

# Nuevo modelo de predicción de trayectorias GNSS para la República Argentina: deformación co- y post-sísmica del sismo de Maule

**Simposio SIRGAS 2016**

Quito, Ecuador

D. D. Gómez<sup>1\*,2</sup>, D. A. Piñón<sup>2</sup>, R. Smalley<sup>1</sup>, M. G. Bevis<sup>3</sup> y S. R. Cimbaro<sup>2</sup>

THE UNIVERSITY OF  
**MEMPHIS**®



1. Center for Earthquake Research and Information, The University of Memphis
  2. Instituto Geográfico Nacional, Argentina
  3. School of Earth Sciences, The Ohio State University
- \* ahora en Ohio State University (dgomez@ign.gov.ar)

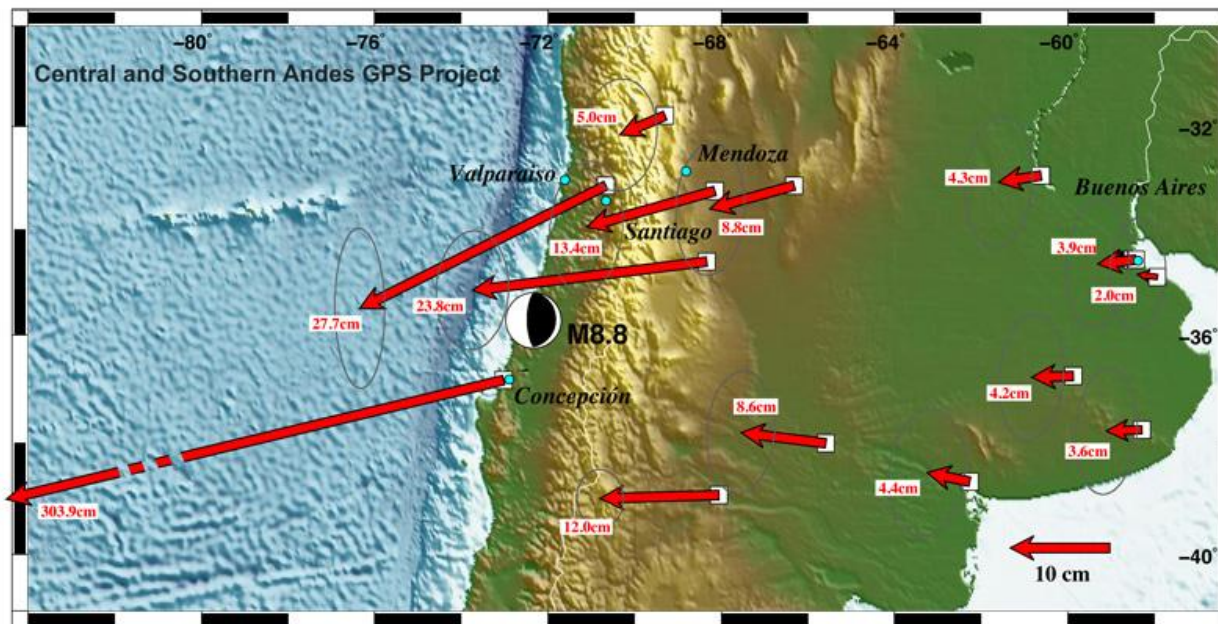


- ▶ Motivación y objetivos del desarrollo del modelo de predicción de trayectorias (VEL-Ar).
- ▶ Componentes de los modelos extendidos de trayectorias (MET).
- ▶ Modelo de predicción de trayectorias (MPT).
- ▶ Componentes resultantes del modelo VEL-Ar: inter-, co- y post-sísmica.
- ▶ Resultados y conclusiones.

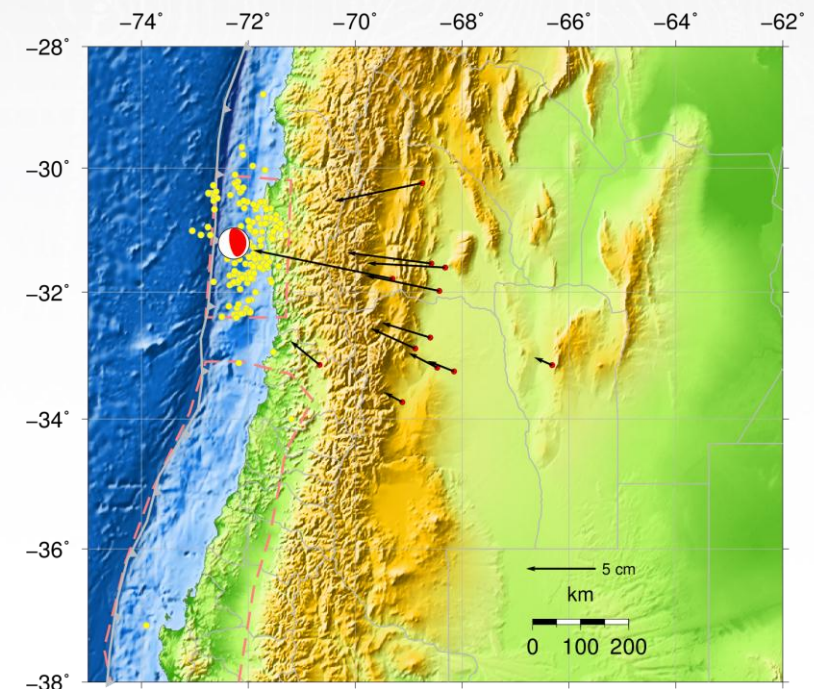
**VEL-Ar**  
Modelo de Velocidades de Argentina

## Modelación de la deformación co- y post-sísmica

- ▶ Los sismos de Maule (2010) e Illapel (2015) produjeron deformaciones co- y post-sísmicas de importante magnitud. Dichas deformaciones se ve reflejadas en las trayectorias de las estaciones GNSS de la región.
- ▶ **Motivación:** desarrollar una metodología para estimar la trayectoria de los puntos pasivos (sin monitoreo permanente) de la red POSGAR.



<https://researchnews.osu.edu/archive/chilequakemap.htm>



<http://www.ign.gov.ar/content/procesamiento-de-datos-gps-en-respuesta-al-terremoto-de-illapel>

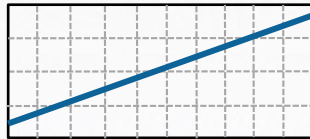
- ▶ Realizar **transformaciones entre épocas de un mismo marco luego de grandes sismos** utilizando coordenadas pre- o post-sísmicas.
- ▶ Desarrollar una **metodología** lo suficientemente **flexible** como para **incorporar efectos post-sísmicos** a partir de una **base inter-sísmica común**.
- ▶ **Para ello es necesario:**
  - ▶ Transferir una metodología conocida como **Modelo Extendido de Trayectorias** (MET, Bevis y Brown 2014) utilizada en geofísica para la descomposición y análisis de **series de tiempo GNSS**.

Expresión matemática:

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^{n_p+1} \mathbf{p}_i(t - t_r)^{i-1} + \sum_{j=1}^{n_j} \mathbf{b}_j H(t - t_j) + \sum_{k=1}^{n_f} [\mathbf{s}_k \sin(\omega_k t) + \mathbf{c}_k \cos(\omega_k t)] + \sum_{i=1}^{n_T} \mathbf{a}_i \log_{10} \left[ 1 + \frac{t - t_{eq}}{T_i} \right]$$

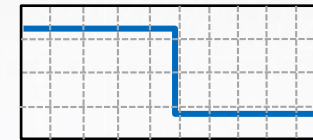
Bevis y Brown (2014)

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



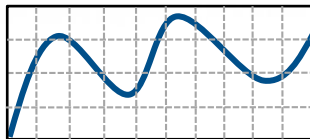
Lineal: desplazamiento tectónico

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



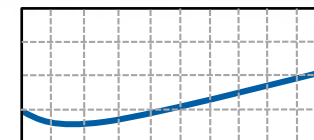
Saltos: sismos, cambios de equipos

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



Periódica: anuales, semianuales

$$\sum_{i=1}^{n_T} \mathbf{a}_i \log_{10} \left[ 1 + \frac{t - t_{eq}}{T_i} \right]$$



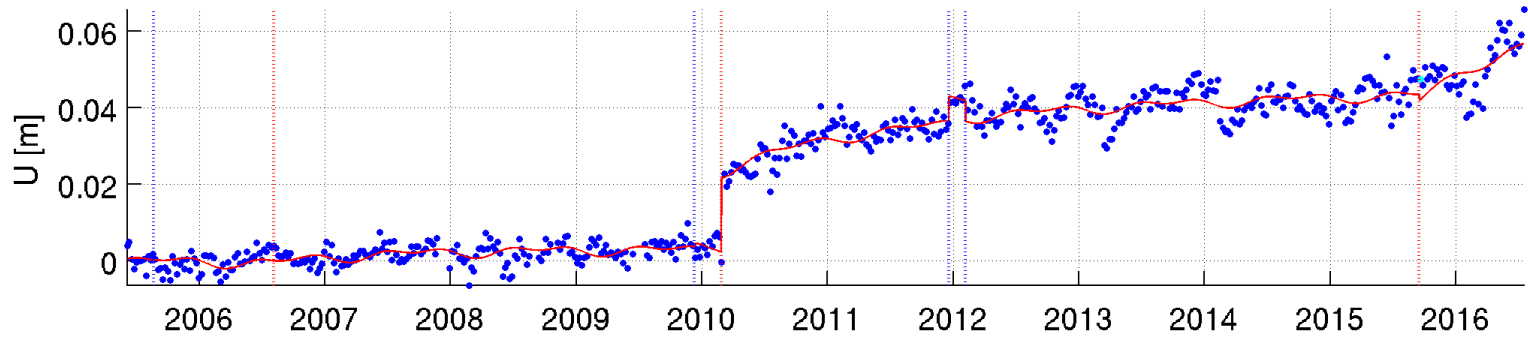
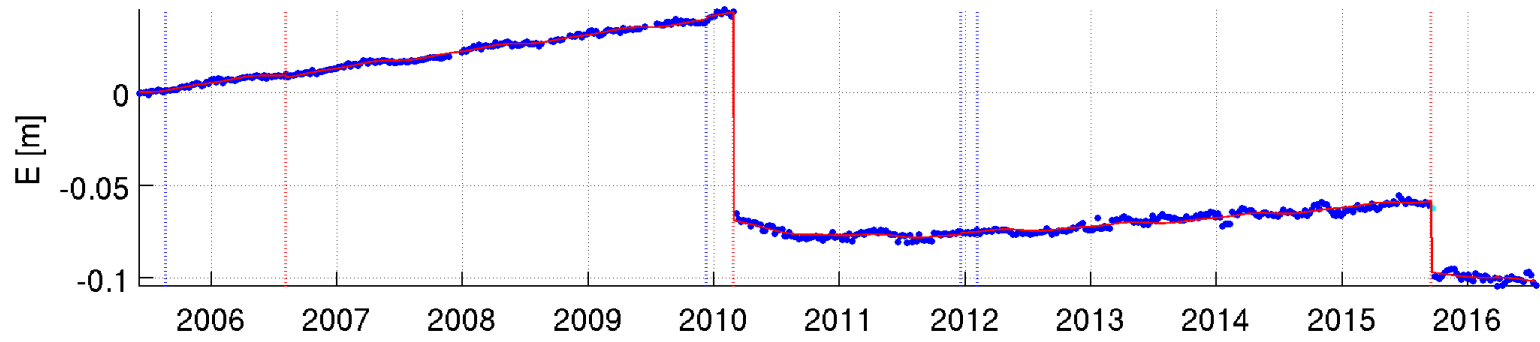
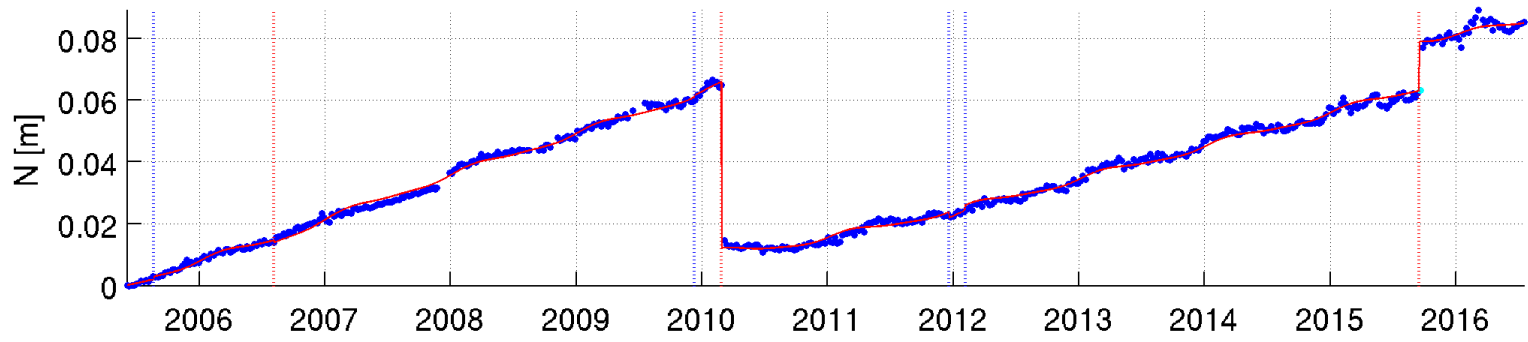
Cuasi-logarítmicas: relajación viscoelástica

# Ejemplo de trayectoria estación MZAC



MZAC(41):  $\sigma_N = 1.2252$  mm;  $\sigma_E = 1.5101$  mm;  $\sigma_U = 3.3136$  mm

Colas estadísticas: 1 of 566 data points



CPC-Ar (2016)

## Parámetros del MET y estimación de saltos co-sísmicos

- ▶ Se fija un parámetro único para la constante de relajación ( $T_i=0.5$  años) y se descartan las componentes periódicas, ( $s_k, c_k$ ) y saltos por cambio de equipos.
- ▶ Colocación por mínimos cuadrados de los parámetros de los MET ( $p_i$  y  $a_i$ ).
- ▶ Estimación de los saltos co-sísmicos  $b_j$  utilizando un modelo de elementos finitos

$$\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^{n_p+1} \mathbf{p}_i (t - t_r)^{i-1} + \sum_{j=1}^{n_j} \mathbf{b}_j H(t - t_j) +$$

Modelo de elementos finitos  
según Gómez et al. (2015a,b)

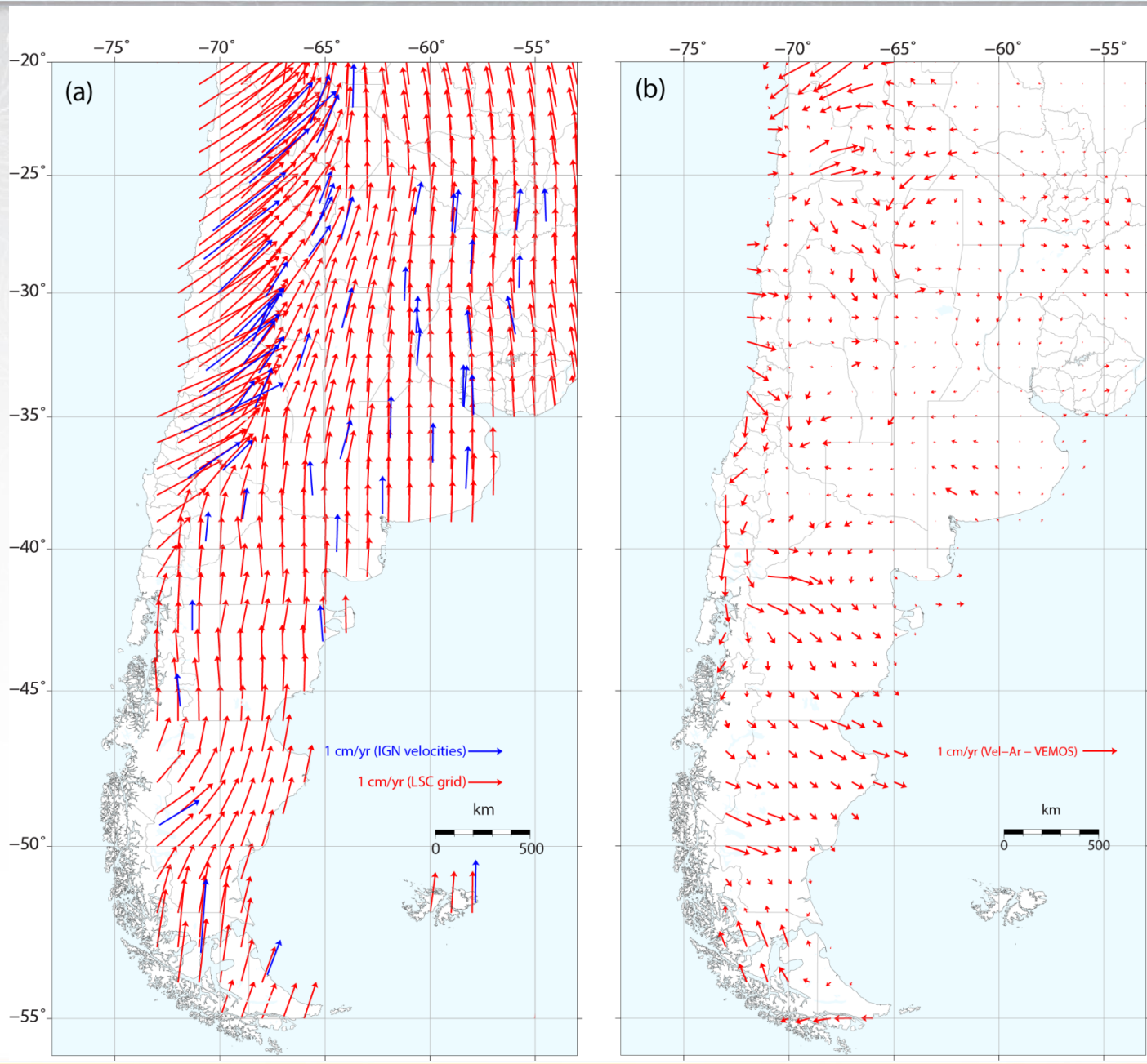
Colocación  
**VEL-Ar-Lin**  
según Drewes y  
Heidbach (2012)

~~$$\sum_{k=1}^{n_f} [s_k \sin(\omega_k t) + c_k \cos(\omega_k t)] + \sum_{i=1}^{n_T} \mathbf{a}_i \log_{10} \left[ 1 + \frac{t - t_{eq}}{T_i} \right]$$~~

Colocación  
**VEL-Ar-Log**  
según Gómez et al. (2015b)

=0.5 años

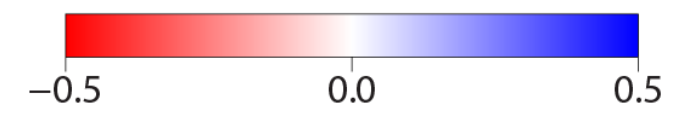
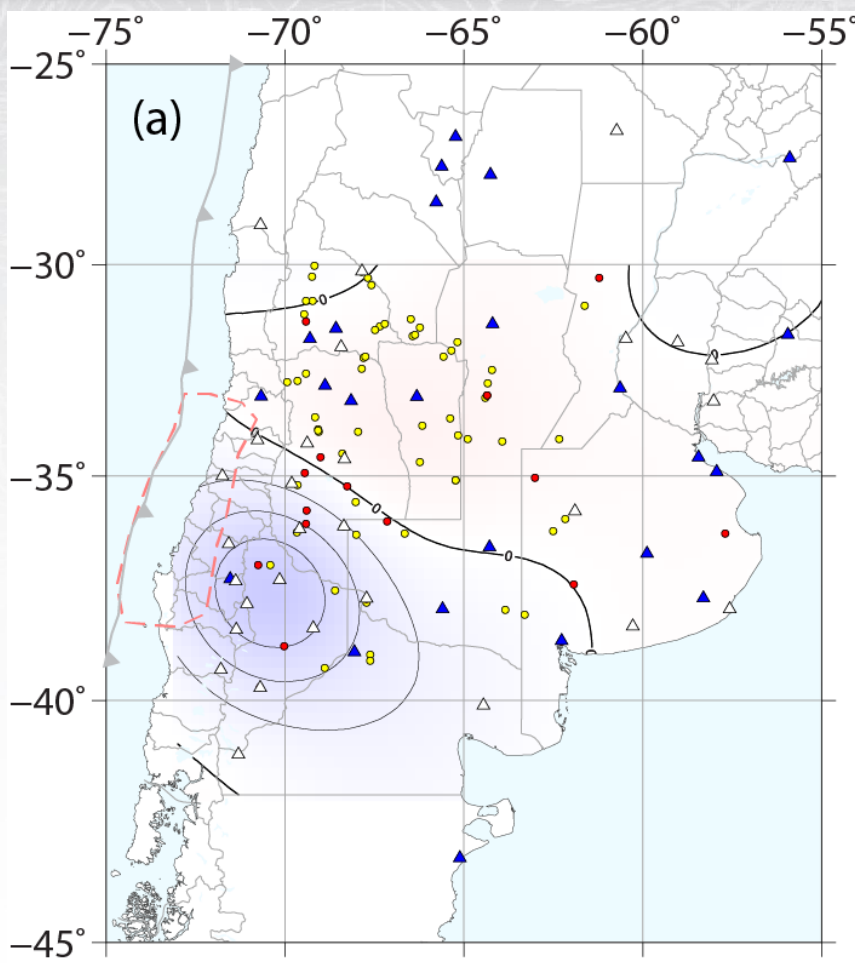
# Componente lineal: VEL-Ar-Lin



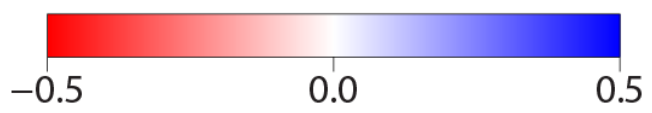
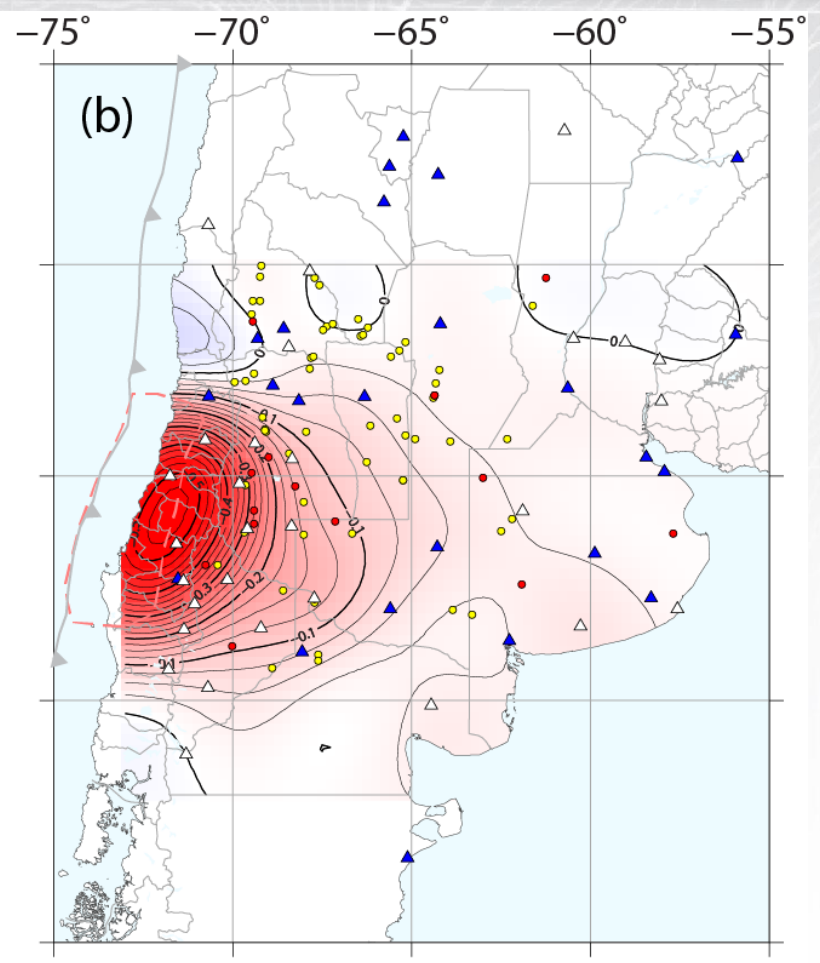
Gómez et al. (2015b)



# Componente logarítmica: VEL-Ar-Log



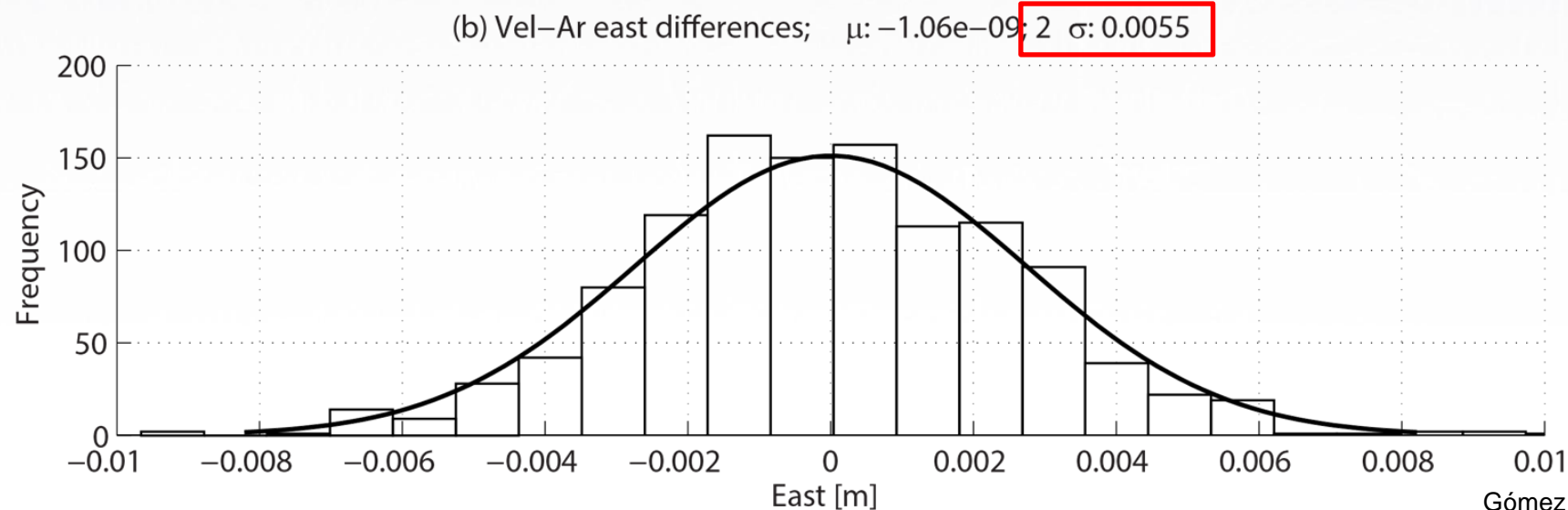
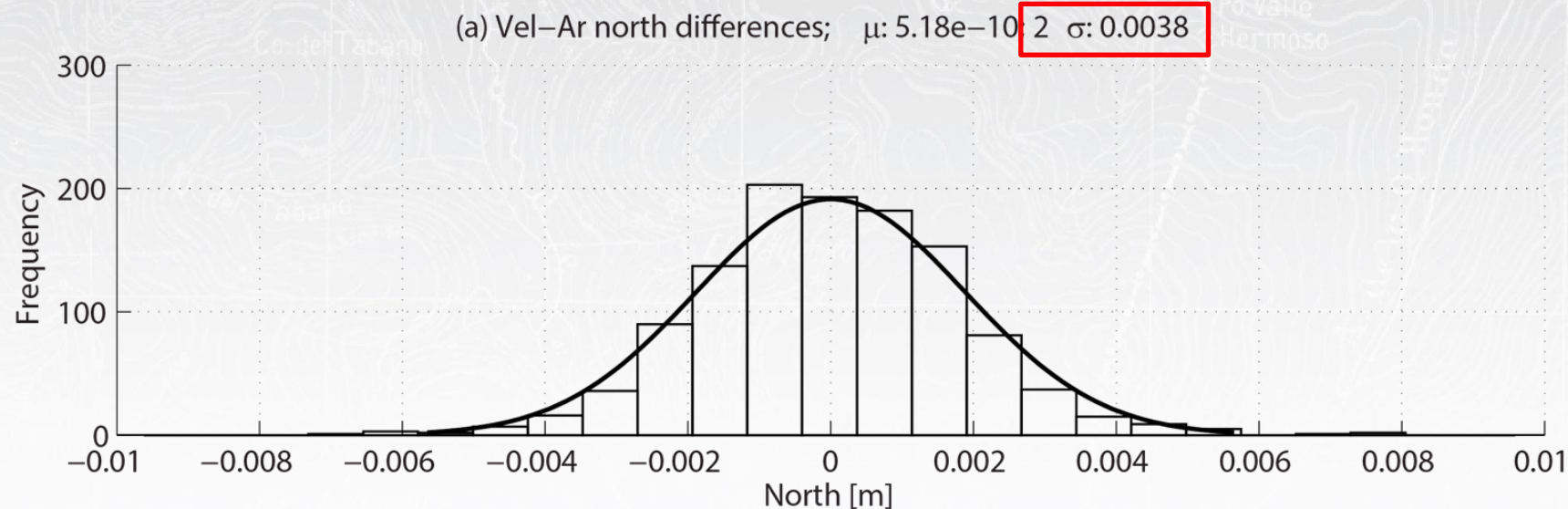
North Vel-Ar-NoLin Log component (m)



East Vel-Ar-NoLin Log component (m)

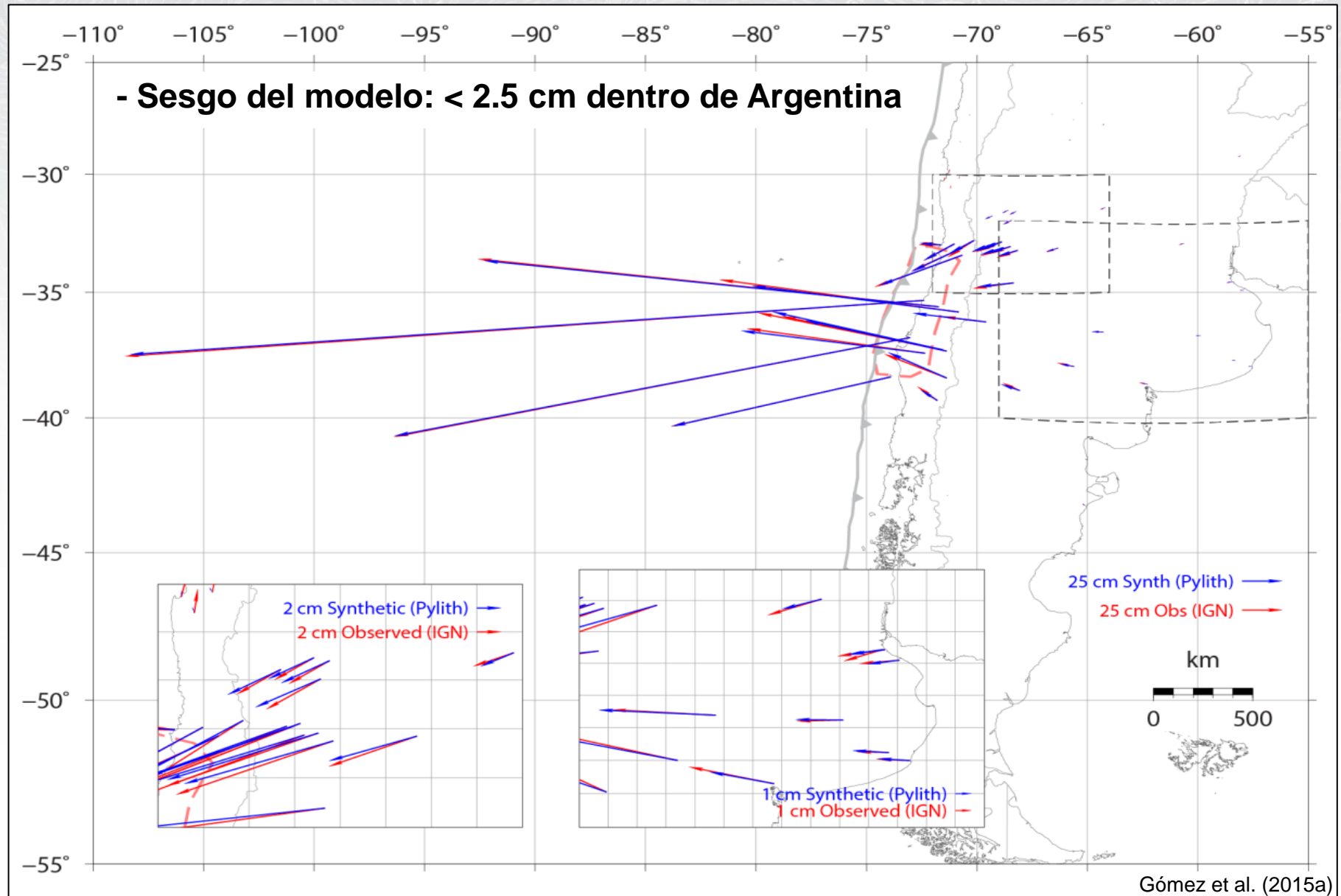
Gómez et al. (2015b)

## Residuos modelo-observaciones de prueba



Gómez et al. (2015b)

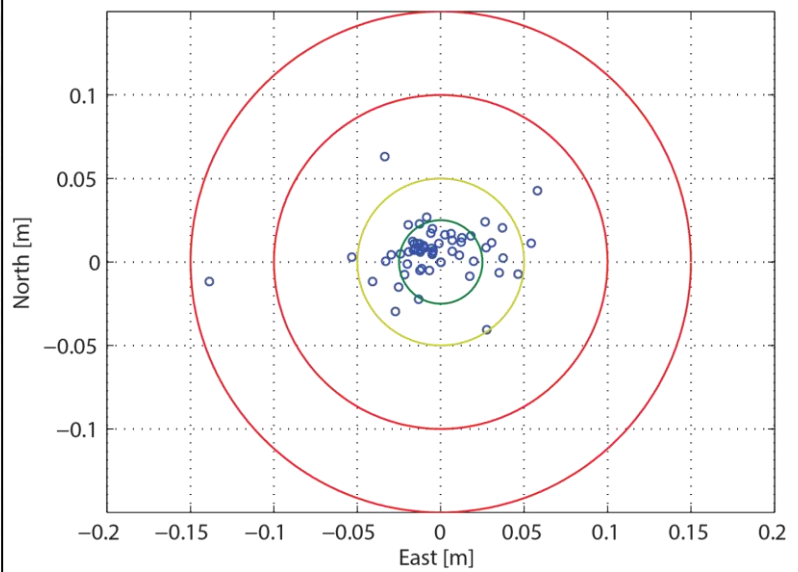
# Componente co-sísmica de VEL-Ar



# Resultados del modelo VEL-Ar



(a) POSGAR post-seismic coordinates estimation misfits



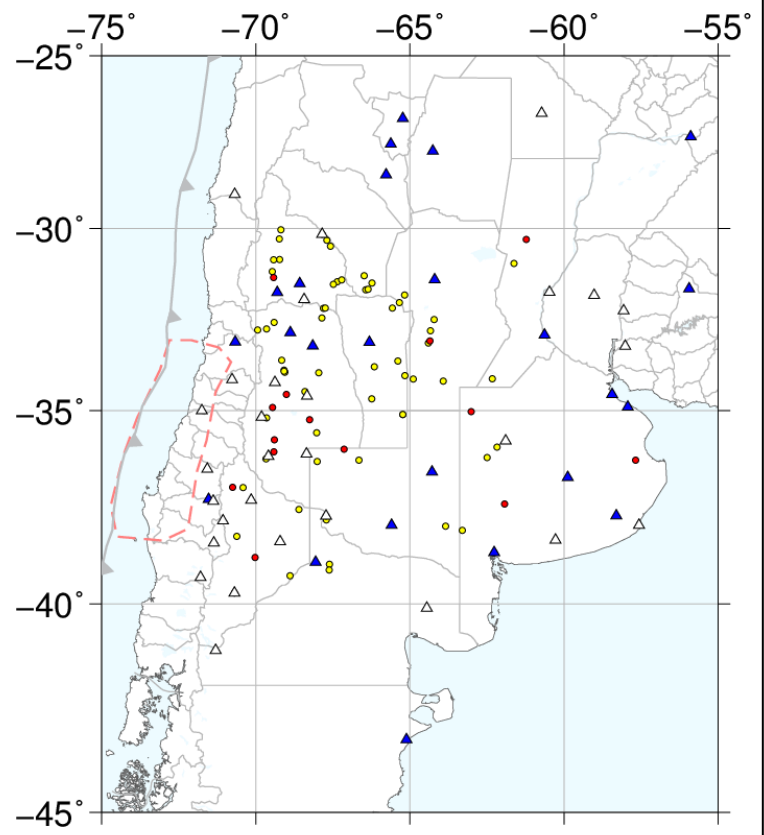
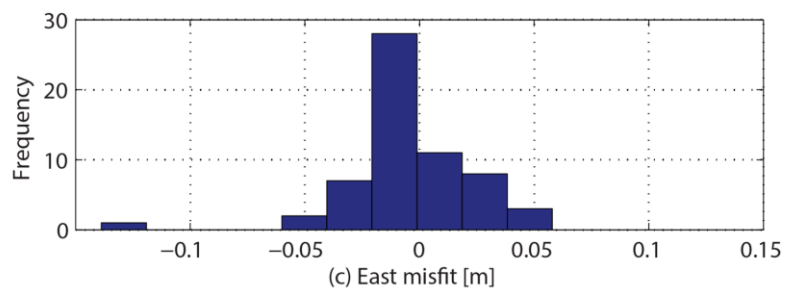
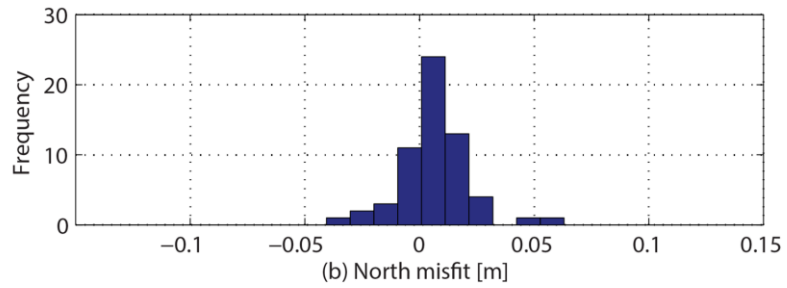
- 60 puntos de prueba de la red POSGAR (con coordenadas anterior y posterior a Maule)

## Errores:

~63% < 2.5 cm

~91% < 5.0 cm

Gómez et al. (2015b)



- ▶ Incorporación del sismo de Illapel al modelo VEL-Ar.
- ▶ Investigar posibles soluciones “híbridas” para modelar la deformación post-sísmica (dinámica-cinemática).
- ▶ Investigar modelos de predicción de trayectorias para la componente vertical.
- ▶ Actualmente, los mayores errores de VEL-Ar se encuentran asociados a la componente co-sísmica.
  - ▶ Es necesario mejorar los modelos geofísicos para la “interpolación” (predicción) de los saltos co-sísmicos.

J Geod  
DOI 10.1007/s00190-015-0871-8



ORIGINAL ARTICLE

## Reference frame access under the effects of great earthquakes: a least squares collocation approach for non-secular post-seismic evolution

D. D. Gómez<sup>1,2</sup> · D. A. Piñón<sup>2,3</sup> · R. Smalley Jr.<sup>1</sup> · M. Bevis<sup>4</sup> ·  
S. R. Cimbaro<sup>2</sup> · L. E. Lenzano<sup>5,6</sup> · J. Barón<sup>5</sup>

Received: 20 April 2015 / Accepted: 11 November 2015  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

**Abstract** The 2010, (Mw 8.8) Maule, Chile, earthquake produced large co-seismic displacements and non-secular, post-seismic deformation, within latitudes 28°S–40°S extending from the Pacific to the Atlantic oceans. Although these effects are easily resolvable by fitting geodetic extended trajectory models (ETM) to continuous GPS (CGPS) time series, the co- and post-seismic deformation cannot be determined at locations without CGPS (e.g., on passive geodetic benchmarks). To estimate the trajectories of passive geodetic benchmarks, we used CGPS time series to fit an ETM that includes the secular South American plate motion and plate boundary deformation, the co-seismic discontinuity, and the non-secular, logarithmic post-seismic transient produced by

the earthquake in the *Posiciones Geodésicas Argentinas 2007* (POSGAR07) reference frame (RF). We then used least squares collocation (LSC) to model both the background secular inter-seismic and the non-secular post-seismic components of the ETM at the locations without CGPS. We tested the LSC modeled trajectories using campaign and CGPS data that was not used to generate the model and found standard deviations (95 % confidence level) for position estimates for the north and east components of 3.8 and 5.5 mm, respectively, indicating that the model predicts the post-seismic deformation field very well. Finally, we added the co-seismic displacement field, estimated using an elastic finite element model. The final, trajectory model allows accessing the POSGAR07 RF using post-Maule earthquake coordinates within

MUCHAS GRACIAS

THE UNIVERSITY OF  
MEMPHIS®



- Bevis M, Brown A (2014) Trajectory models and reference frames for crustal motion geodesy. *J Geod* 88:283–311. doi: 10.1007/s00190-013-0685-5
- Drewes H, Heidbach O (2012) The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean. In: Kenyon S, Pacino MC, Marti U (eds) *Geodesy for Planet Earth*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 657–664
- Gómez D, Smalley R, Langston C, et al (2015a) Co-seismic deformation of the 2010 Maule, Chile earthquake: Validating a least squares collocation interpolation. *GeoActa* 40
- Gómez D, Piñón DA, Smalley R, et al (2015b) Reference frame access under the effects of great earthquakes: a least squares collocation approach for non-secular post-seismic evolution. *Journal of Geodesy*. doi: 10.1007/s00190-015-0871-8