

# Aplicación práctica de modelos de velocidades geodésicos

Demián Gómez<sup>1,2</sup>, Diego Piñón<sup>2,3</sup>, Robert Smalley<sup>1</sup> y Sergio Cimbaro<sup>2</sup>

*1. Center for Earthquake Research and Information, The University of Memphis*

*2. Instituto Geográfico Nacional, Argentina*

*3. Royal Melbourne Institute of Technology, Australia*

**Jornadas de Geociencias para la Ingeniería**

Septiembre 2015

THE UNIVERSITY OF  
**MEMPHIS**<sup>®</sup>



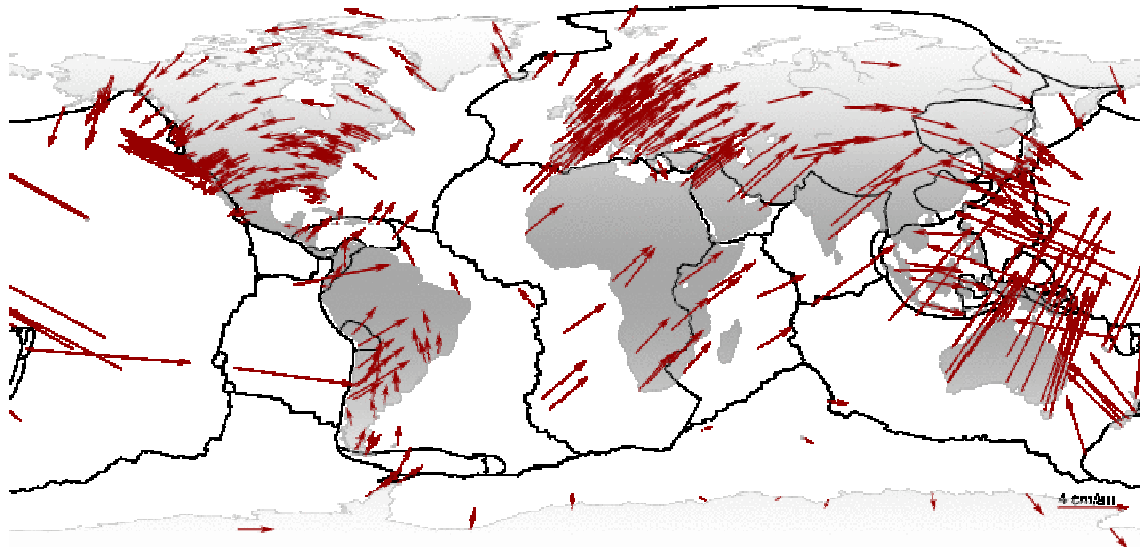
En colaboración con



# Introducción:

## Marcos de referencia y tectónica de placas

- GNSS: permite obtener coordenadas con precisiones milimétricas.
- Estas coordenadas se expresan en un marco de referencia de alta estabilidad.
- El marco global es sensible a las velocidades e interacciones entre las placas tectónicas => deben ser tenidas en cuenta.

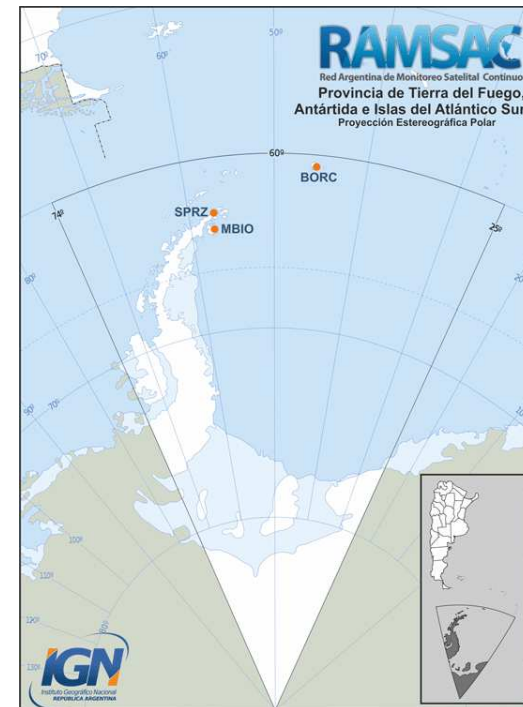
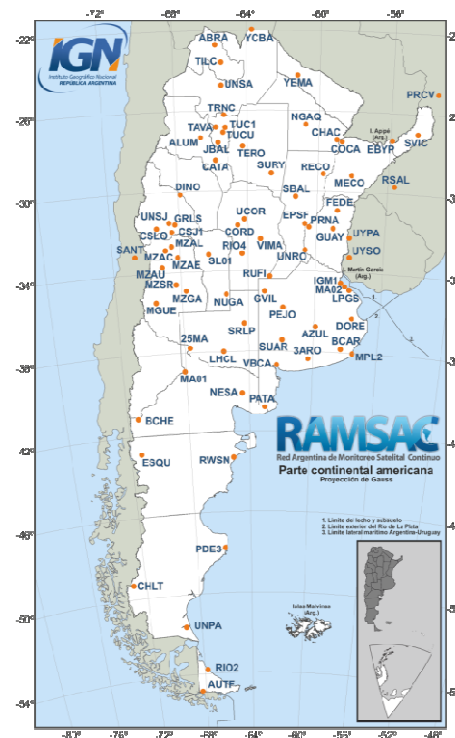


# Marco de referencia GNSS POSGAR07

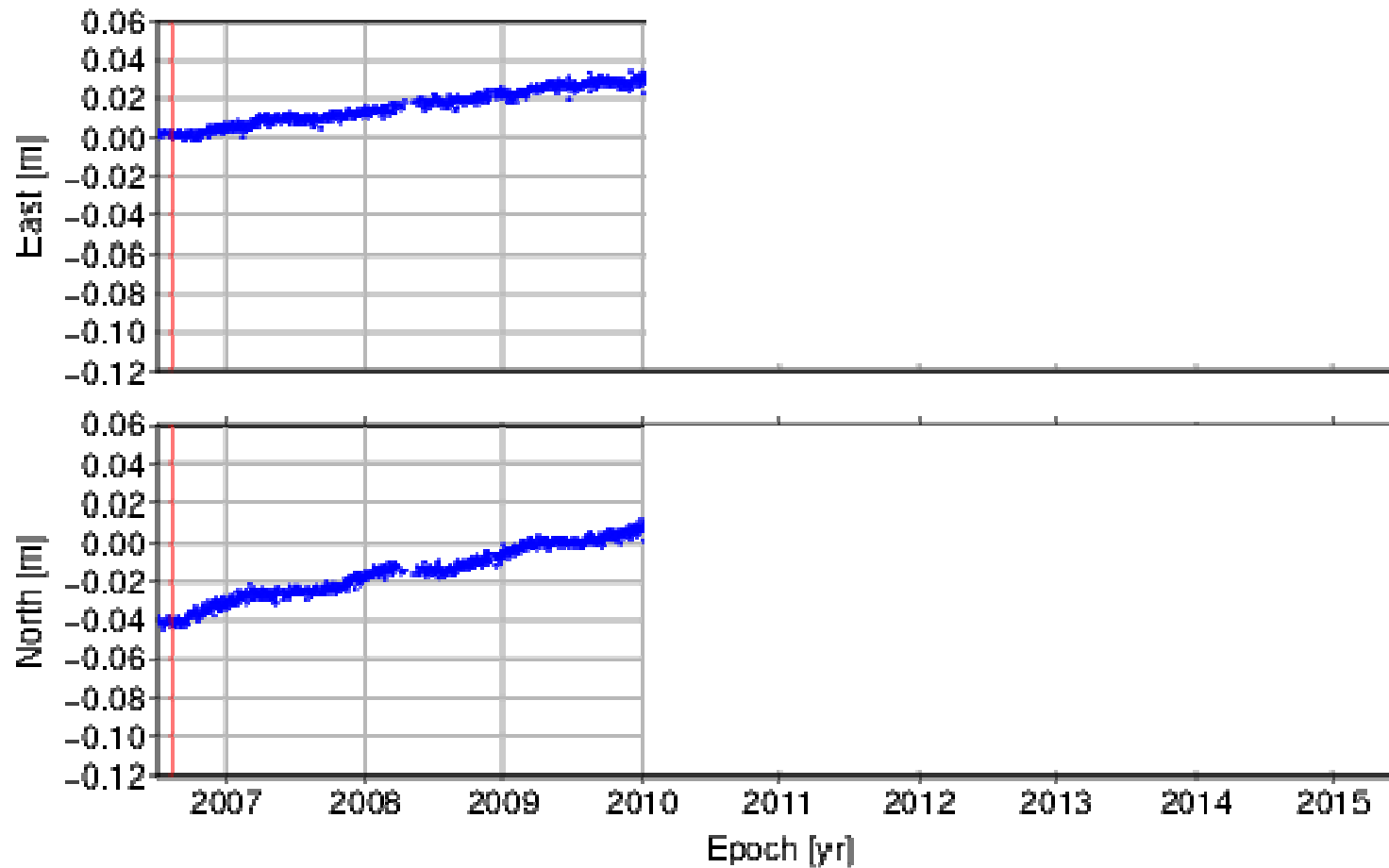
- POSGAR07 es el marco de referencia oficial de la República Argentina, basado en ITRF2005 (época 2006.632).
- Mantenido y materializado utilizando RAMSAC.

**POSGAR07**  
Posiciones Geodésicas Argentinas

**RAMSAC**  
Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo

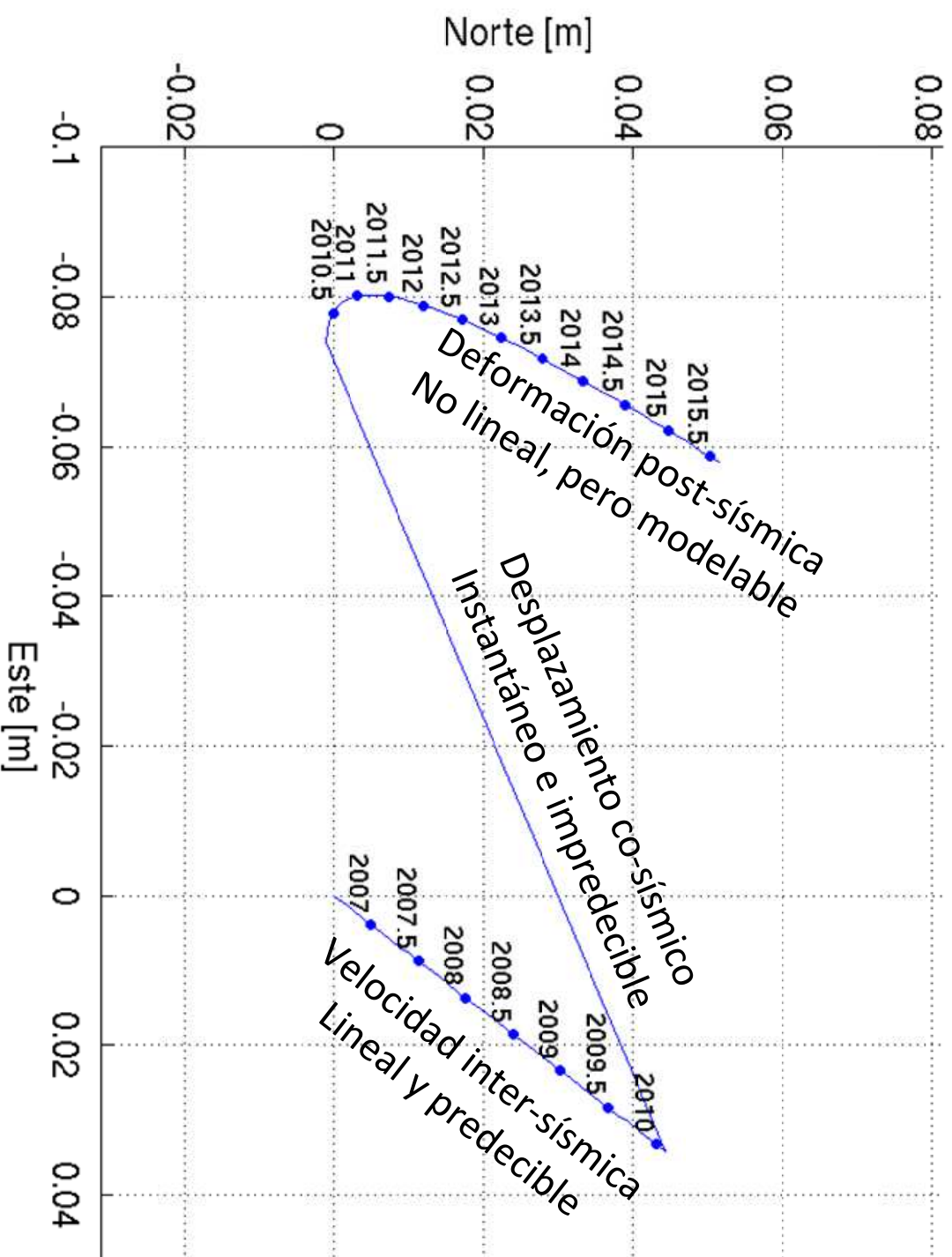


# Series de tiempo GNSS

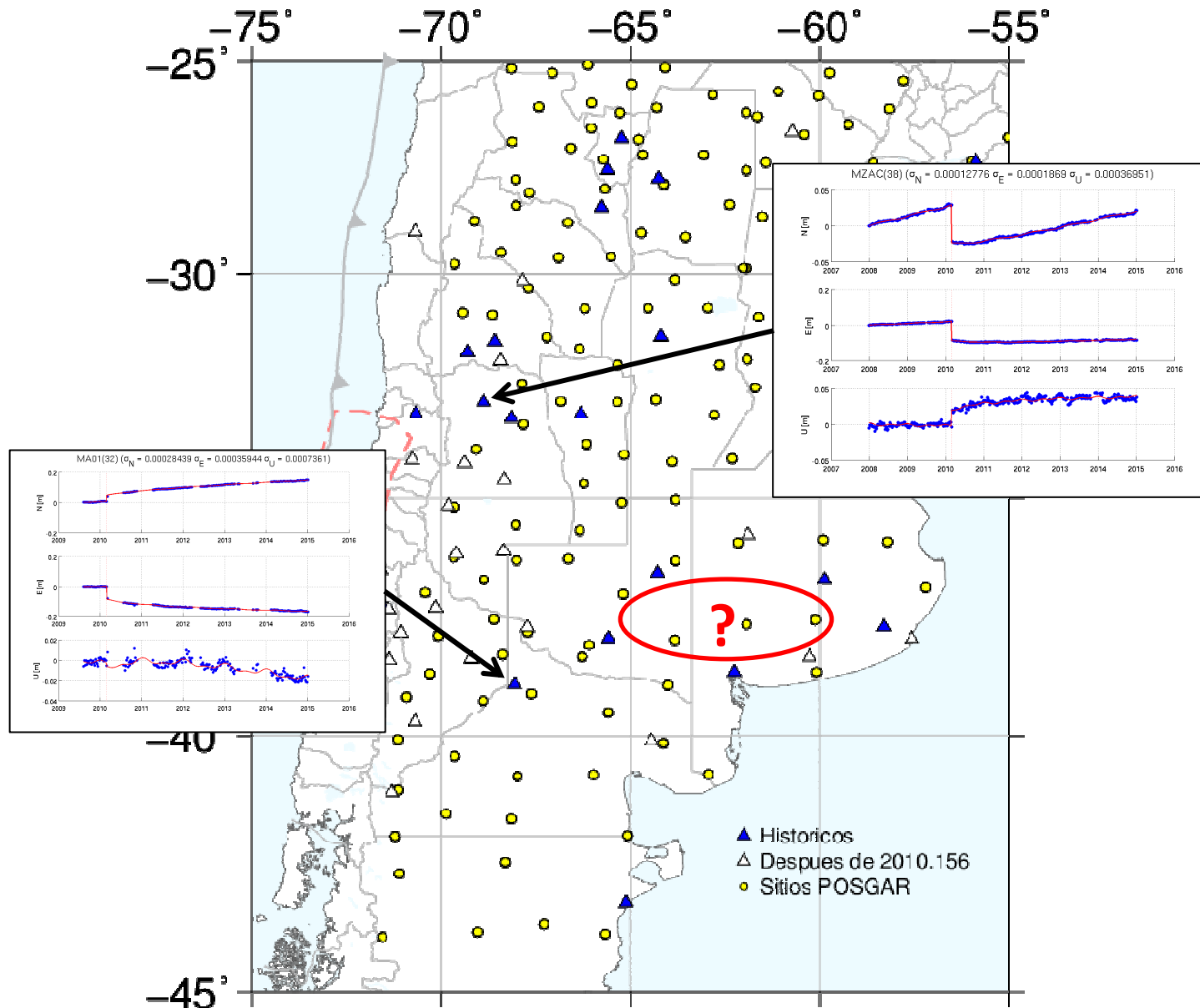


# Trayectorias GNSS (planimetría)

Trayectoria de MZAC



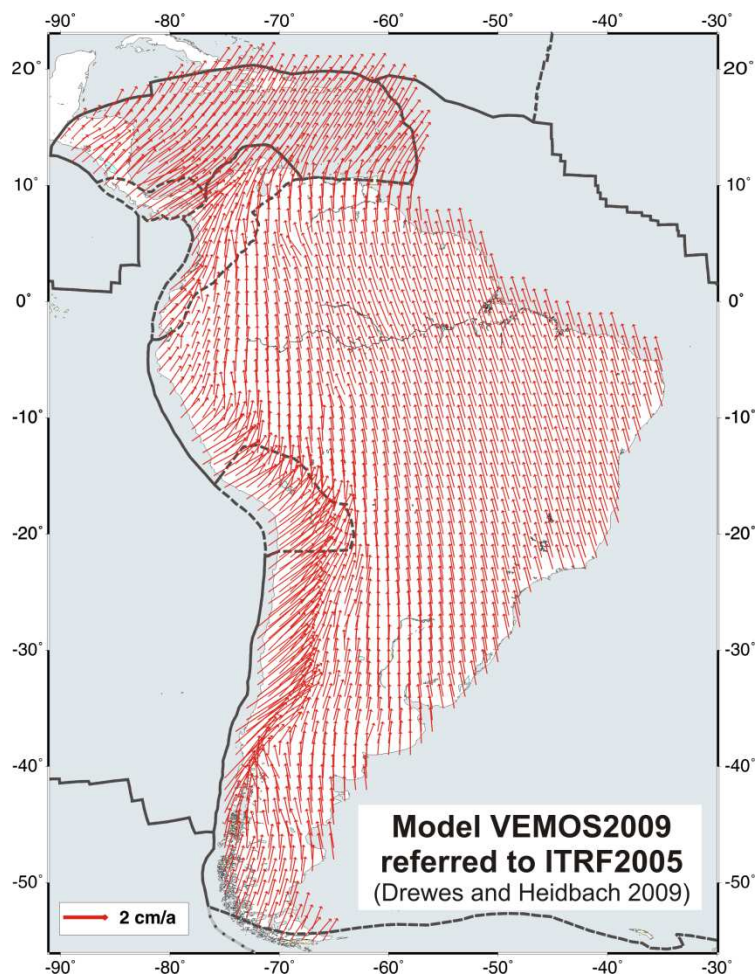
# Estado pre- y post-sismo de las coordenadas: solo cuantificable en sitios con monitoreo permanente



# Objetivos

- Definir un **modelo de predicción de trayectorias continuo en espacio y tiempo** que permita conocer el comportamiento de los puntos pasivos.
- Para ello debemos **transferir** una metodología utilizada en geofísica para la descomposición y análisis de **series de tiempo GNSS**.
- La definición de este modelo permitirá acceder a marcos de referencia geodésicos **luego de grandes sismos utilizando coordenadas post-sísmicas**.
- ¿Porqué es importante esto?
  - El sismo de 2010 en Maule, Chile, produjo desplazamientos y cambios en el comportamiento de las estaciones GNSS que deben ser cuantificados para ciertas aplicaciones de ingeniería.
  - Ejemplo: realización de una red geodésica para una obra de ingeniería en la Provincia de Neuquén.

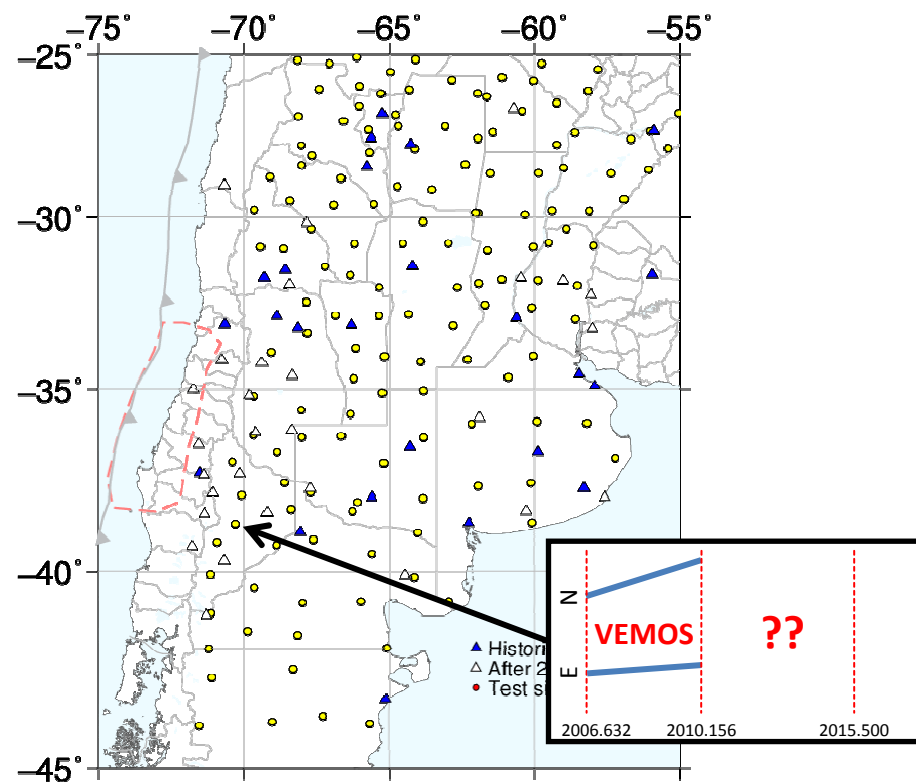
# Modelos de velocidad constante (VEMOS 2009)



Colocación por mínimos cuadrados

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}_R + \mathbf{p}(t - t_R) + \sum_{j=1}^{n_j} \mathbf{b}_j H(t - t_j)$$

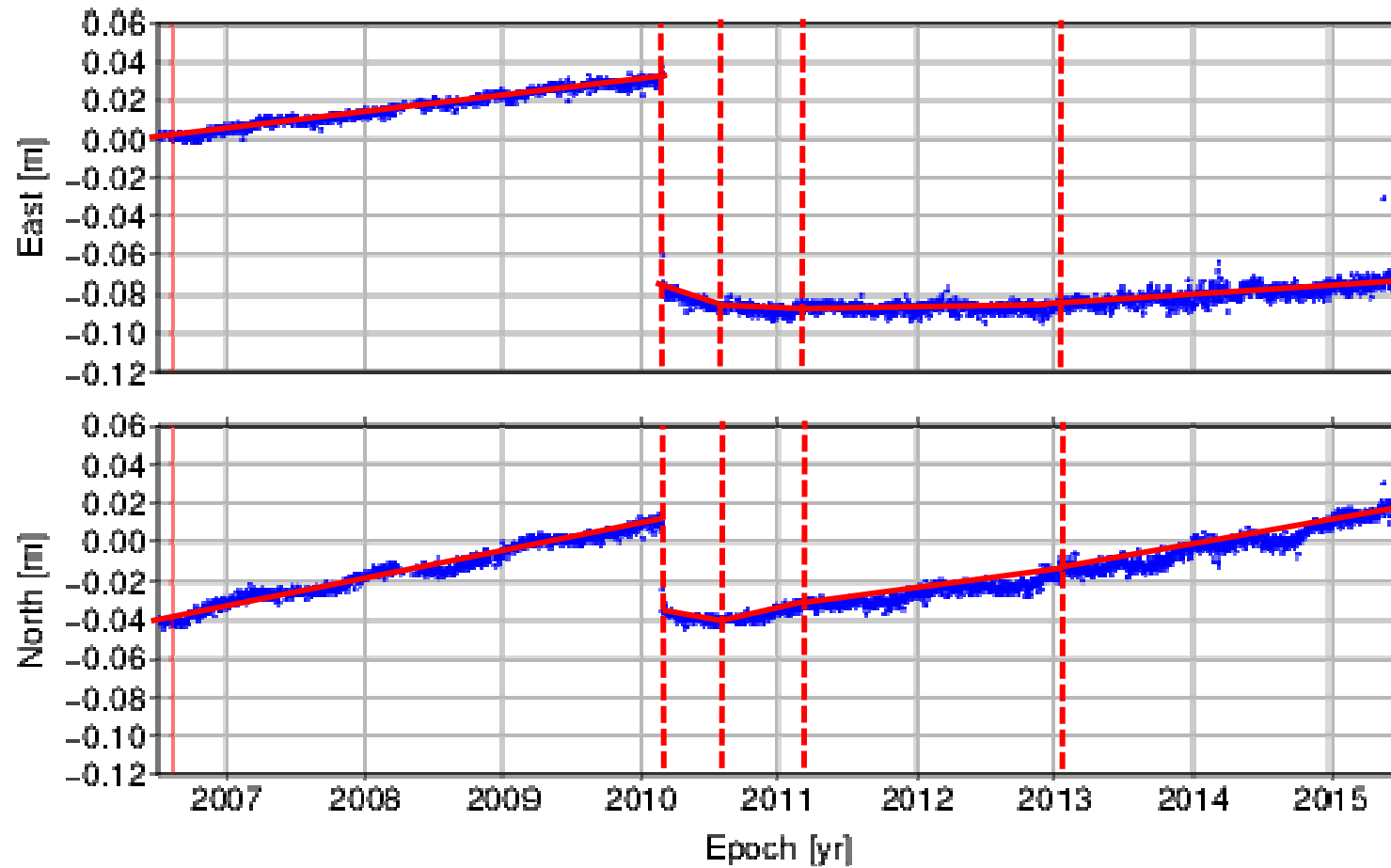
Bevis y Brown (2014)



¿Es posible generar un modelo de predicción de trayectorias con esta metodología?



# Predicción de trayectorias utilizando modelos de velocidad constante: partición de las series de tiempo

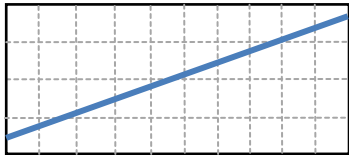


# Modelo extendido de trayectorias (MET)

- Metodología más general que permite modelar todas las componentes observadas en las series de tiempo.
- **VENTAJAS:**
  1. Produce modelos de trayectoria que pueden predecir la posición de una estación por más tiempo.
  2. Comparte la misma base que el modelo de velocidad constante => pueden utilizarse para actualizar otros modelos (por ej. los de velocidad constante).
- **DESVENTAJA:** Algunas de las componentes modeladas no son ortogonales entre sí, por lo que una componente puede ser “contaminada” por otra.

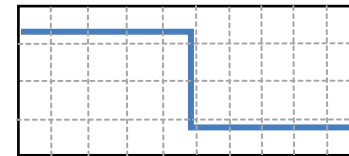
# Componentes modeladas por los modelos extendidos de trayectoria

$$\sum_{i=1}^{n_p+1} \mathbf{p}_i (t - t_R)^{i-1}$$



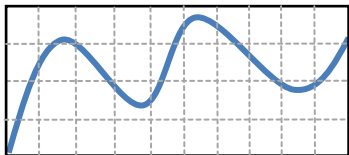
Lineal: desplazamiento tectónico

$$\sum_{j=1}^{n_j} \mathbf{b}_j H(t - t_j)$$



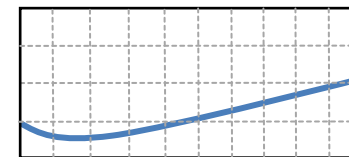
Salto: sismos, cambios de equipos

$$\sum_{k=1}^{n_F} \mathbf{s}_k \sin(\omega_k t) + \mathbf{c}_k \cos(\omega_k t)$$



Periódica: anuales, semianuales

$$\sum_{i=1}^{n_T} \mathbf{a}_i \log[1 + (t - t_{EQ})/T_i]$$



Logarítmicas: relajación visco-elástica

# Aplicación práctica del MET: Modelo continuo de predicción de trayectorias (MPT)

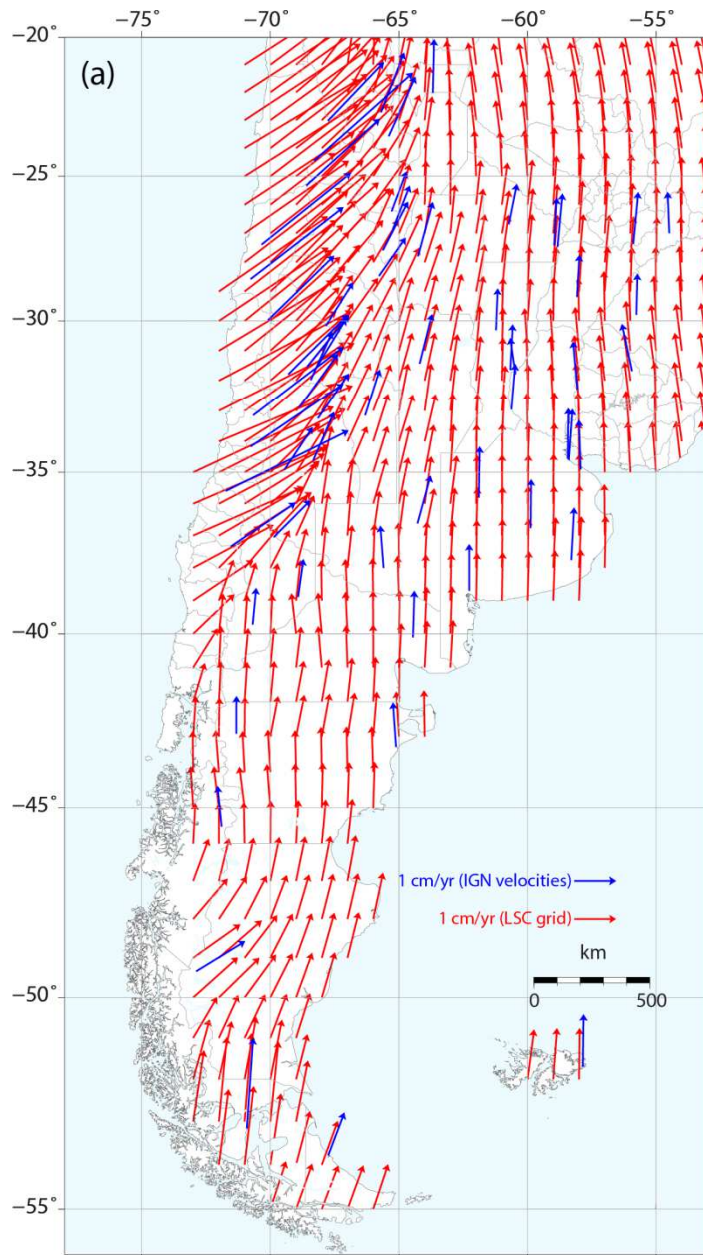
- Fijamos un parámetro único para la constante de relajación ( $T_i=0.5$  años) y descartamos las componentes periódicas,  $\mathbf{s}_k$  y  $\mathbf{c}_k$ , saltos por cambio de equipos y sismos,  $\mathbf{b}_j$ .
- Colocación por mínimos cuadrados de los parámetros de los MET ( $\mathbf{p}_i$  y  $\mathbf{a}_i$ ).

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^{n_p+1} \mathbf{p}_i (t - t_R)^{i-1} + \sum_{j=1}^{n_j} \mathbf{b}_j H(t - t_j) + \sum_{k=1}^{n_F} \mathbf{s}_k \sin(\omega_k t) + \mathbf{c}_k \cos(\omega_k t) + \sum_{i=1}^{n_T} \mathbf{a}_i \log[1 + (t - t_{EQ})/T_i]$$

Colocación  
Vel-Ar-Lin

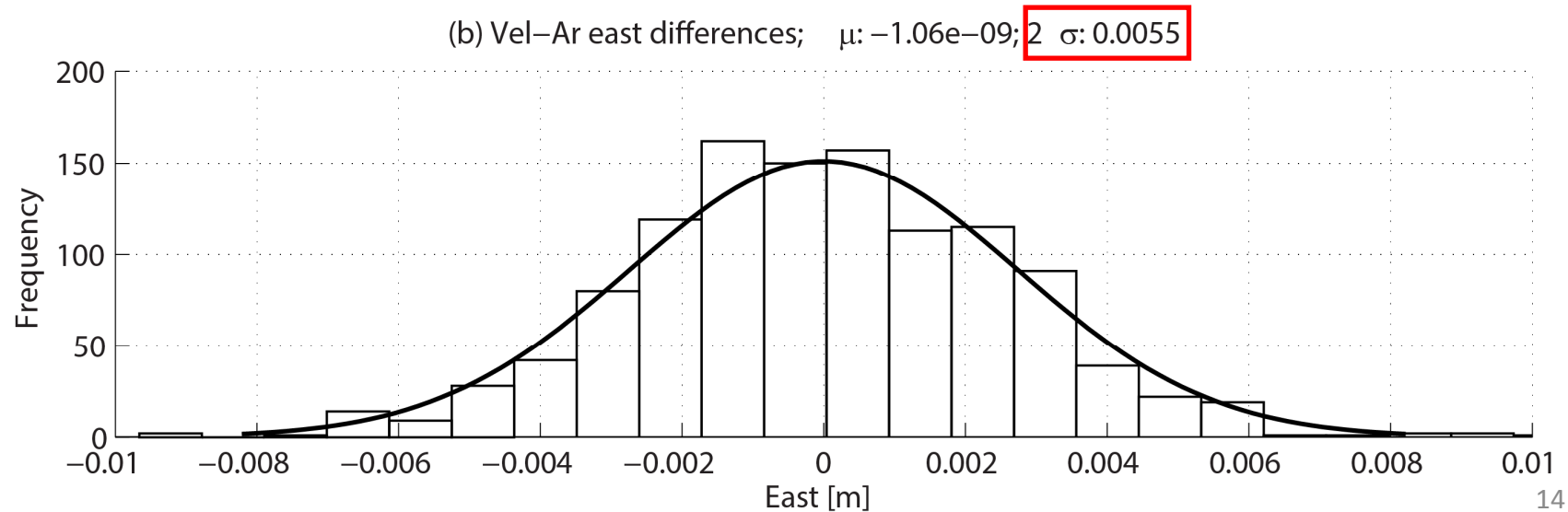
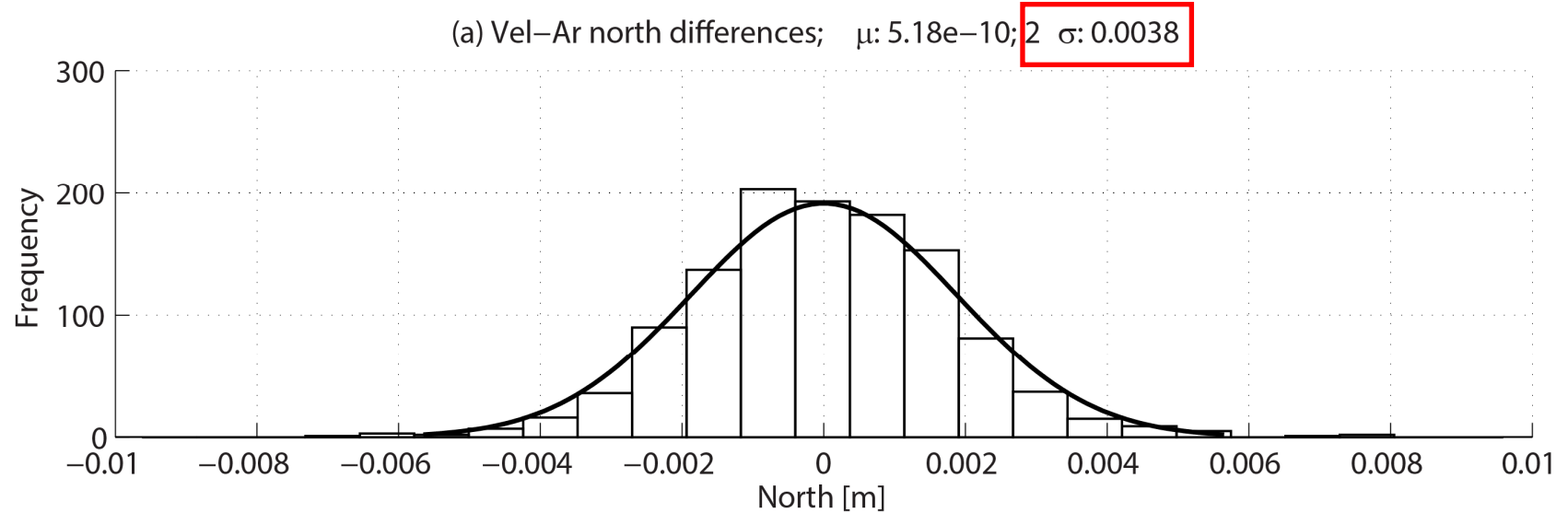
Colocación  
Vel-Ar-Log  
=0.5 años

# Componente Lineal: Vel-Ar-Lin

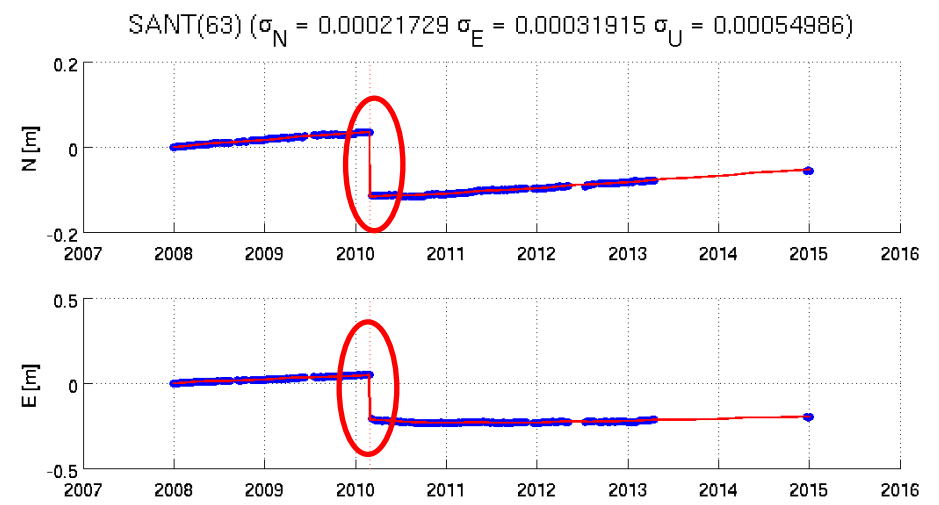
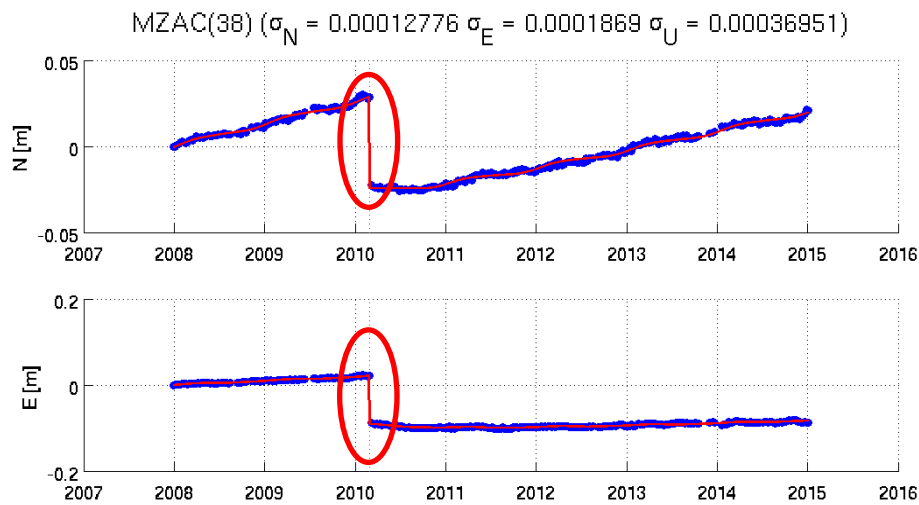


# Componente Logarítmica: Vel-Ar-Log

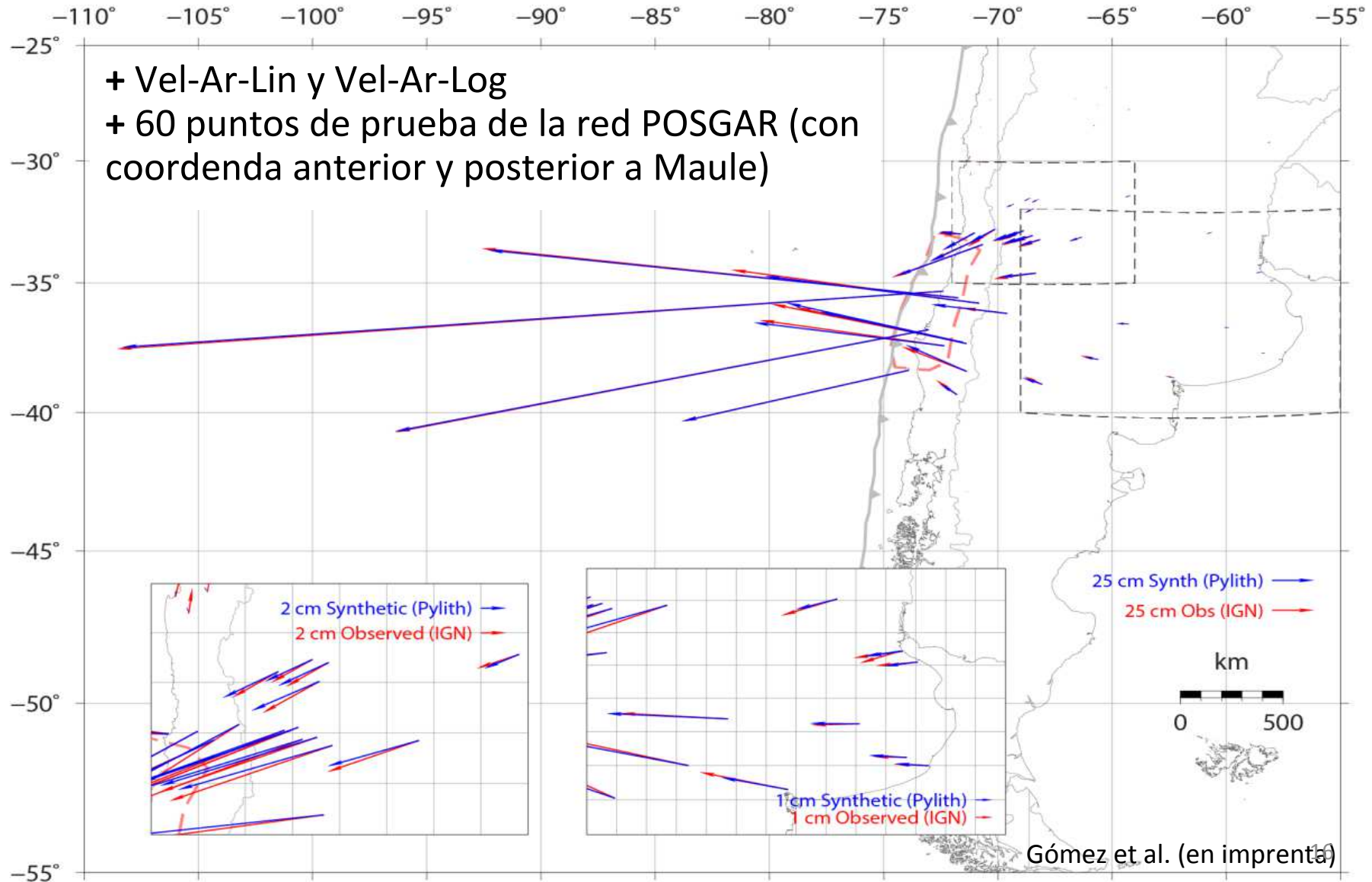
## Residuos modelo-observaciones de prueba



# Componente co-sísmica de Vel-Ar

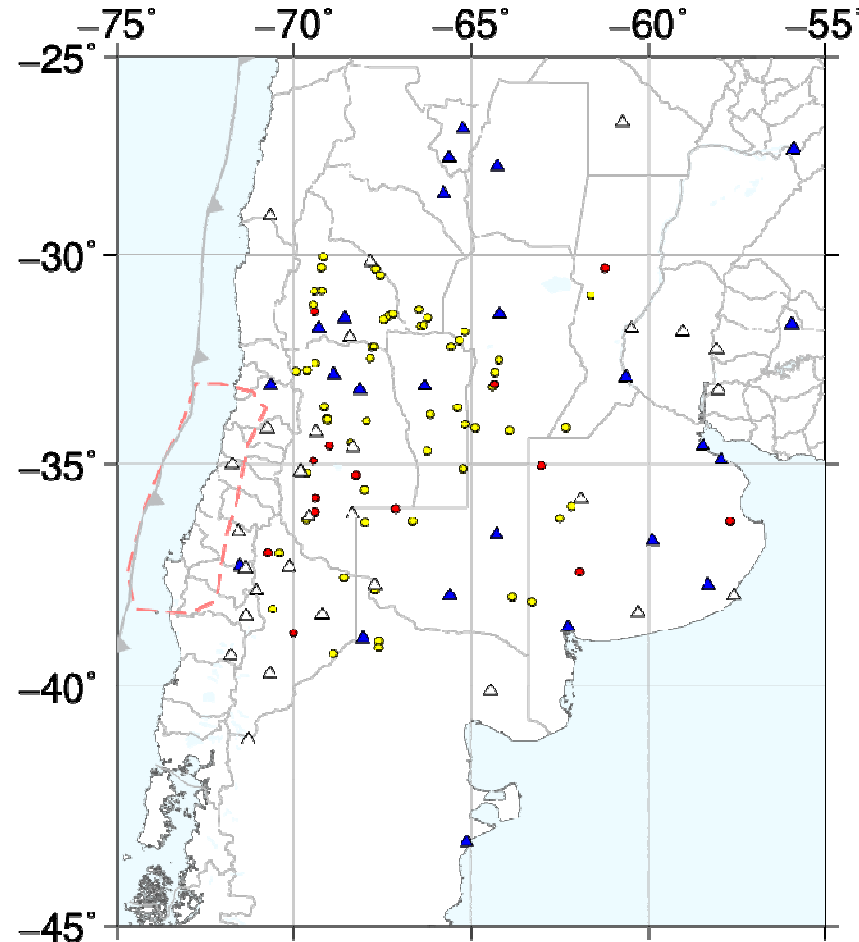
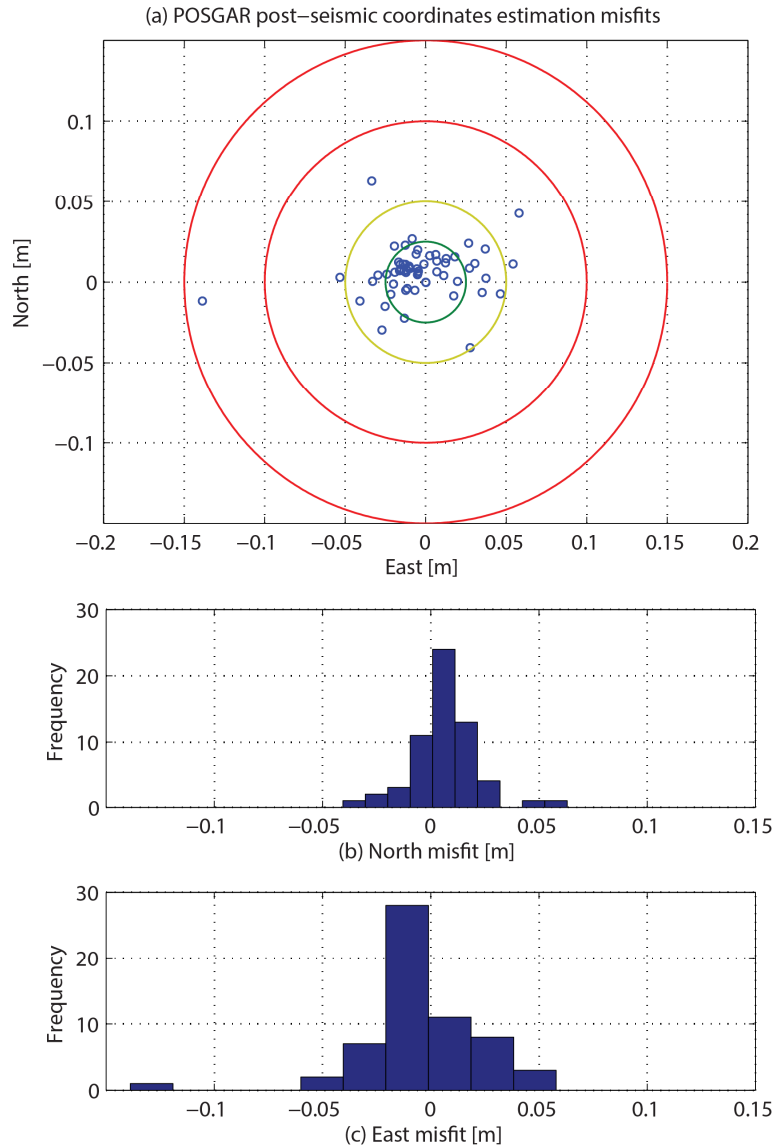


# Componente co-sísmica de Vel-Ar





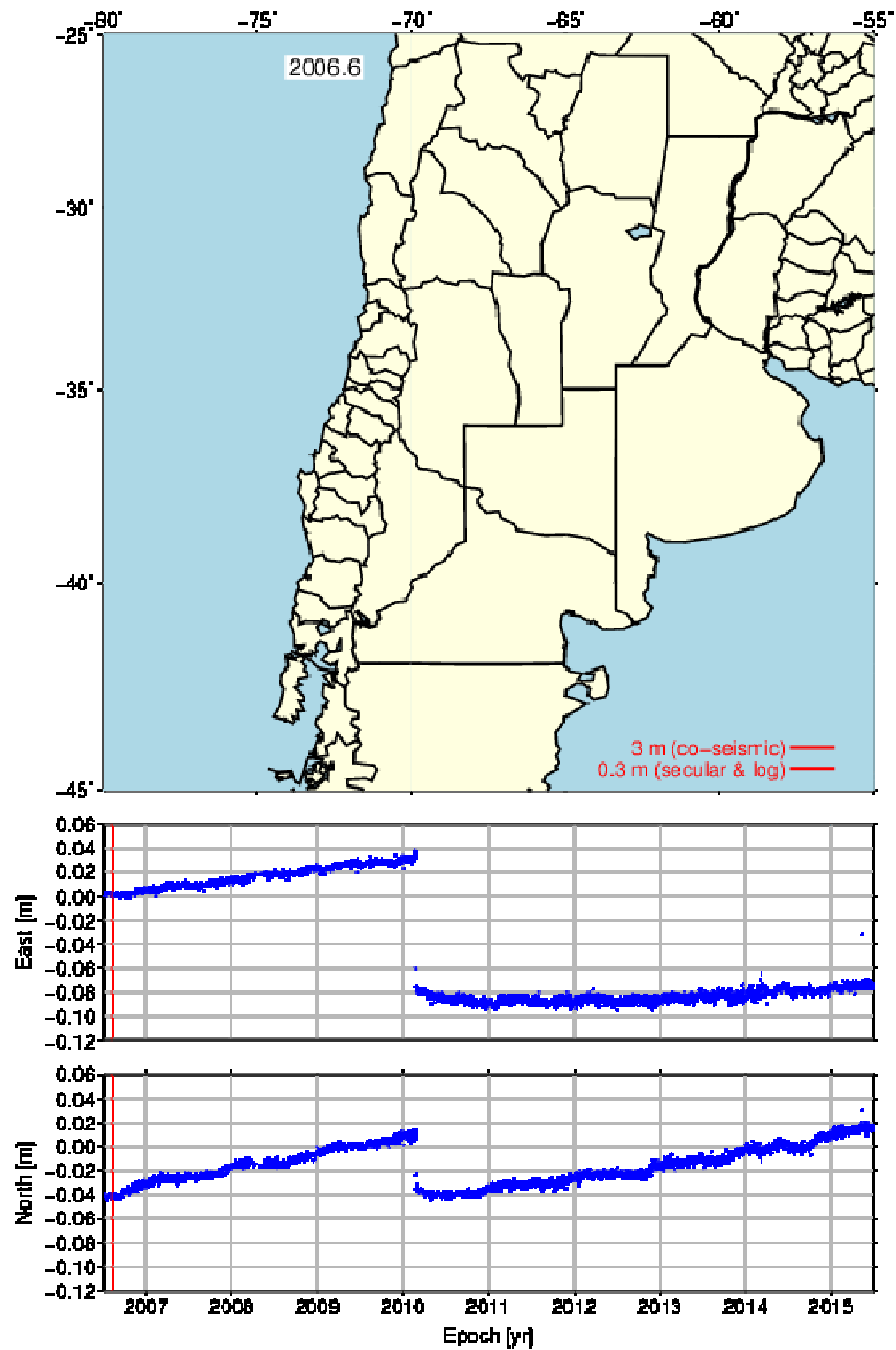
# Componente co-sísmica de Vel-Ar



**Errores:**  
~63% < 2.5 cm  
~91% < 5.0 cm

## Ejemplo de aplicación del modelo de predicción de trayectorias Vel-Ar

- Datos vectoriales de los límites provinciales.
- Aplicamos Vel-Ar desde 2006.5 hasta 2015.5.
- Animación de las secuencias obtenidas exagerando la escala de la deformación.



# Conclusiones

- Los modelos extendidos de trayectorias permiten modelar con más precisión el comportamiento de las series de tiempo GNSS.
- Es posible extender el uso de los MET para producir un modelo de predicción de trayectorias.
- Vel-Ar permite acceder a POSGAR07 utilizando coordenadas post-sísmicas con un error  $< 5$  cm ( $\sim 91\%$ )
- La metodología propuesta podría ser utilizada para actualizar modelos de velocidades preexistentes, como por ejemplo VEMOS2009.
- El IGN pronto comenzará a trabajar en implementar y distribuir el modelo desde su página web.

# ¿Preguntas?

THE UNIVERSITY OF  
**MEMPHIS**®



En colaboración con



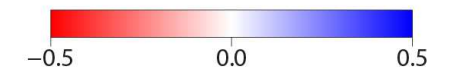
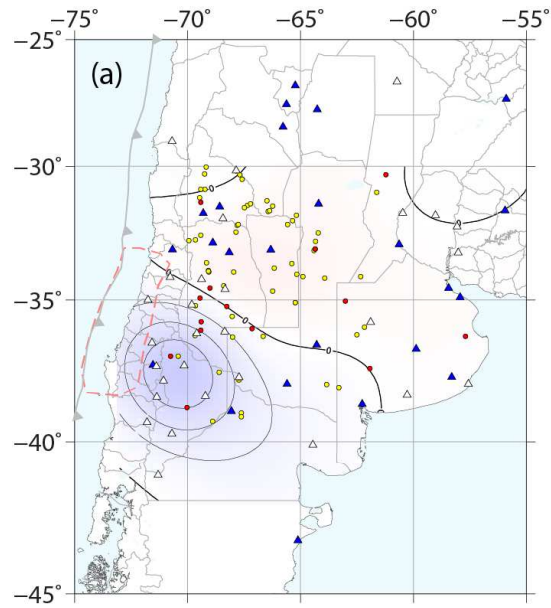
# ¡Muchas Gracias!

THE UNIVERSITY OF  
**MEMPHIS**®

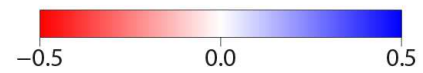
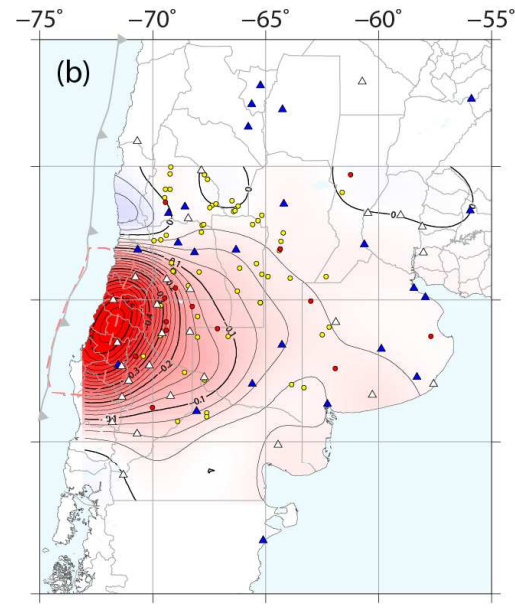


En colaboración con

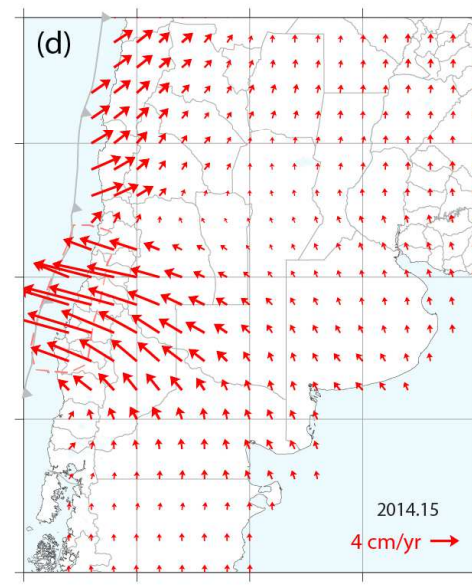
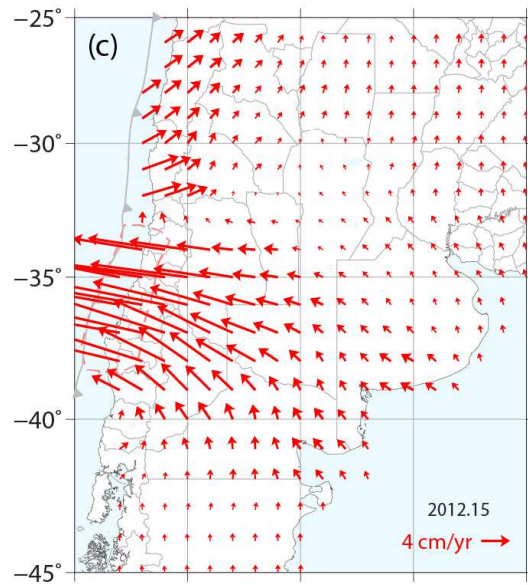


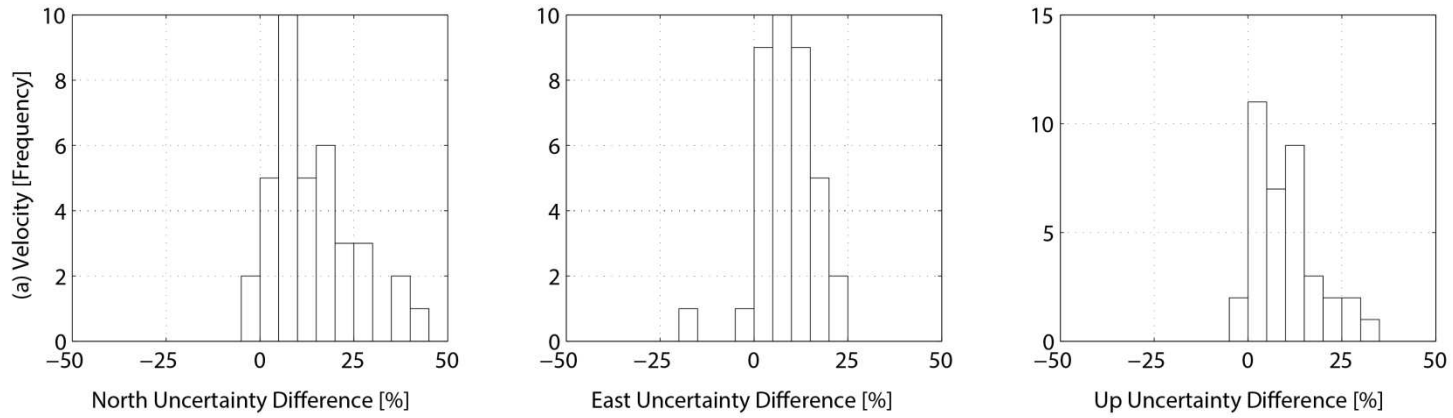


North Vel-Ar-NoLin Log component (m)

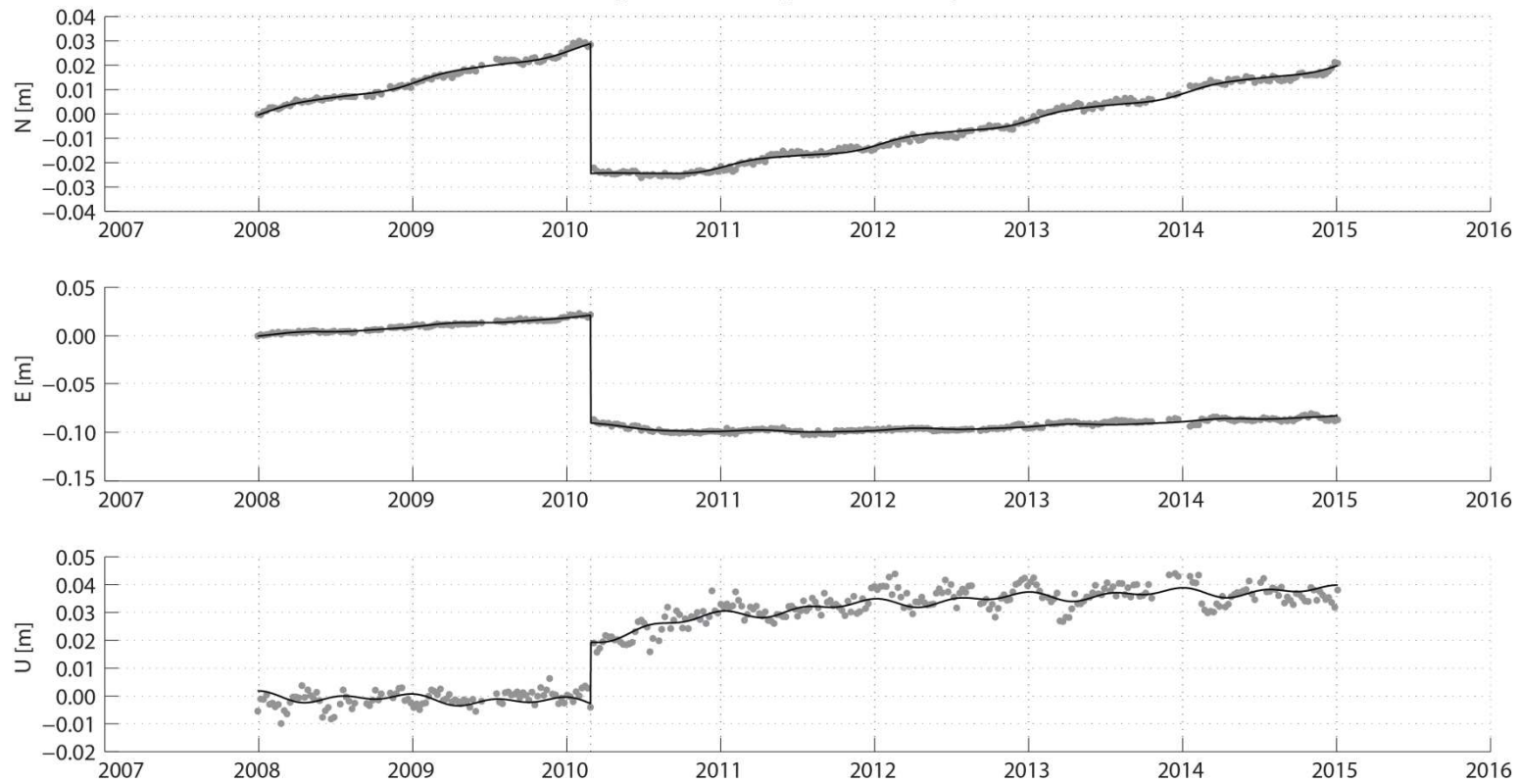


East Vel-Ar-NoLin Log component (m)





(b) MZAC(38) ( $\sigma_N = 0.0001232$   $\sigma_E = 0.0001922$   $\sigma_U = 0.00039156$ )





(c) IGM1(27) ( $\sigma_N = 0.00017175$   $\sigma_E = 0.00017612$   $\sigma_U = 0.00050609$ )

