

Actualización del modelo de velocidades SIRGAS



Hermann Drewes

Laura Sánchez

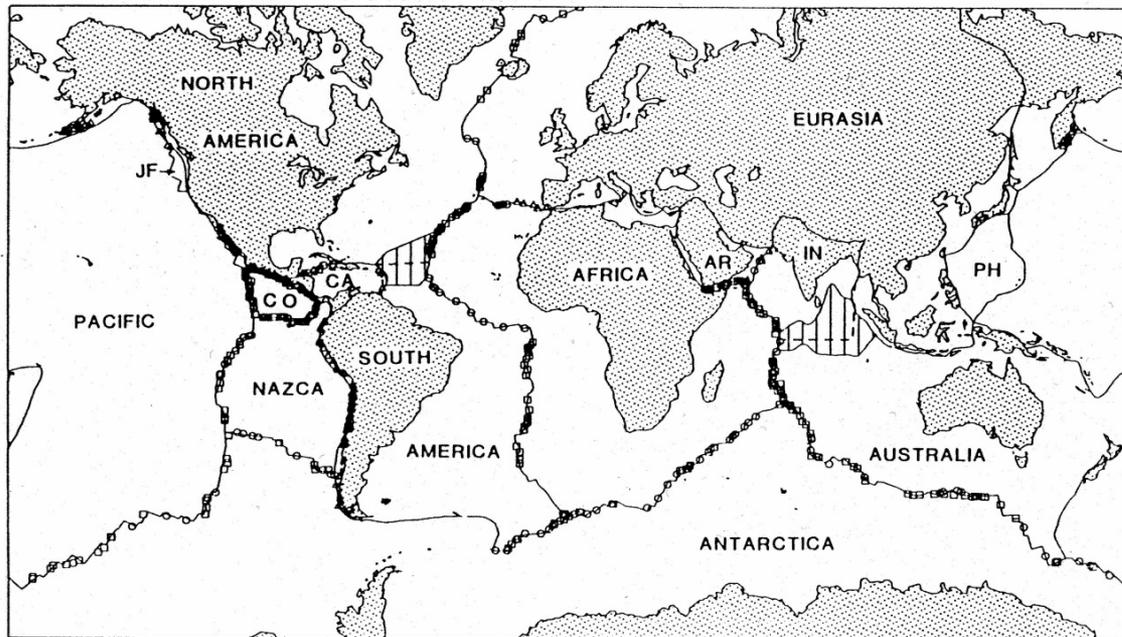
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut

München, Alemania

Motivación

Para considerar las variaciones temporales de las coordenadas de las estaciones SIRGAS se necesita un modelo de velocidades, que se refiera a un datum cinemático único. Las velocidades se generan, sobre todo, por los movimientos tectónicos de la superficie terrestre. En el ITRF se refieren las velocidades al datum dado por el modelo geofísico NNR NUVEL-1A (DeMets et al. 1990, Argus & Gordon 1991).

Observaciones del modelo de la tectónica de placas NUVEL-1 (DeMets et al. 1990)



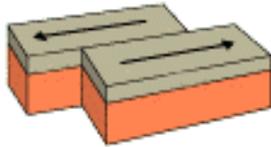
(277 extensiones, 121 azimutes de fallas, 724 azimutes de movimientos = 1122 en total)

NNR NUVEL-1A tiene la desventaja fundamental que no incluye las deformaciones entre las placas. Modela, exclusivamente, los movimientos de las 13 placas rígidas mayores.

Método geofísico para la cinemática de placas

Se usan tres tipos de observaciones en las fallas tectónicas:

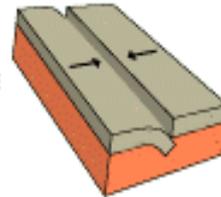
1.



2.



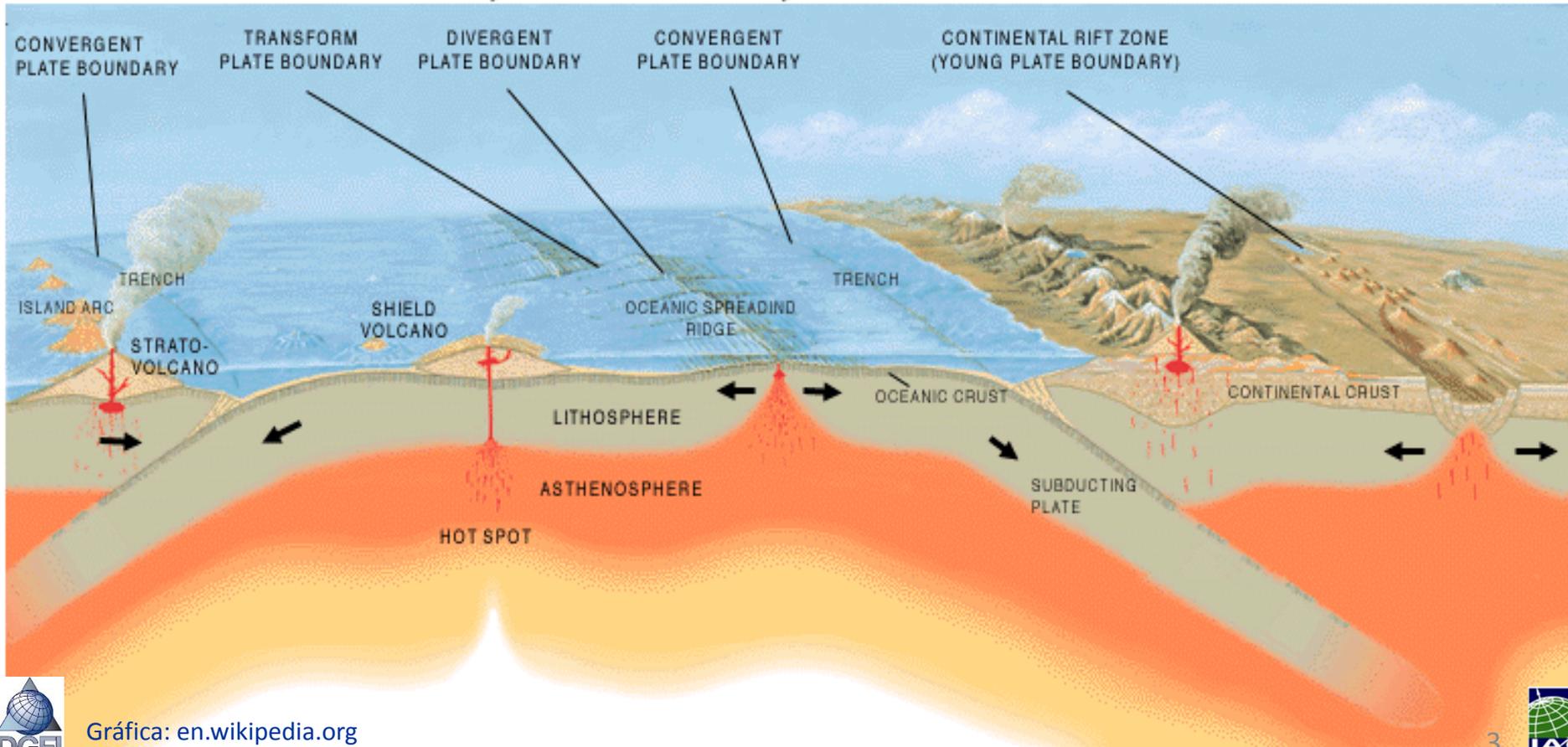
3.



1. Fallas transversas

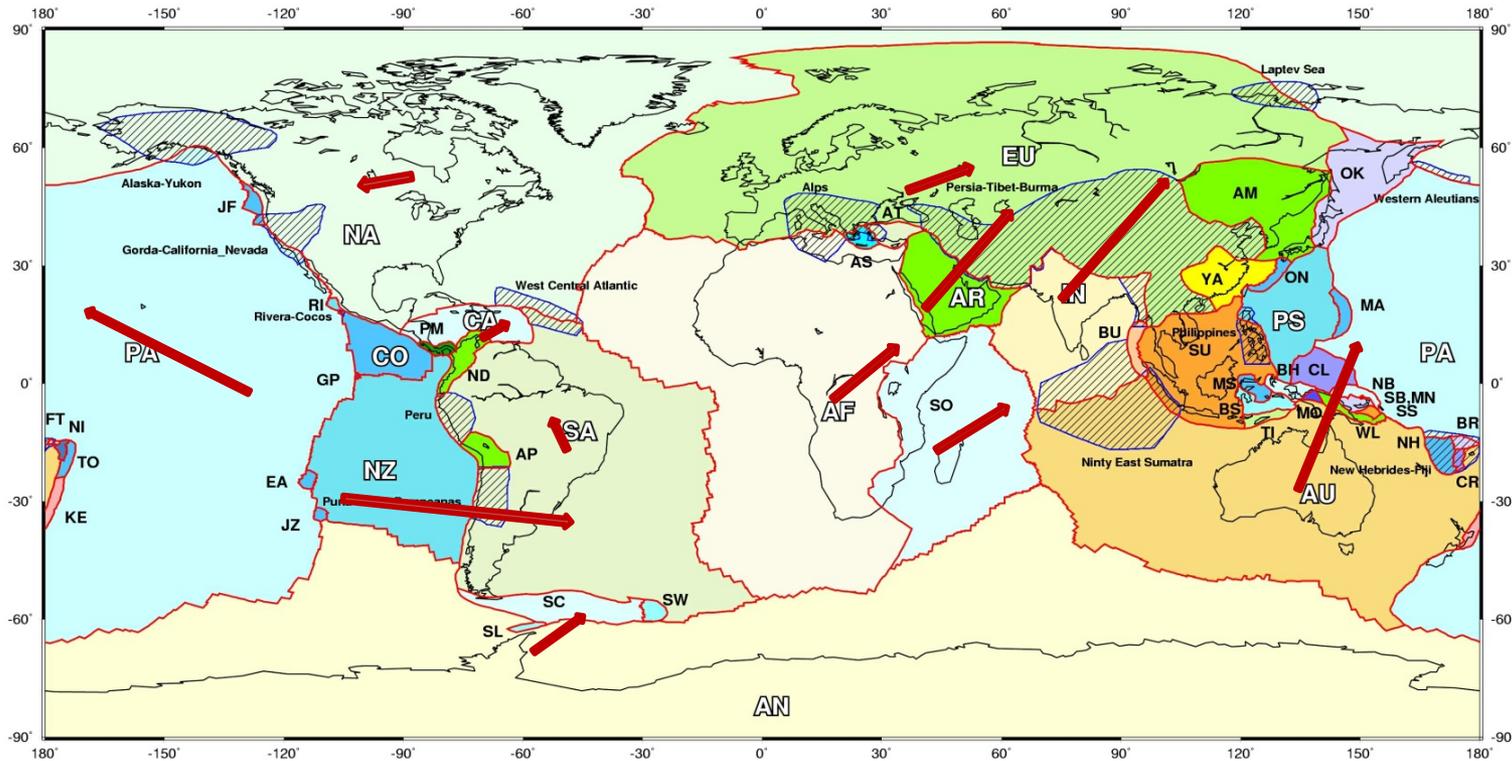
2. Fallas de extensión

3. Fallas de colisión o subducción



Modelo de deformación geofísico PB2002

El modelo PB2002 (Bird 2003) incluye 52 placas rígidas (las 13 mayores idénticas a NUVEL-1A) y 13 zonas de deformación.

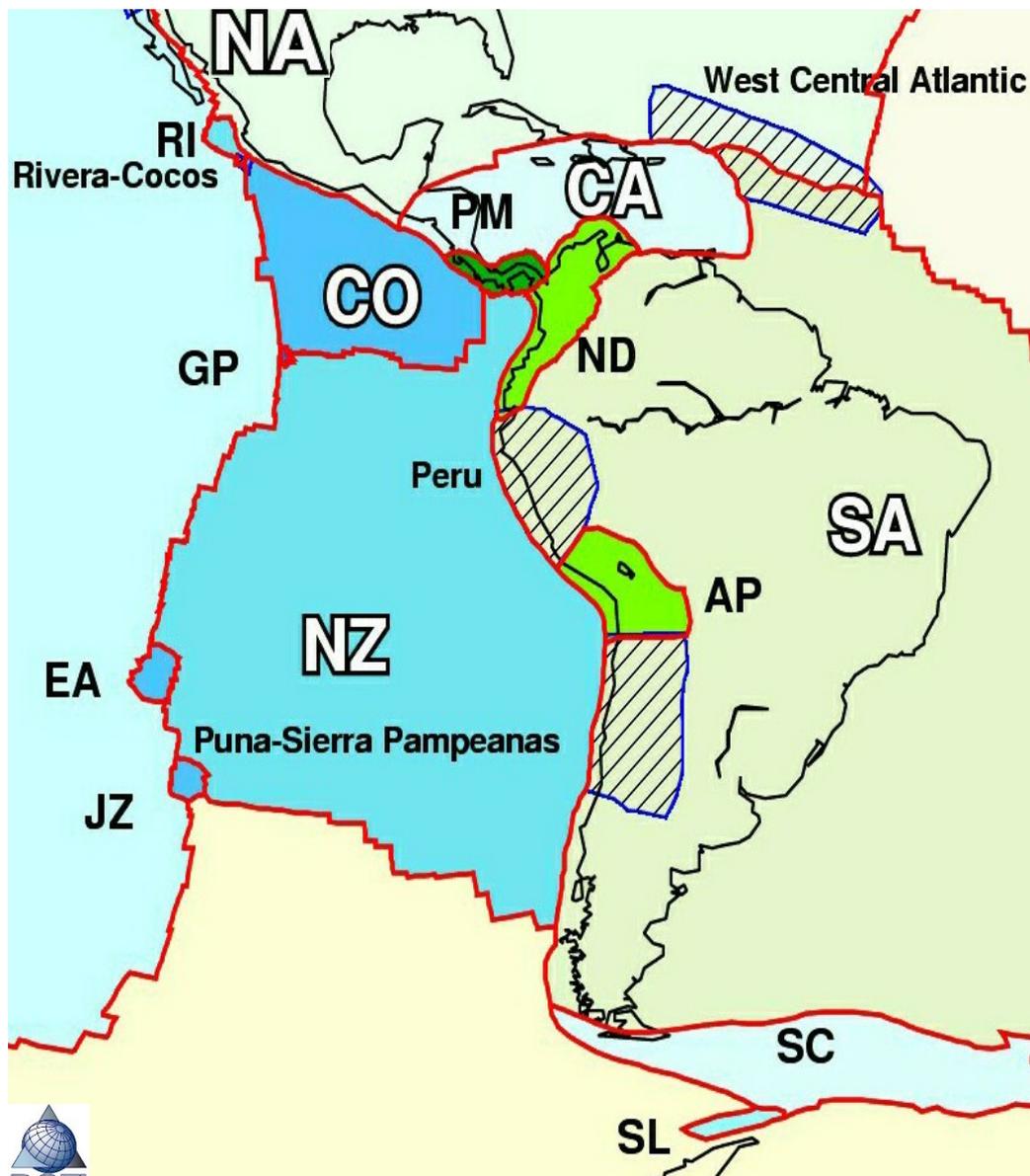


Plates (e.g. Anatolia)

Orogenes (e.g. Laptev Sea)

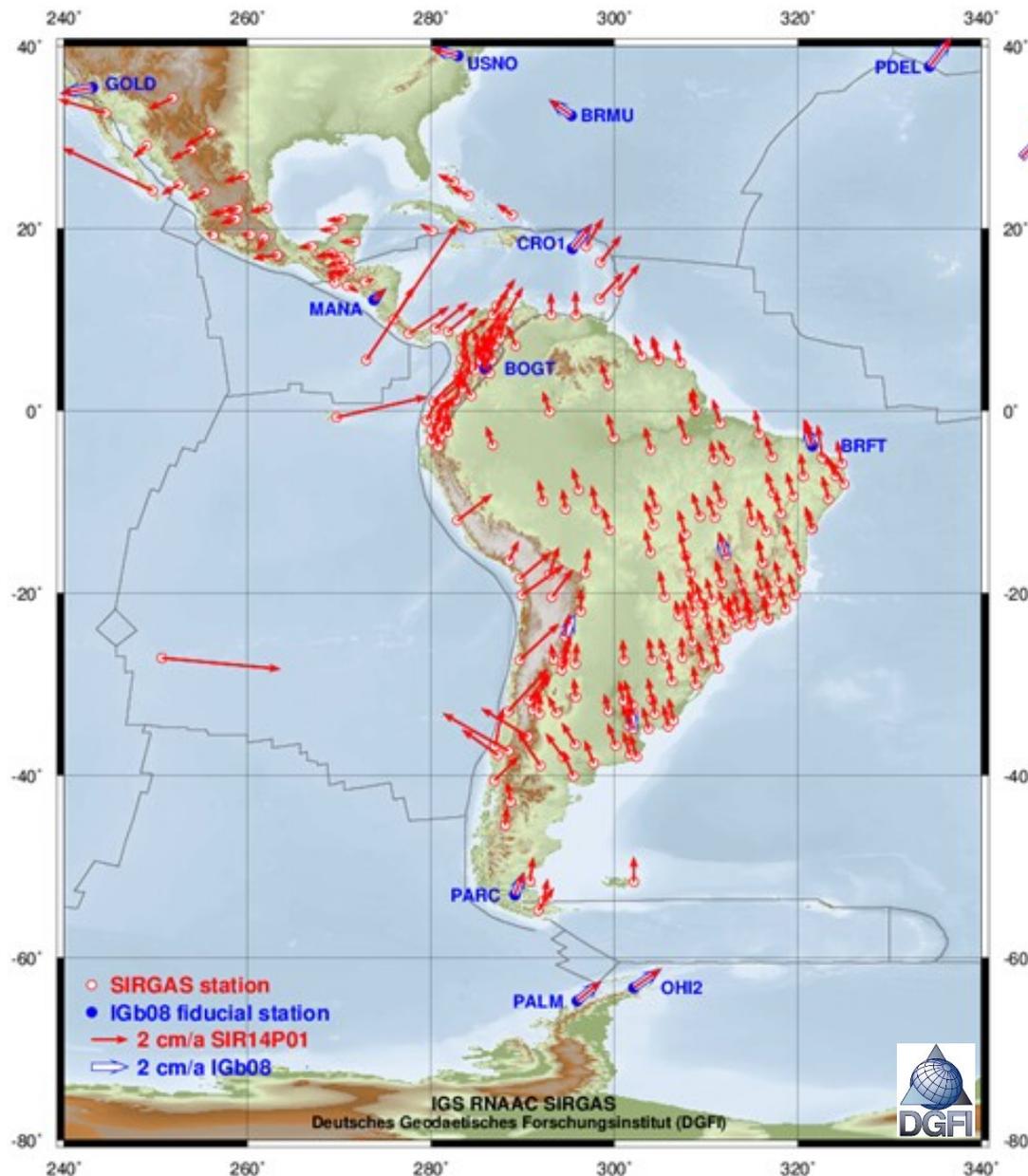
Plates:	AF Africa	AU Australia	CO Cocos	JF Juan de Fuca	NA North America	ON Okinawa	SC Scotia	TO Tonga
	AM Amur	BH Birds Head	CR Conway Reef	JZ Juan Fernandez	NB North Bismarck	PA Pacific	SL Shetland	WL Woodlark
	AN Antarctic	BR Balmoral Reef	EA Easter Island	KE Kermadec	ND North Andes	PM Panama	SO Somalia	YA Yangtze
	AP Altiplano	BS Banda Sea	EU Eurasia	MA Mariana	NH New Hebrides	PS Philippine Sea	SS Solomon Sea	
	AR Arabia	BU Burma	FT Futuna	MN Manus	NI Niuafo'ou	RI Rivera	SU Sunda	
	AS Aegean Sea	CA Caribbean	GP Galapagos	MO Maoke	NZ Nazca	SA South America	SW Sandwich	
	AT Anatolia	CL Caroline	IN India	MS Molucca Sea	OK Okhotsk	SB South Bismarck	TI Timor	

Placas y zonas de deformación en SIRGAS según los modelos geofísicos



En la región SIRGAS hay 5 placas mayores, 9 placas menores y 4 zonas de deformación entre placas. Las velocidades de las placas mayores son idénticas con NNR NUVEL-1A. En las zonas de deformación no se incluyen valores de velocidad. La desventaja de todos los modelos geofísicos es que sus velocidades corresponden al promedio de los últimos 3 millones de años y no representan, necesariamente, los movimientos actuales.

Datos de entrada del modelo geodésico SIR14P01

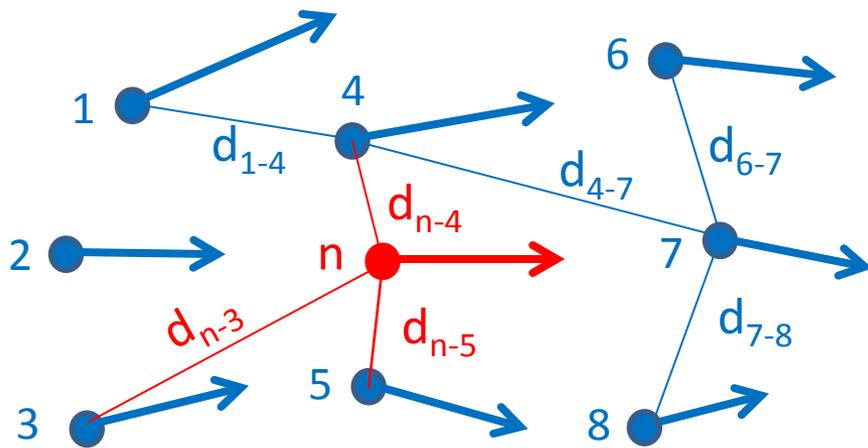


SIR14P01 es un modelo multi-anual con coordenadas a una época fija (2013,0) y sus variaciones temporales lineales (velocidades constantes).

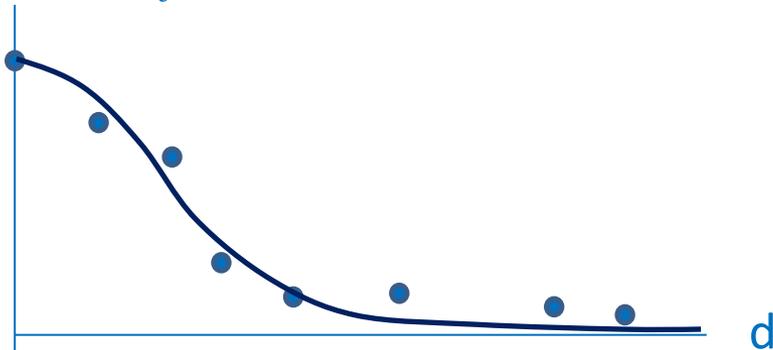
En el cálculo se incluyeron mediciones GNSS entre marzo de 2010 y junio de 2014 y estaciones con más de 2 años de operación.

Contiene en total coordenadas (posiciones + velocidades) para 242 estaciones.

Método de predicción por mínimos cuadrados



$$c = E(\underline{x}_i \cdot \underline{x}_j)$$



$$c = c_0 \cdot e^{-b \cdot d^2}$$

Predicción de vectores:

$$\underline{v}_{\text{pred}} = \underline{C}_{\text{nuevo}}^T \underline{C}_{\text{obs}}^{-1} \underline{v}_{\text{obs}}$$

$\underline{v}_{\text{obs}}$ = velocidades observadas en las estaciones

$\underline{v}_{\text{pred}}$ = velocidades predichas en una malla de $1^\circ \times 1^\circ$

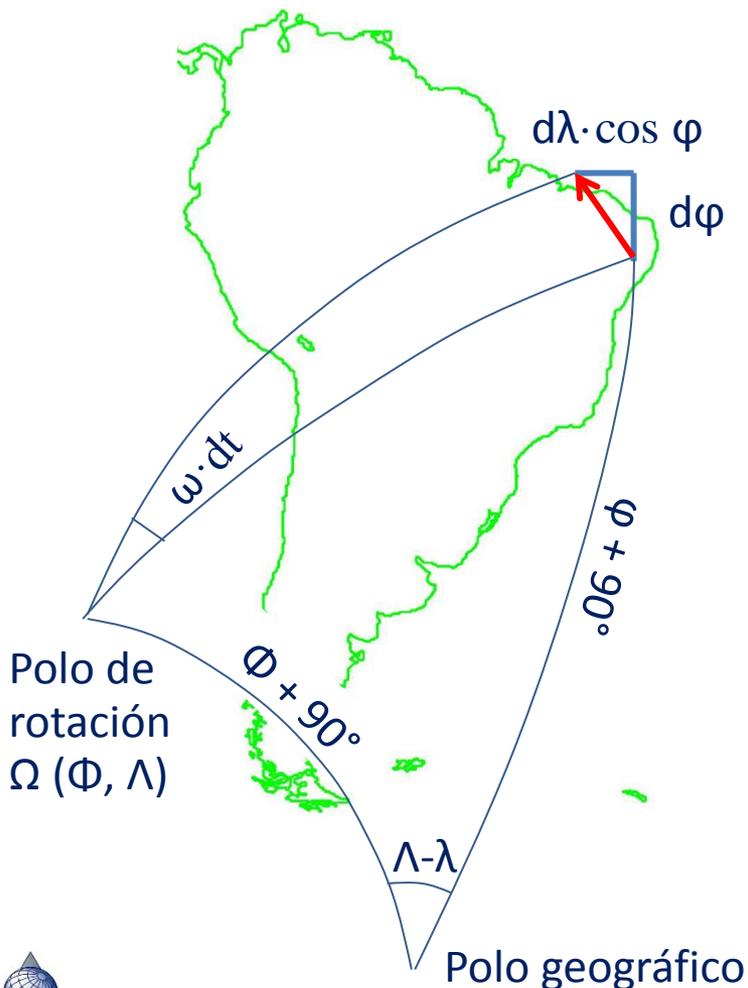
$\underline{C}_{\text{obs}}$ = matriz de correlación entre vectores observados

$\underline{C}_{\text{nuevo}}$ = matriz de correlación entre vectores predichos y vectores observados

Las matrices \underline{C} se componen de los valores de las funciones de covarianza isotrópicas empíricas

Procedimiento de la predicción

Para reducir la parte sistemática de las velocidades, se calcula un modelo de rotación para las placas de América del Sur y del Caribe:



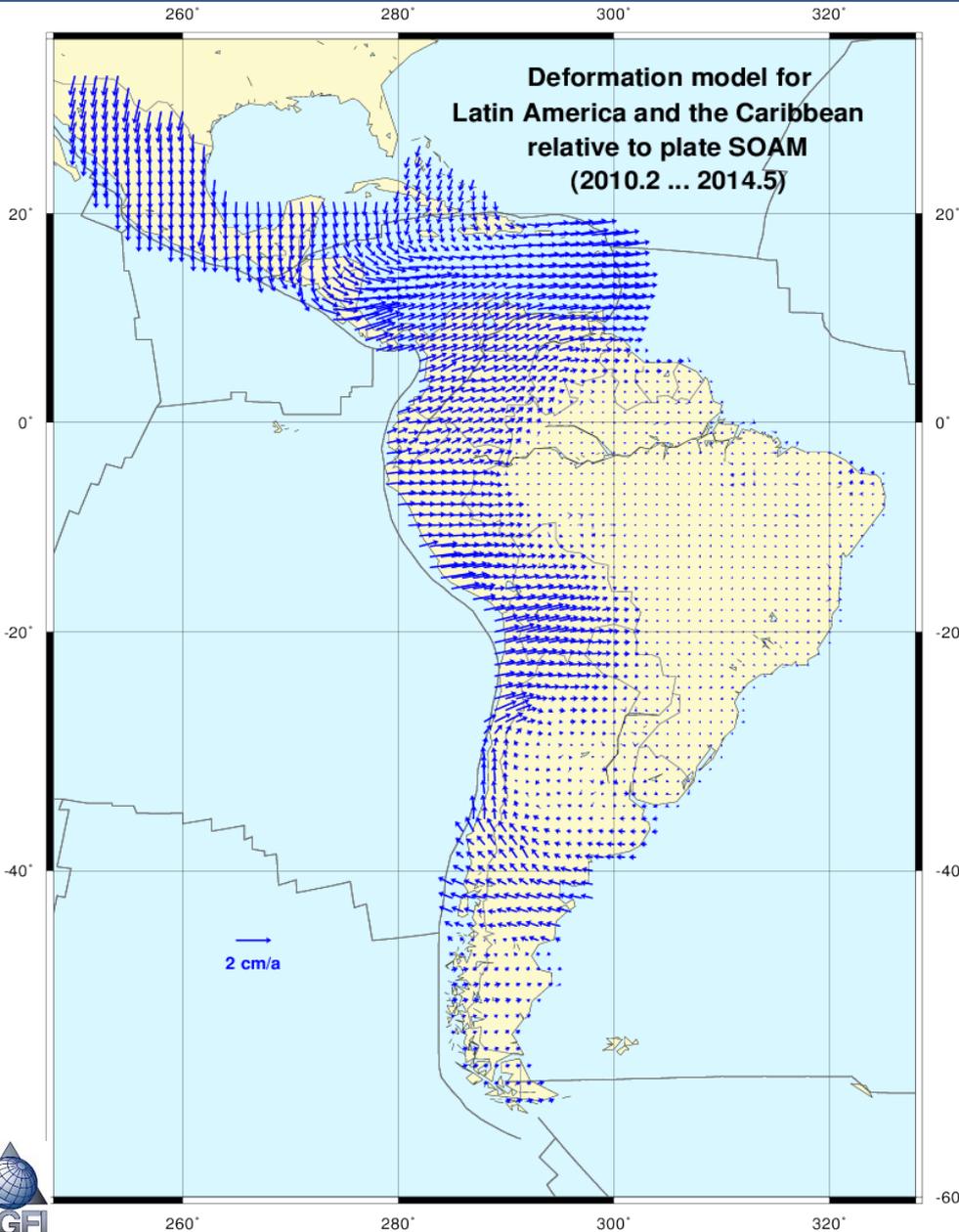
$$\begin{aligned} (d\varphi/dt)_k &= \omega_i \cdot \cos \Phi_i \cdot \text{sen}(\lambda_k - \Lambda_i) \\ (d\lambda/dt)_k &= \omega_i \cdot (\text{sen} \Phi_i - \cos(\lambda_k - \Lambda_i) \\ &\quad \cdot \tan \varphi_k \cdot \cos \Phi_i) \end{aligned}$$

Comparación de los vectores Ω

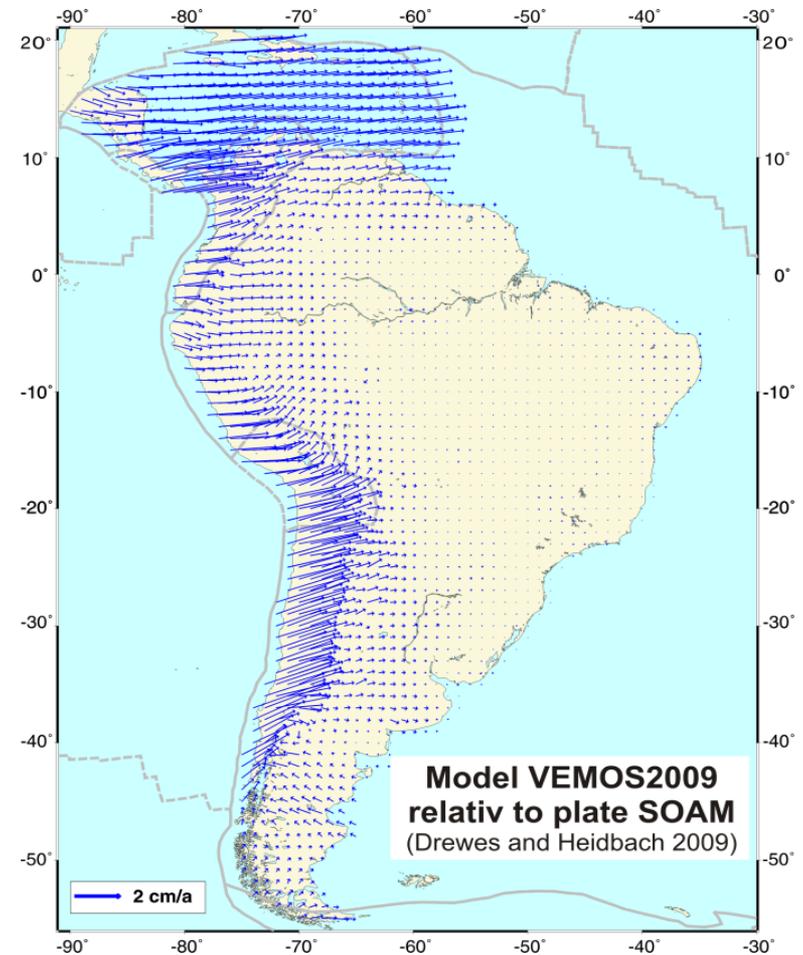
Placa	$\Phi [^\circ]$	$\Lambda [^\circ]$	$\omega [^\circ/\text{Ma}]$
CARB (SIR14)	$24,1 \pm 1,2$	$273,5 \pm 2,0$	$0,349 \pm 0,028$
(APKIM08)	$28,0 \pm 1,3$	$250,9 \pm 2,7$	$0,208 \pm 0,018$
SOAM (SIR14)	$-18,2 \pm 1,0$	$225,2 \pm 1,3$	$0,121 \pm 0,001$
(APKIM08)	$-19,4 \pm 1,0$	$237,8 \pm 1,5$	$0,127 \pm 0,002$

Las velocidades se reducen utilizando los vectores de rotación Ω de SIR14P01.

VEMOS2014 en comparación con VEMOS2009

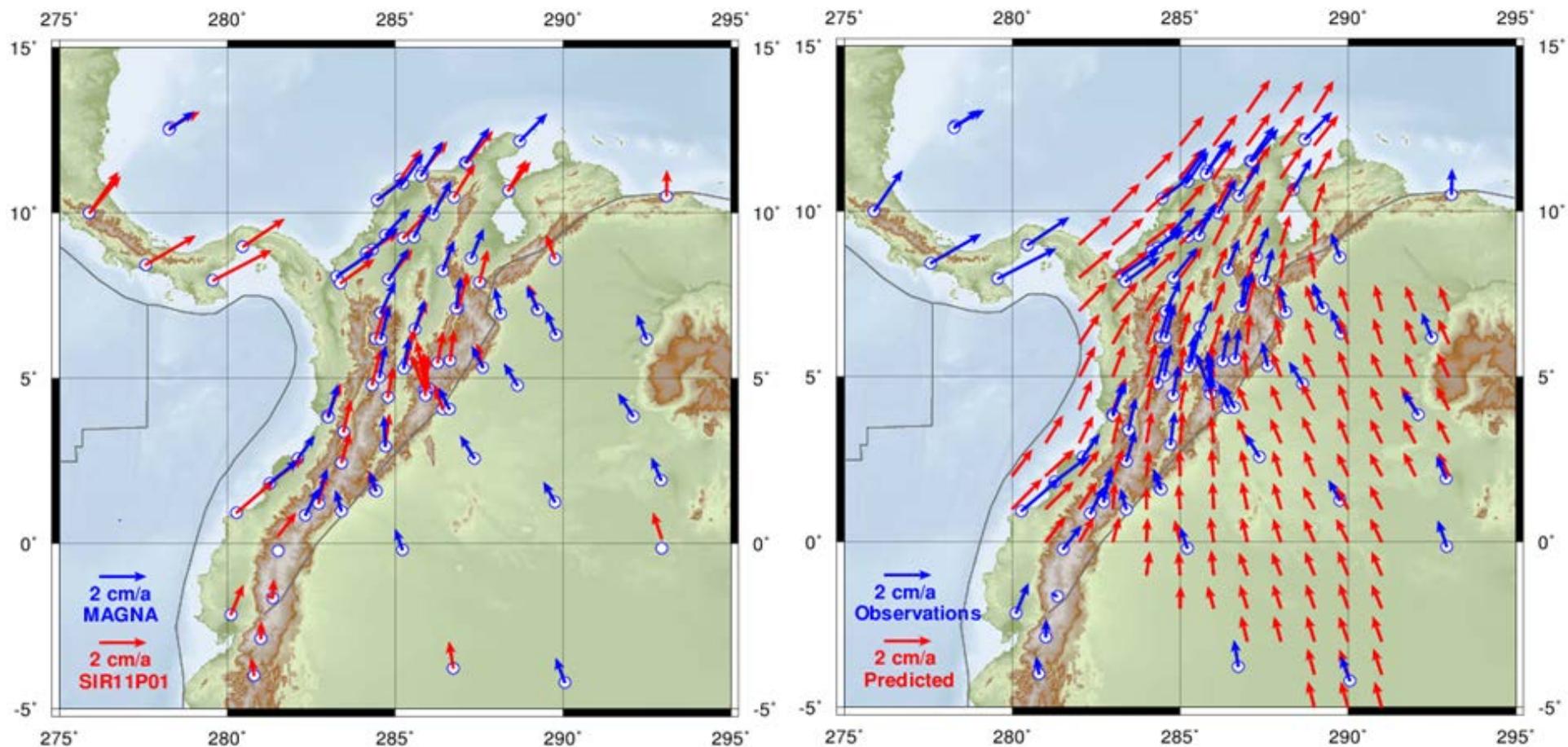


Diferencias mayores aparecen en la zona del terremoto Maule.

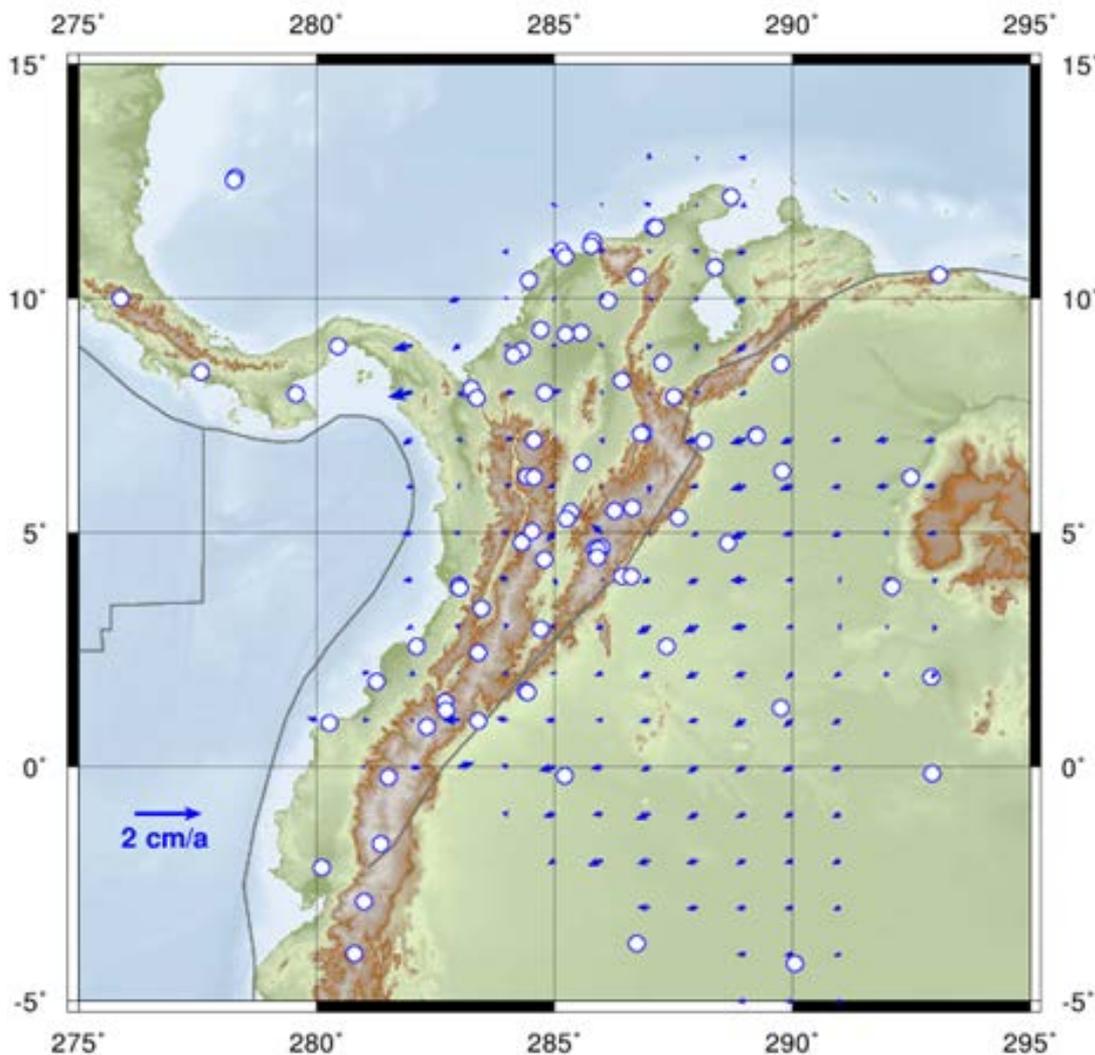


Modelo de velocidades regionales (Colombia)

Observación y predicción de los cambios de coordenadas en la red MAGNA-SIRGAS (Colombia) entre 1995 y 2011.



Modelo de velocidades regionales (Colombia)



Comparación con VEMOS 2009

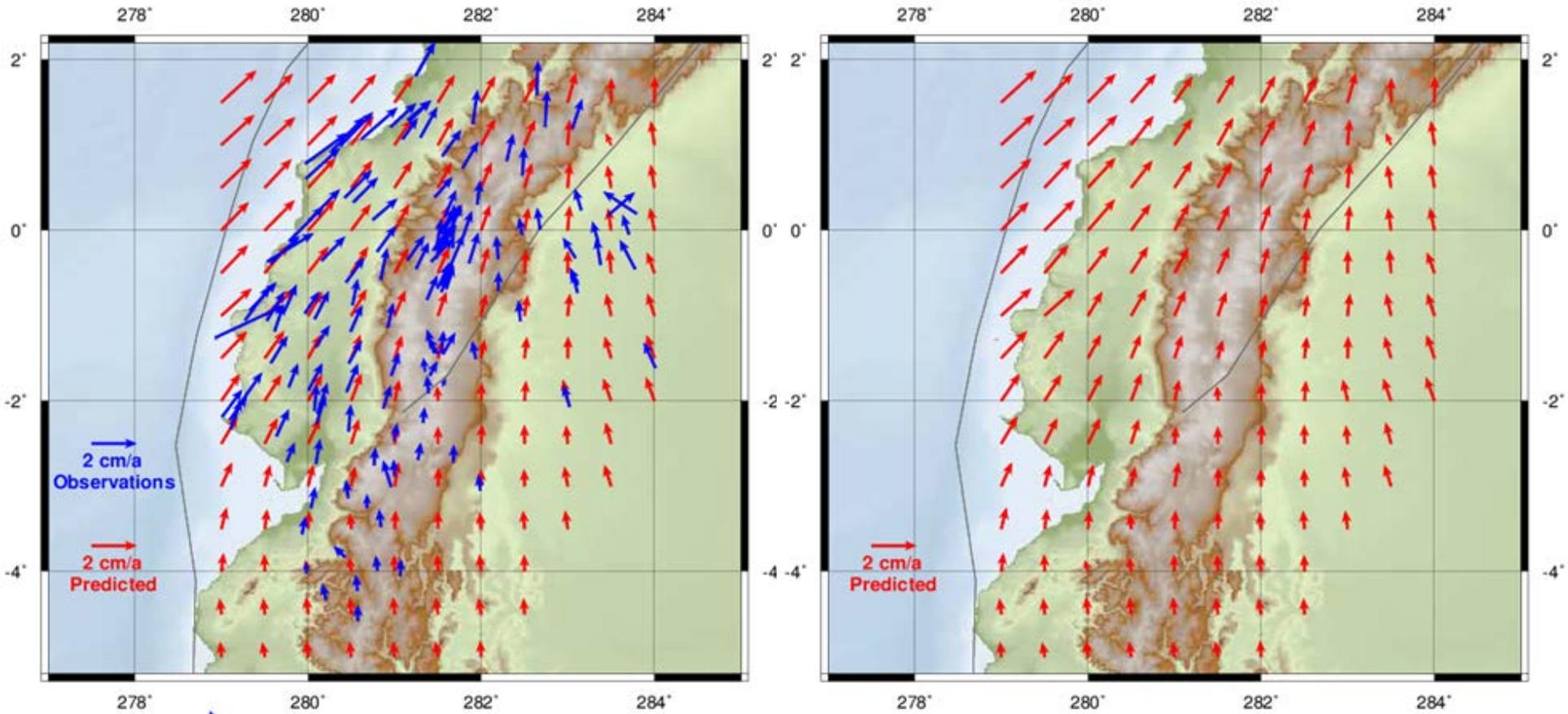
[mm/a]	Norte	Este
sistemática	-0.5	-1.4
máximo	2.1	4.2
mínimo	-2.3	-6.8
dif. r.m.s.	0.9	2.1

Observaciones:

- VEMOS2009 se basa en datos de campañas CASA en diferentes periodos;
- La precisión de VEMOS'09 es $\sim \pm 1$ mm/a en Norte y ± 1.5 mm/a en Este (Drewes y Heidbach 2012)

Modelo de velocidades regionales (Ecuador)

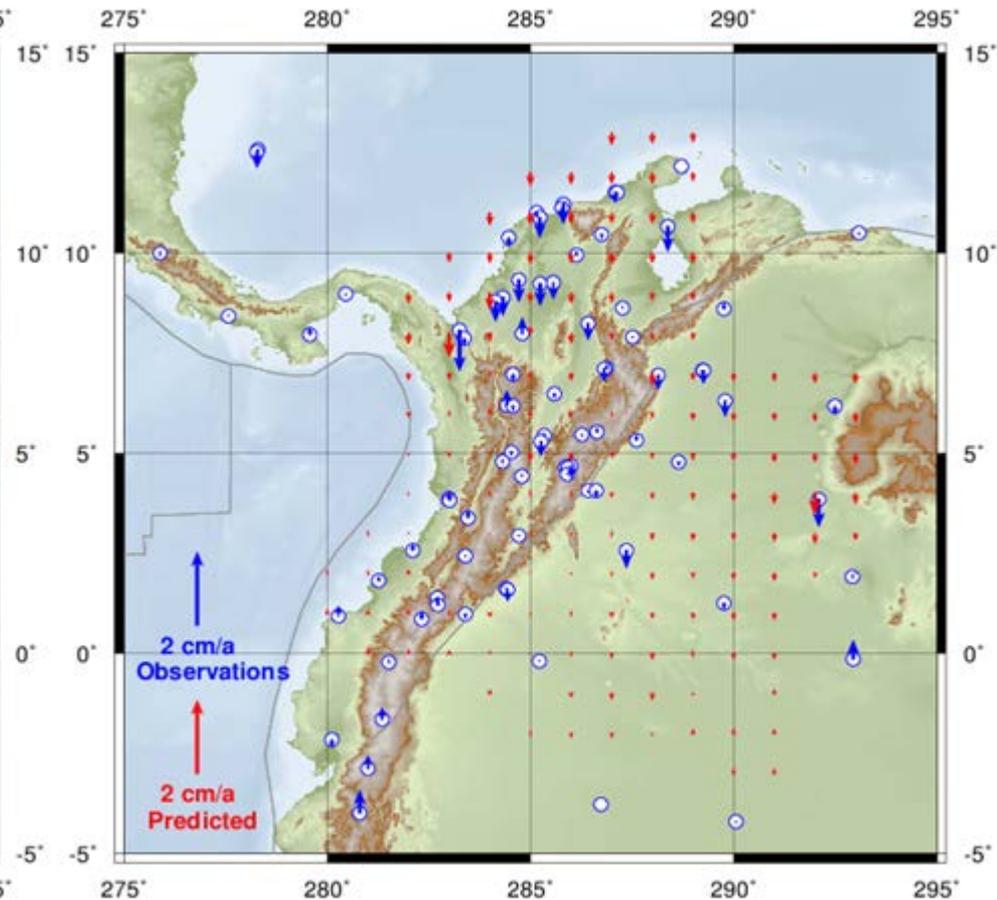
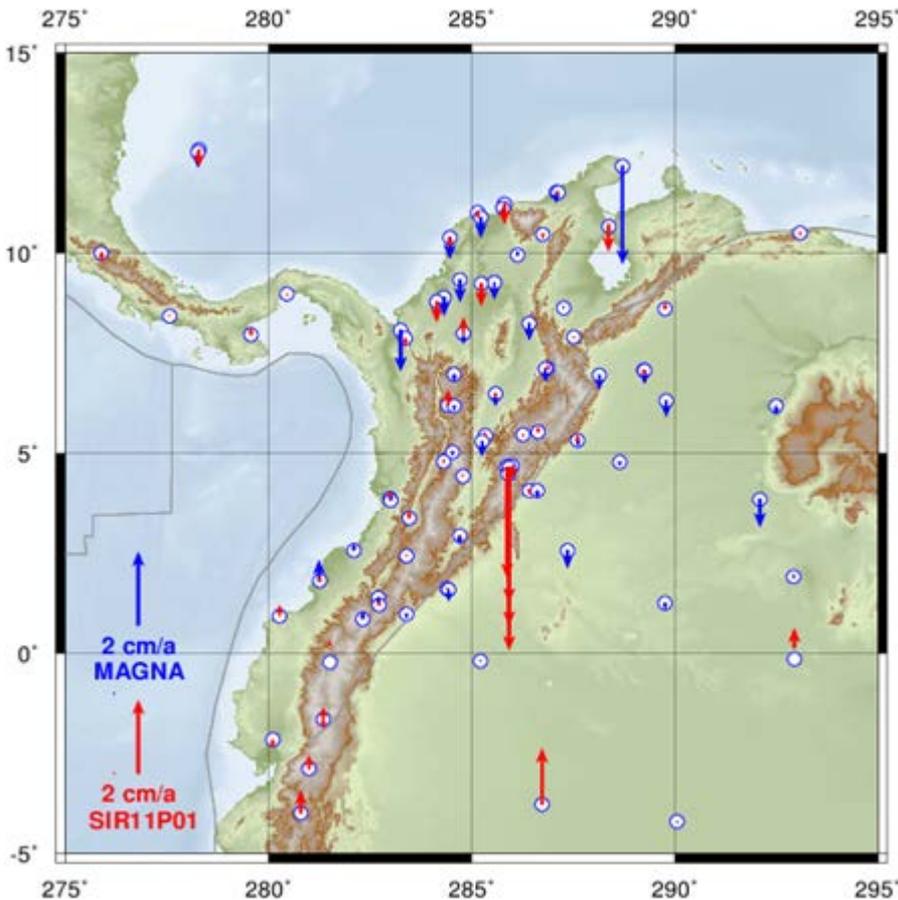
Observaciones y predicción de variaciones de coordenadas en la red REGME (Ecuador) entre 1995 y 2011.



Predicción de velocidades verticales

Observaciones

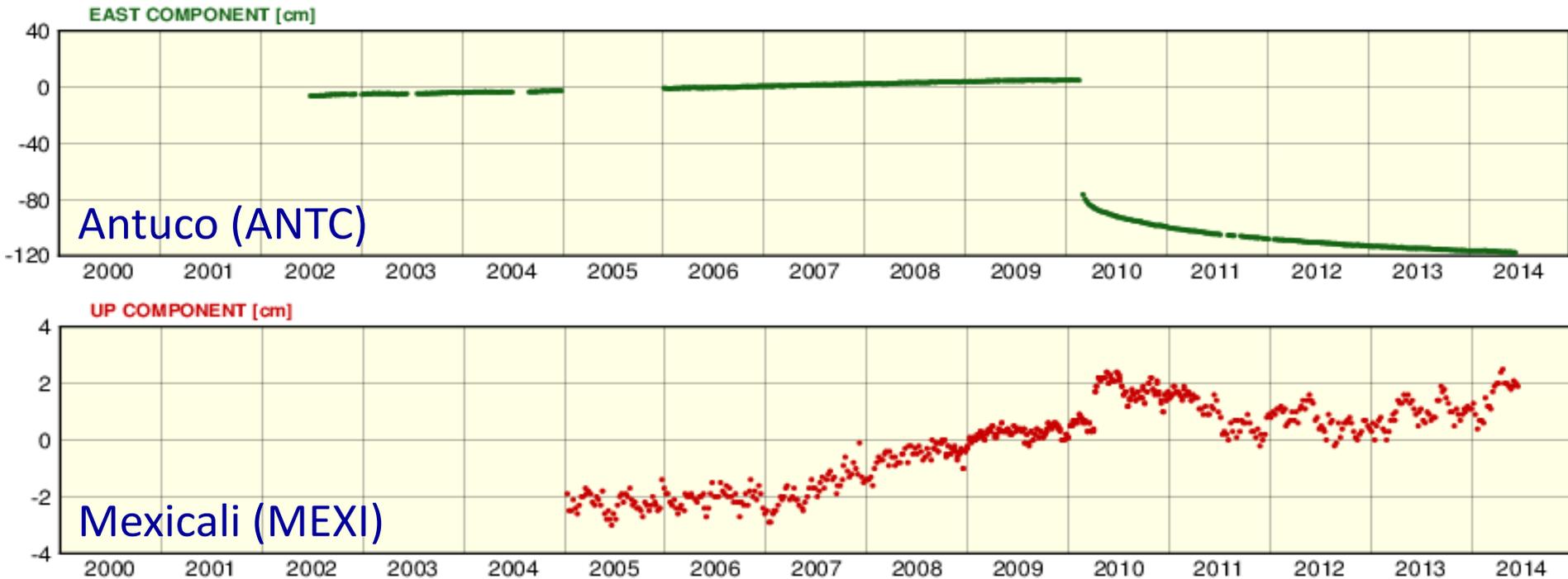
Predicción después de eliminaciones



La predicción de velocidades verticales es difícil, porque son muy locales

Conclusión (1/2)

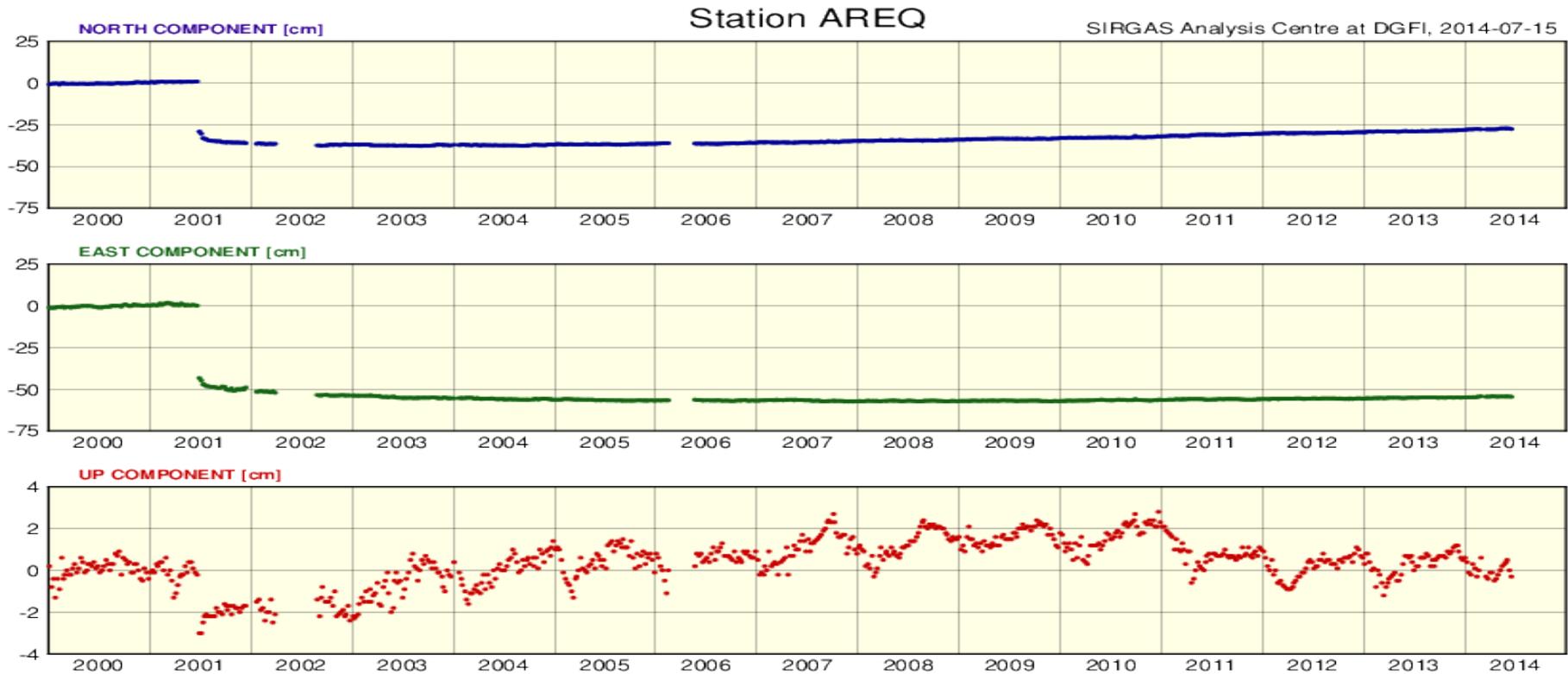
- El modelo VEMOS2014 vale, exclusivamente, para los movimientos promedios del período 2010 ... 2014.
- No se pueden extrapolar las velocidades, ya que no son constantes en diferentes períodos.



- El proceso de la recuperación de las velocidades no ha terminado.

Conclusión (2/2)

- Del terremoto de Arequipa 2001 sabemos que tardará ~ 10 años para tener otra vez una velocidad constante como antes del sismo.



- Hay que calcular un VEMOS con alta frecuencia (\sim cada año) o hay que seguir la estrategia de MoNoLin.

Muchas gracias!