psi_{P,Q})$  tiene que ver con las características corticales
- ▶  $m(x, t)$  tiene que ver con la carga que afecta la región



## Modelado analítico

$$\text{Deformación}(x, t) = \int F(\psi_{P,Q})m(x, t)dm \quad (1)$$

- ▶  $F(\psi_{P,Q})$  tiene que ver con las características corticales
- ▶  $m(x, t)$  tiene que ver con la carga que afecta la región

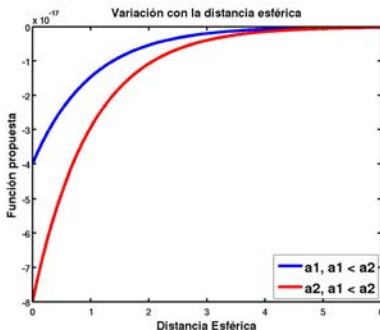


## Modelado analítico

$$F(\psi_{P,Q}) = 10^{-17} * a * \exp(-b * \psi_{P,Q}) \quad (2)$$

¿Qué significado tienen los parámetros  $a$  y  $b$ ?

$a$  proporciona una medida del desplazamiento vertical con el que respondería una celda vertical de un metro cuadrado de superficie de la corteza terrestre, bajo una carga de 1 kg.

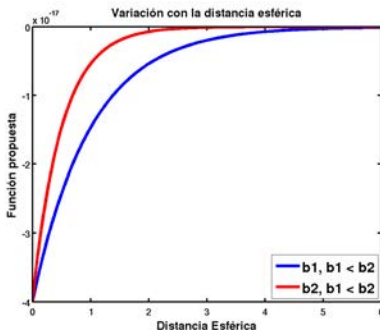


## Modelado analítico

$$F(\psi_{P,Q}) = 10^{-17} * a * \exp(-b * \psi_{P,Q}) \quad (2)$$

¿Qué significado tienen los parámetros  $a$  y  $b$ ?

$b$  determina la rapidez con que decae la influencia que ejercen las celdas aledañas a aquella en que se calcula la deformación, y está asociado con la densidad promedio de las masas corticales.

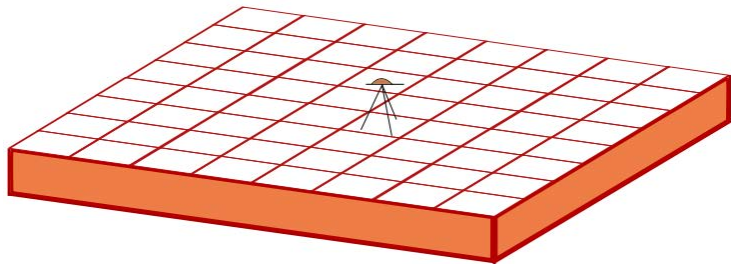




## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

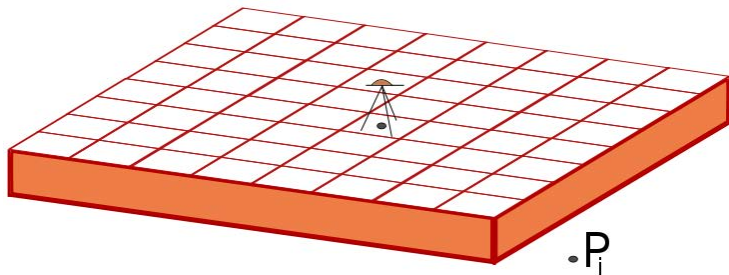
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

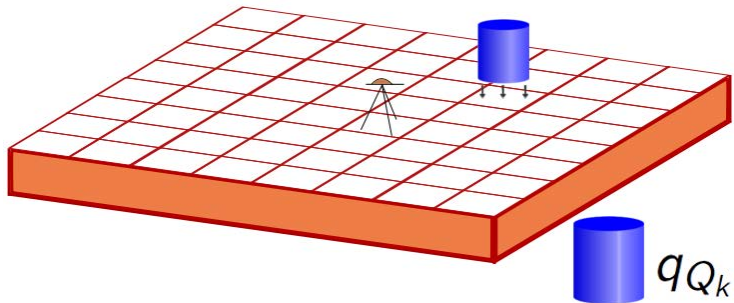
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

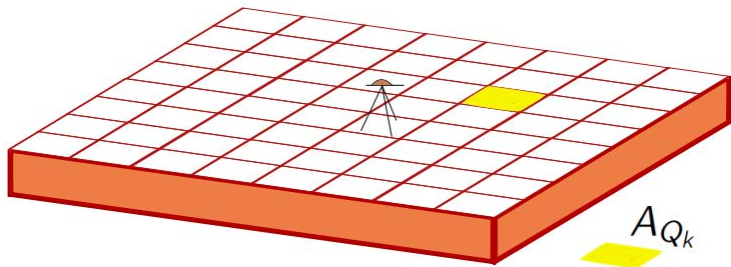
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

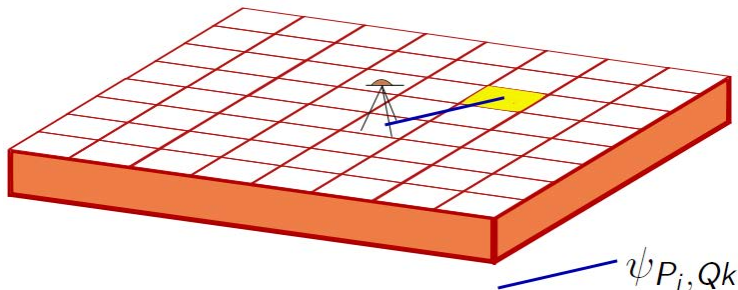
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

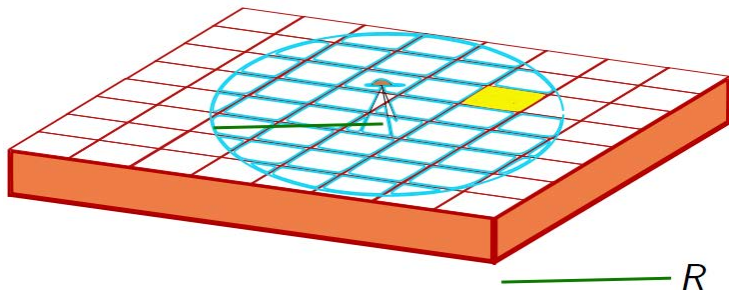
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



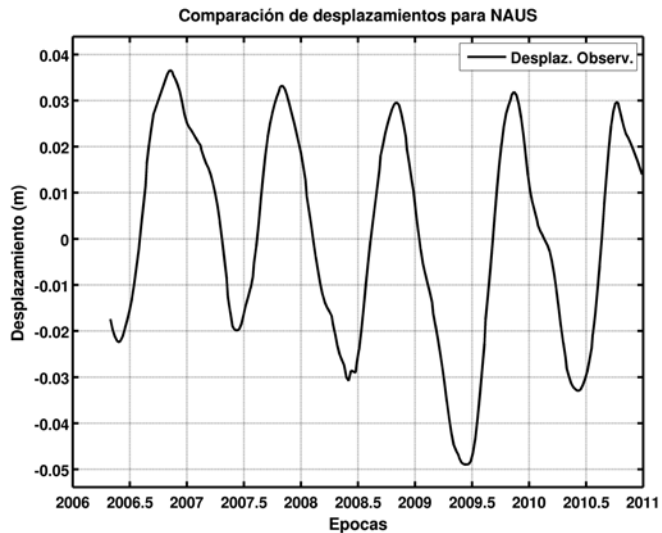
## Modelado Analítico

Se propone utilizar una función de Green aproximada, parametrizada con coeficientes empíricos dependientes de la región donde se calcula la deformación. En forma matemática se propone la función

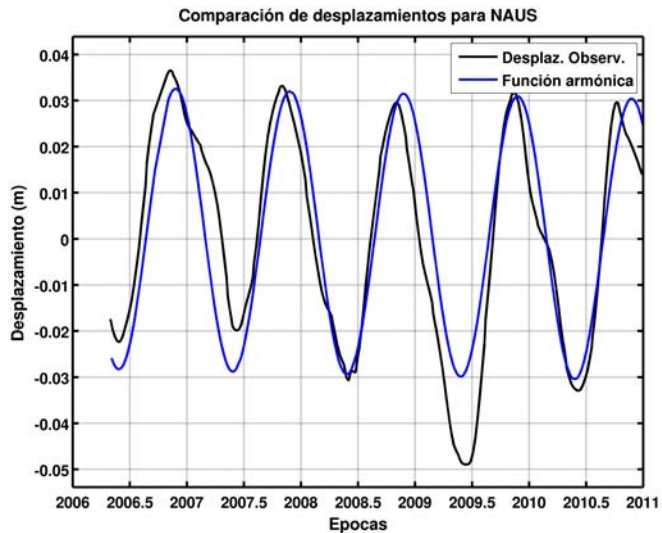
$$d(P_i) = 10^{-17} * \sum_{k/\psi < R} q_{Q_k} * A_{Q_k} * [a_{i,k} * \exp(-b_{i,k} * \psi_{P_i, Q_k})] \quad (3)$$



# Desplazamiento vertical observado en NAUS

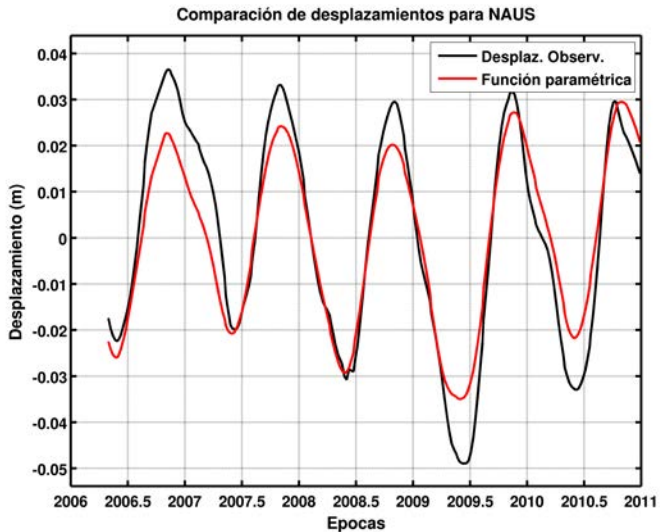


# Comparación con función matemática pura

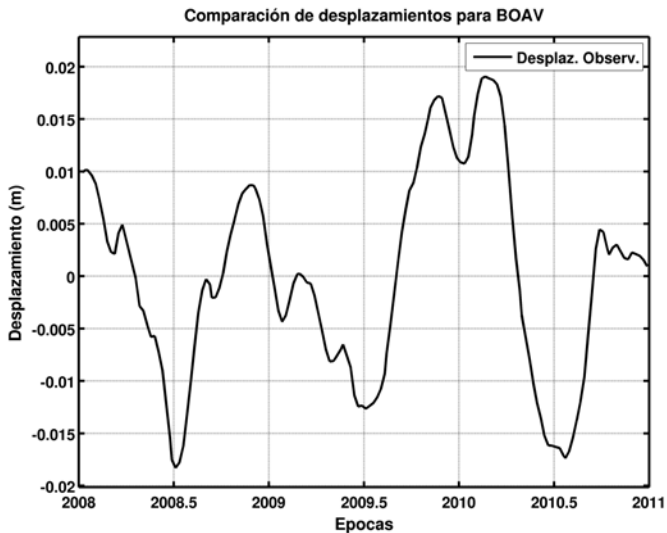




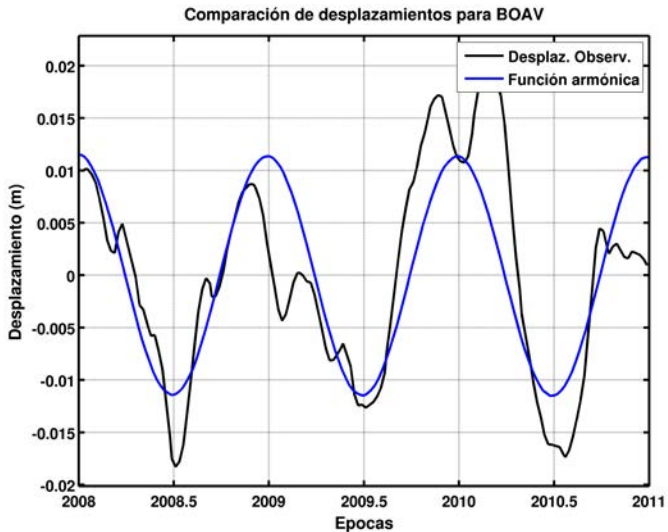
# Comparación con función modelada



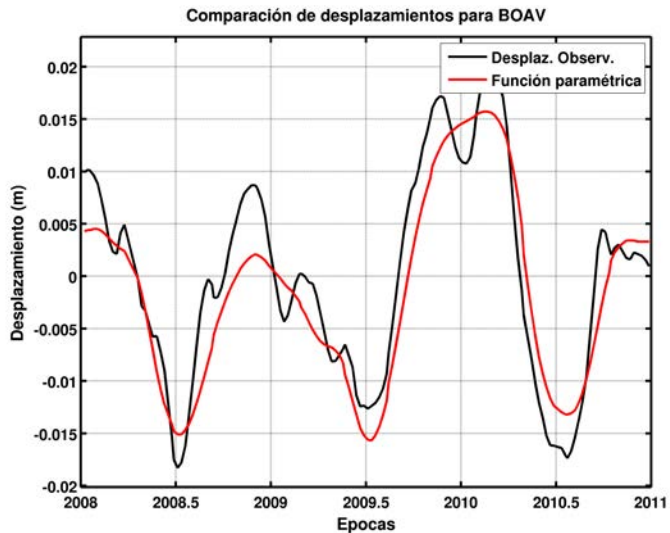
# Desplazamiento vertical observado en BOAV

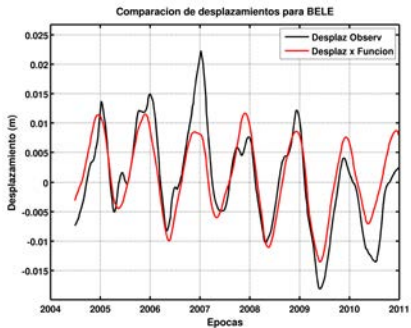
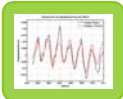


# Comparación con función matemática pura

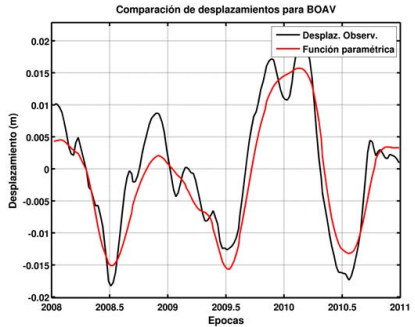
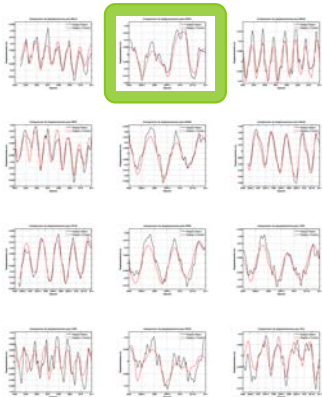


# Comparación con función modelada

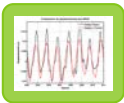




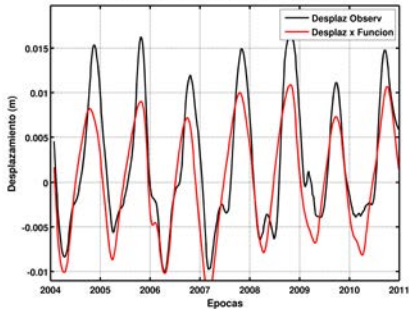
▶ siguiente



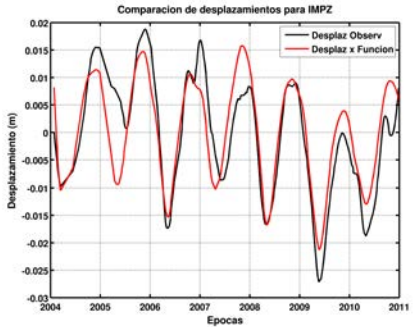
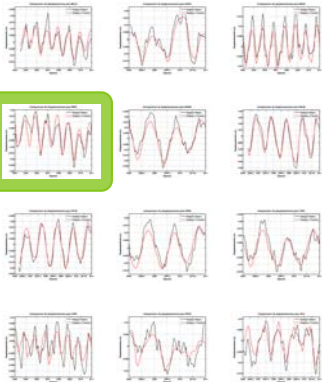
▶ siguiente



Comparacion de desplazamientos para BRAZ

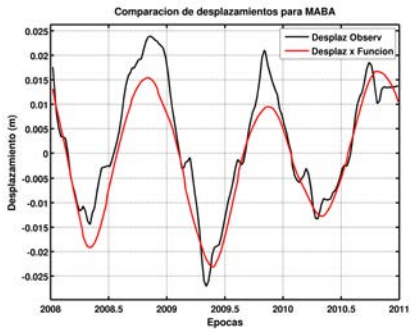
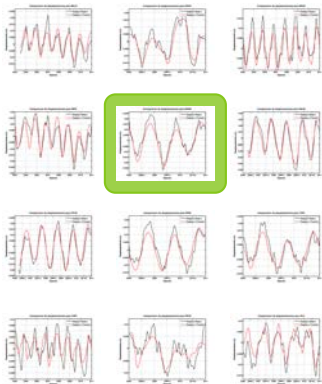


▶ siguiente

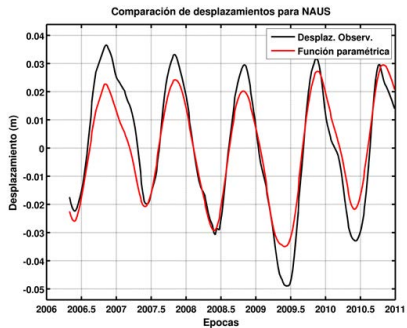
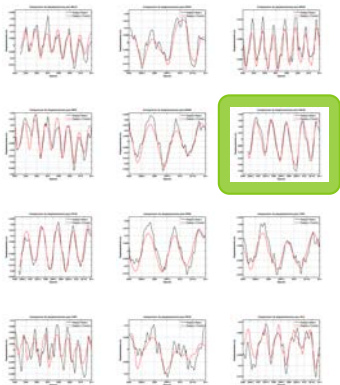


▶ siguiente

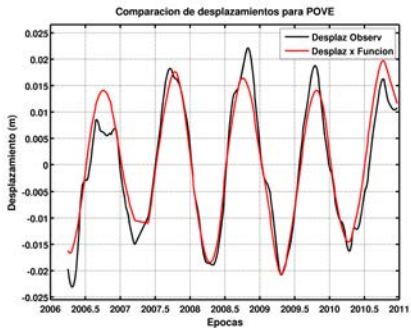
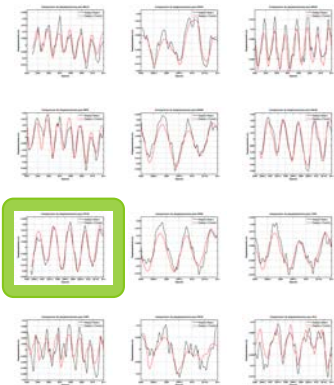




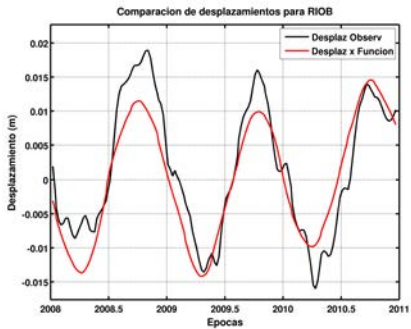
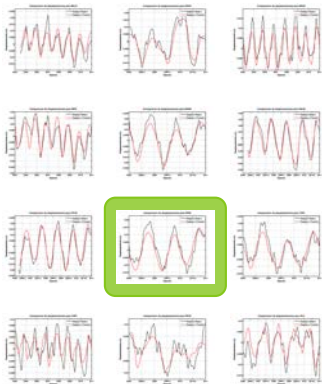
▶ siguiente



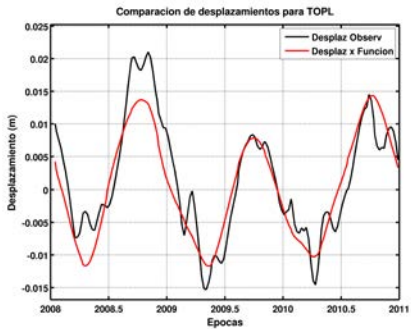
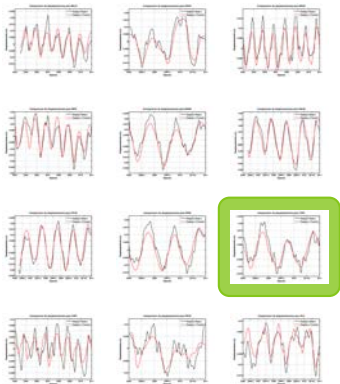
▶ siguiente



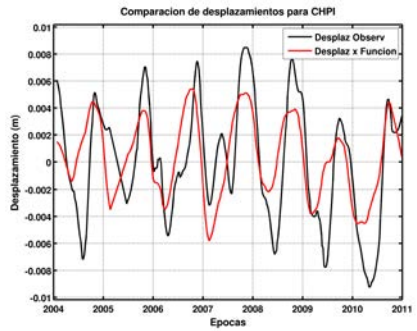
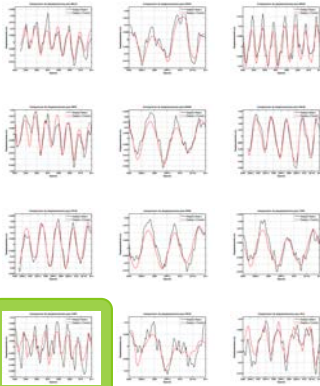
▶ siguiente



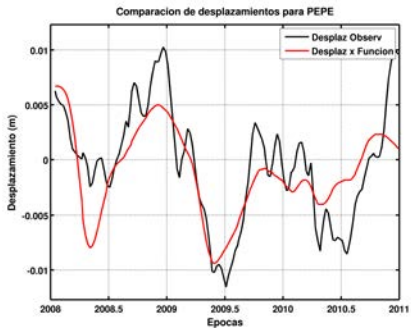
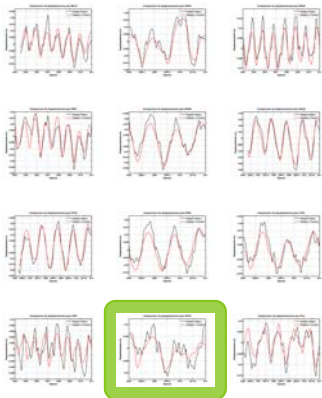
▶ siguiente



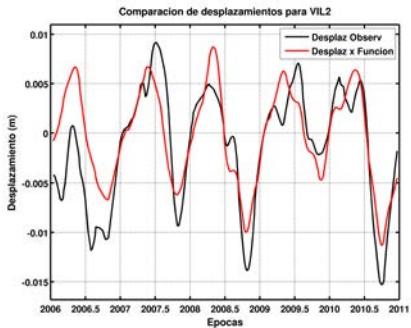
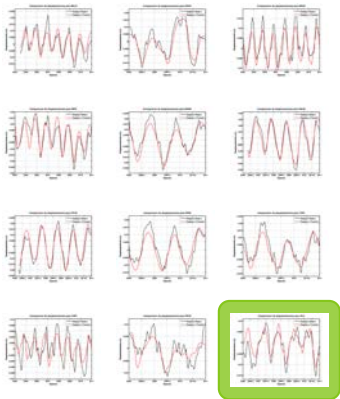
▶ siguiente



▶ siguiente



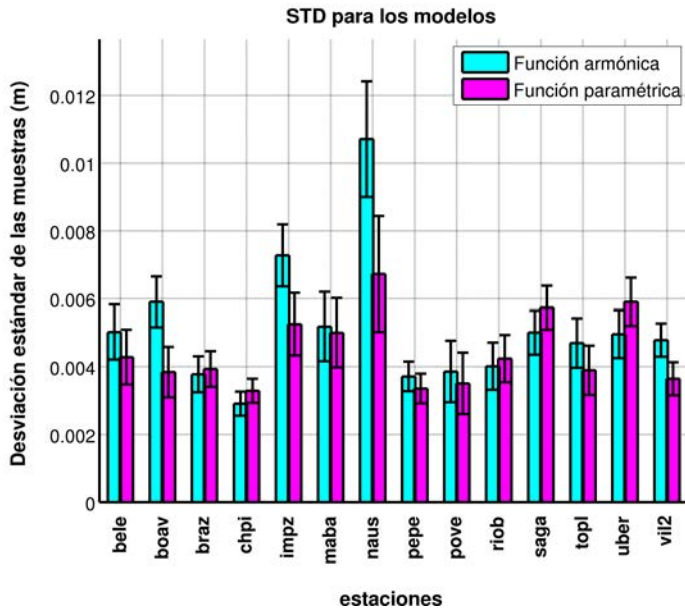
▶ siguiente



▶ siguiente



# Comparación con función modelada



## Resumen y conclusiones I

- ▶ Se propuso modelar las variaciones estacionales no lineales de las coordenadas a través de una función paramétrica dependiente de las características corticales de la región de estudio y de la carga superficial.
- ▶ Como fuente de datos se contó con las variaciones en la componente vertical de estaciones de la red SIRGAS-CON y grillas globales de carga superficial de la misión GRACE.
- ▶ Se eligieron, para un primer estudio, estaciones SIRGAS que no tuvieran saltos episódicos y cuya correlación con la señal de carga fuera inferior a  $-0.9$ , esto es, que estuvieran altamente anticorrelacionadas.
- ▶ El modelado obtenido se comparó con el ajuste de una función armónica simple estacional.

## Resumen y conclusiones II

- ▶ Para el caso de estaciones con un comportamiento armónico fuerte, los resultados obtenidos fueron similares a los logrados con una función armónica.
- ▶ Para estaciones con un comportamiento no armónico se logró mejorar visiblemente el modelado.
- ▶ Los desvíos estándar obtenidos son iguales o mejores que los hallados por el uso de una función armónica simple para el 100 % de las estaciones estudiadas.

# Referencias



Coordenadas semanales y velocidades, ©SIRGAS



Grillas globales de altura de agua equivalente, ©GRGS



Bruinsma, S., Lemoine, J.M., Biancale, R., et al.: 2010, *CNES/GRGS 10-day gravity field models (release 02) and their evaluation*, Vol 45, pp. 587-601, Adv. Space Res.



Seitz, F. y Krügel, M.: 2009, en Drewes, H. (eds.), *Inverse model approach for vertical load deformations in consideration of crustal inhomogeneities*, Vol. 134 en *IAG Symposia*, pp 23-29, Springer