

Cómo mitigar el impacto de eventos sísmicos en los marcos de referencia?

Hermann Drewes, Laura Sánchez,
Claudio Brunini, Virginia Mackern



Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Alemania



Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas,

Universidad Nacional de La Plata, Argentina



Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina

Universidad Juan Agustín Maza, Mendoza, Argentina



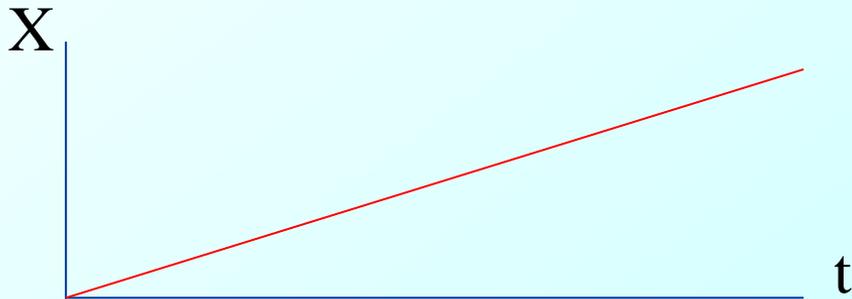
Reunión SIRGAS, Heredia, Costa Rica, 8-10 de agosto de 2011

Estado actual de los marcos de referencia

Los marcos de referencia se realizan, actualmente, por las coordenadas X, Y, Z para una época fija y sus variaciones lineales en el tiempo (o bien sus velocidades constantes) dX/dt , dY/dt , dZ/dt .

Las coordenadas de una época t_i de observación se extrapolan

$$\underline{\mathbf{X}}(t_i) = \underline{\mathbf{X}}(t_0) + \underline{\mathbf{dX}}/dt \cdot (t_i - t_0)$$



Problemas actuales de los marcos de referencia

En realidad, las series de coordenadas de las estaciones muestran variaciones no lineales por varias razones:

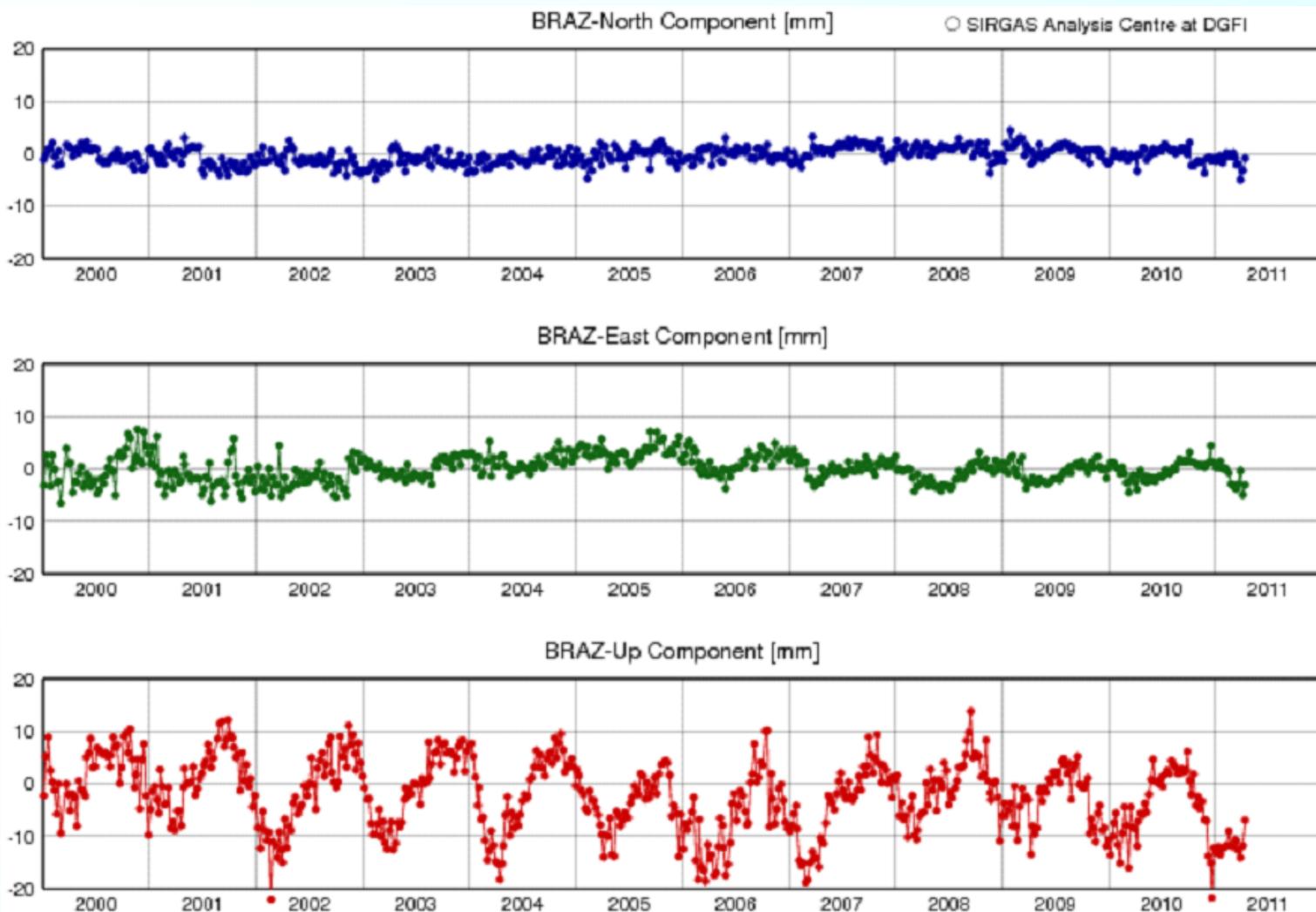
- variaciones temporales (estacionales) por efectos climáticos (deformaciones por carga atmosférica e hidrológica, cambio de temperatura por insolación, etc.),
- variaciones de períodos largos, p.ej. por efectos hidrológicos (sequedad, variación del agua subterránea),
- variaciones a largo plazo, p.ej. por efectos hidrológicos (carga, extracción de agua o petróleo, etc.),
- discontinuidades por efectos sísmicos, que generan un salto de las coordenadas en la serie y un cambio de la velocidad.

Como consecuencia, las velocidades constantes (cambio lineal de las coordenadas) no son verdaderas en muchos casos.



Ejemplos de variaciones no lineales

1. Variación temporal: Residuales de Brasilia (BRAZ)



(Ref.:
SIRGAS,
2011)

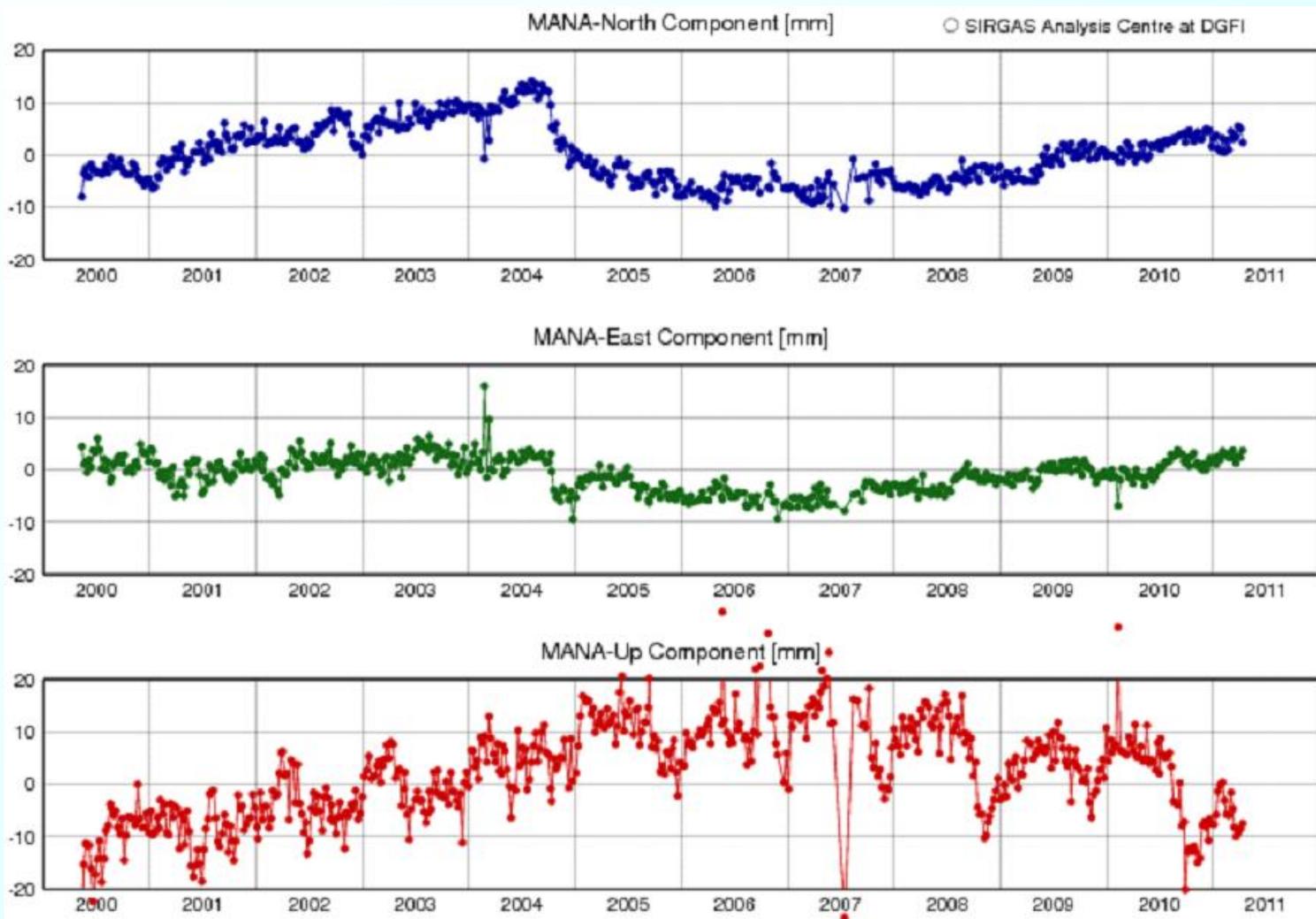
↕ 1 cm

↕ 3 cm



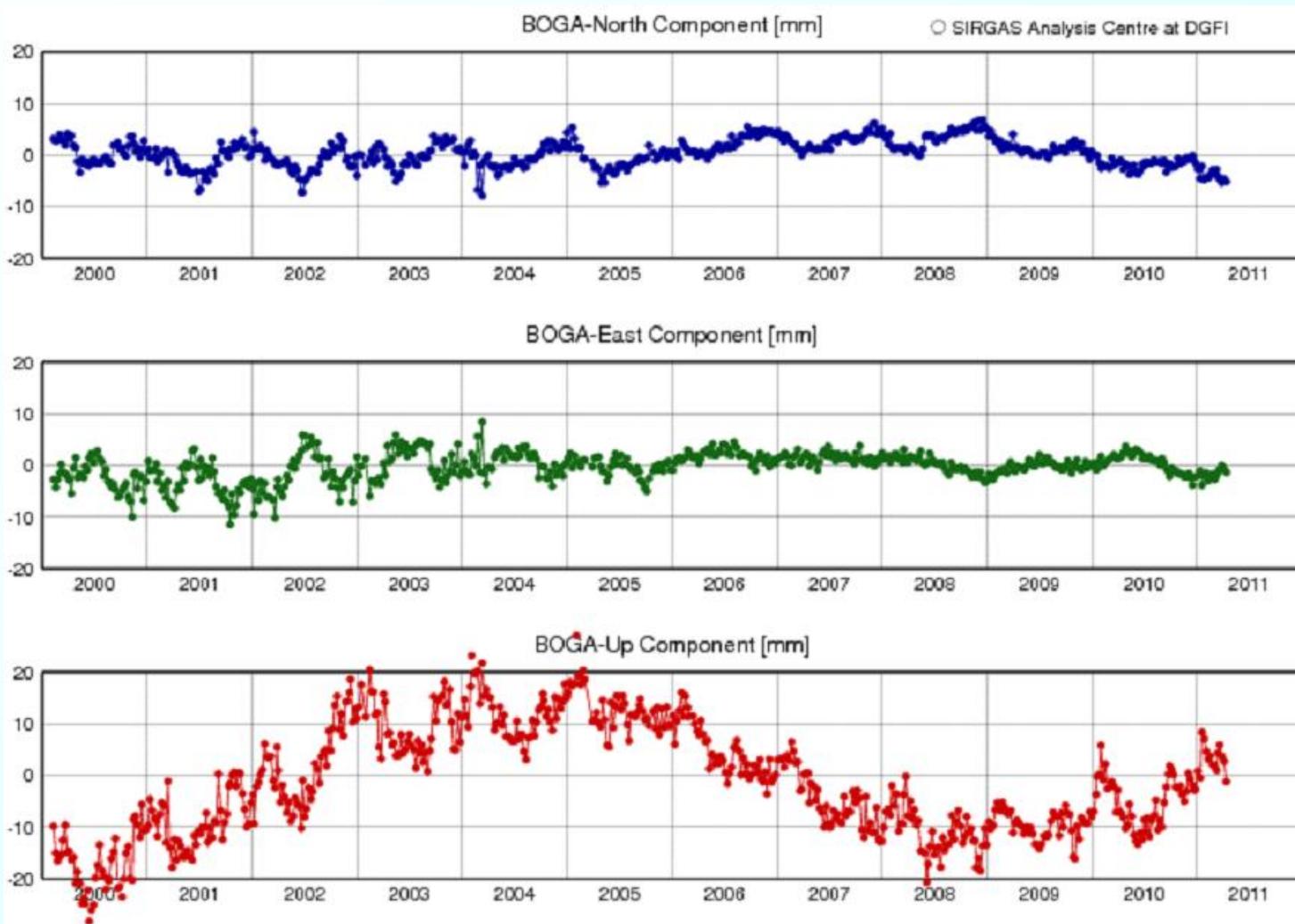
Ejemplos de variaciones no lineales

2. Variación a largo plazo: Residuales de Managua (MANA)



Ejemplos de variaciones no lineales

2. Variación a largo plazo: Residuales de Bogotá (BOGA)



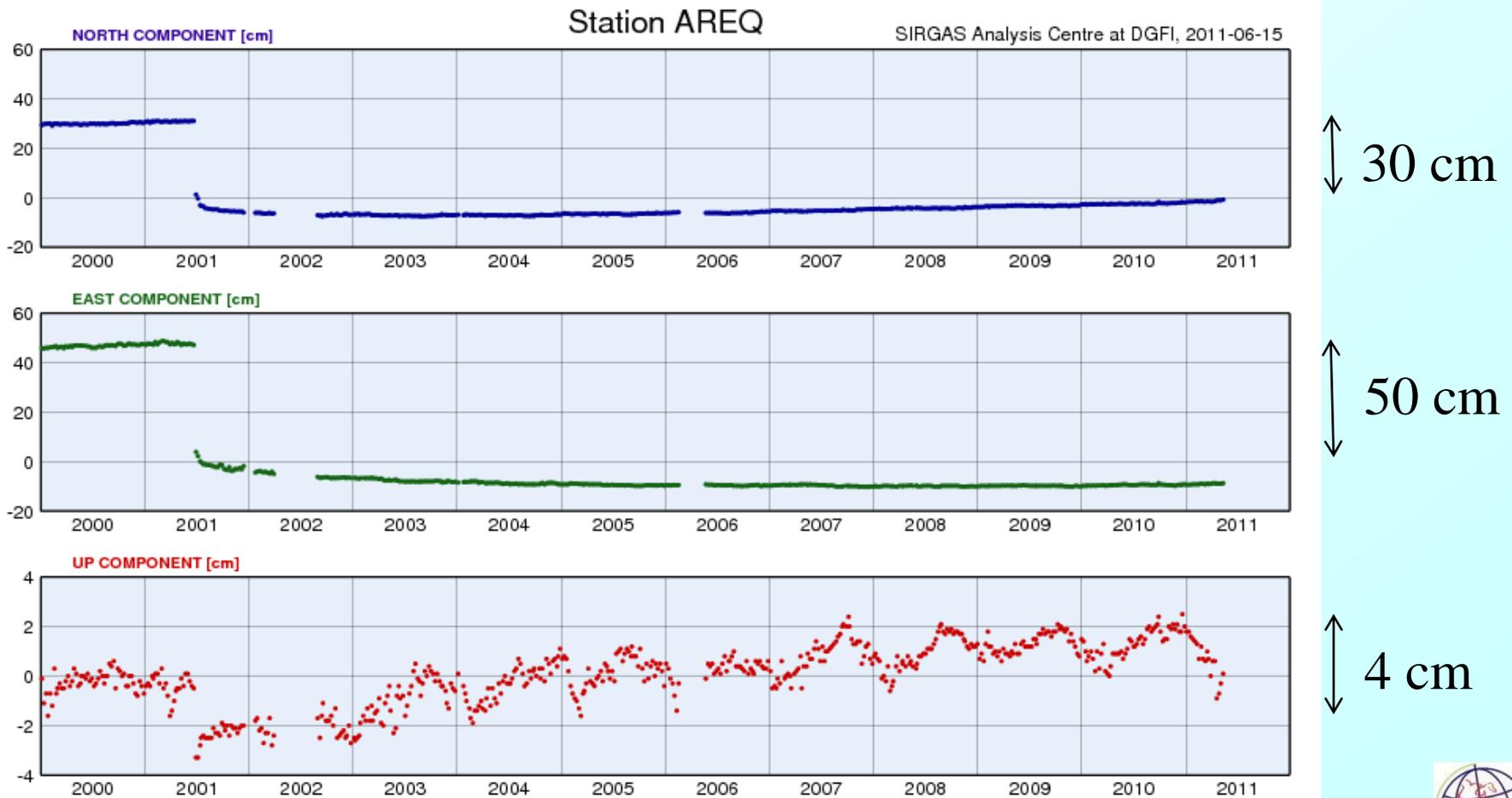
1 cm

4 cm



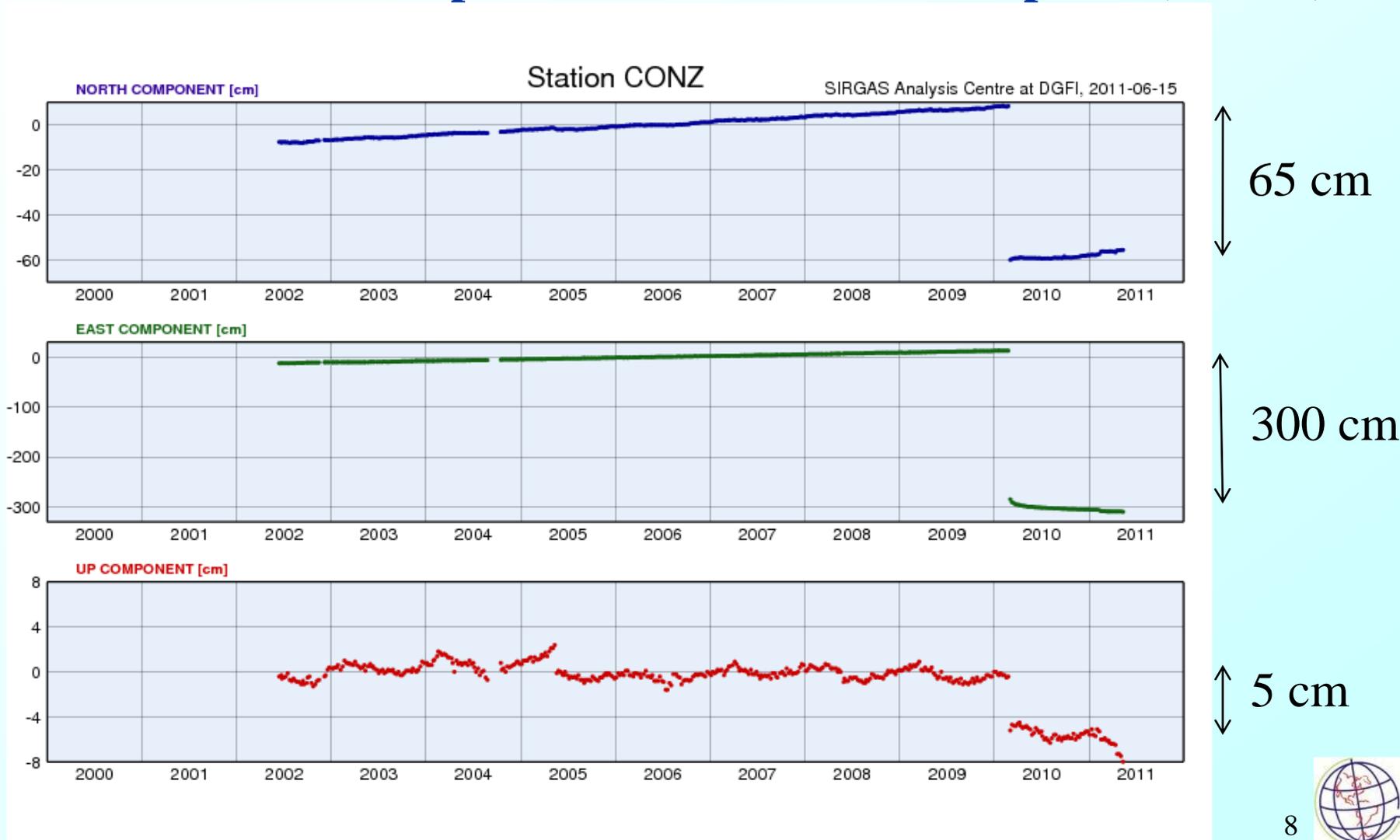
Ejemplos de variaciones no lineales

3. Discontinuidades por sismos: Salto en Arequipa (AREQ)



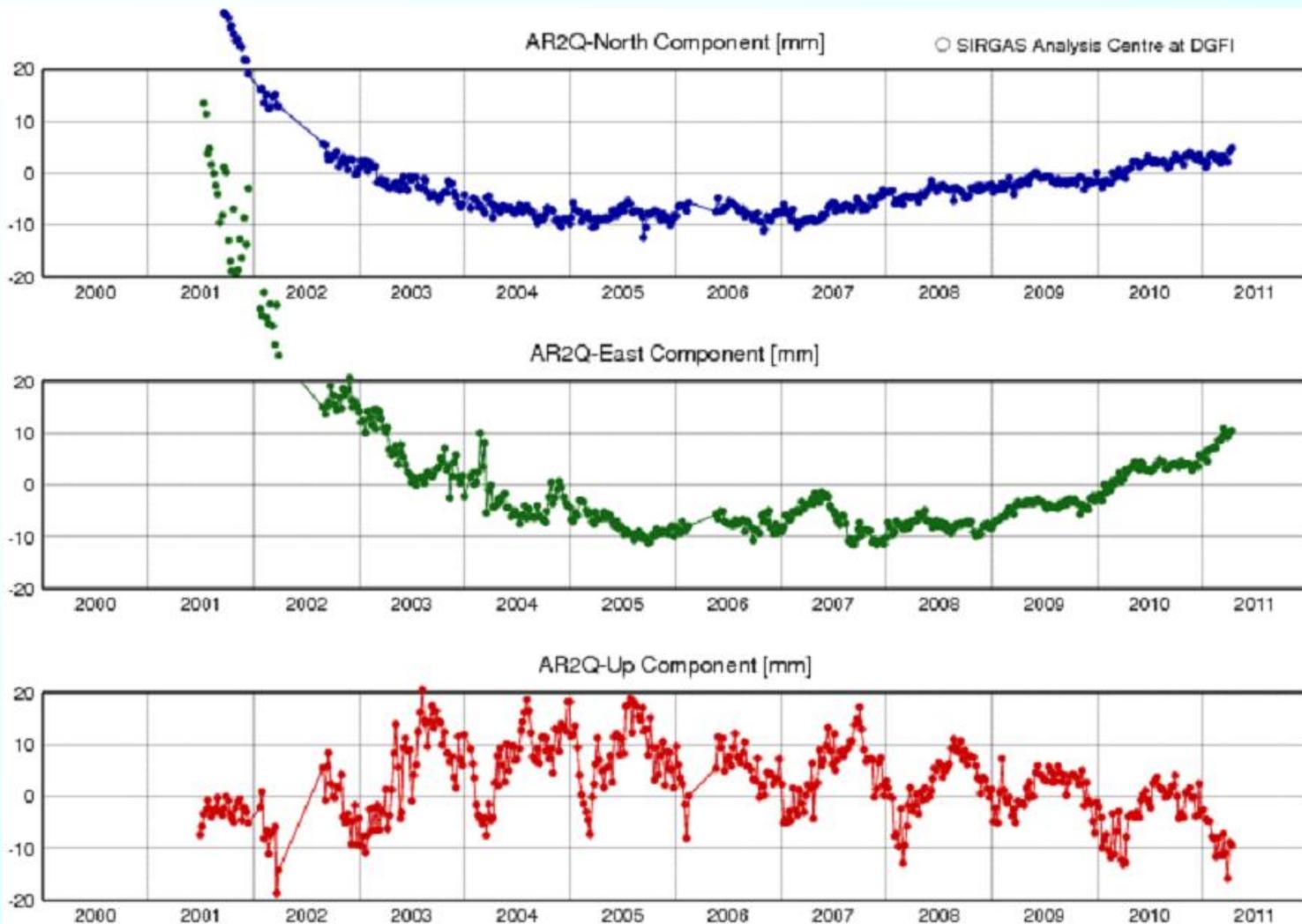
Ejemplos de variaciones no lineales

3. Discontinuidades por sismos: Salto en Concepción (CONZ)



Ejemplos de variaciones no lineales

4. Variación de velocidad después del terremoto en Arequipa



3 cm

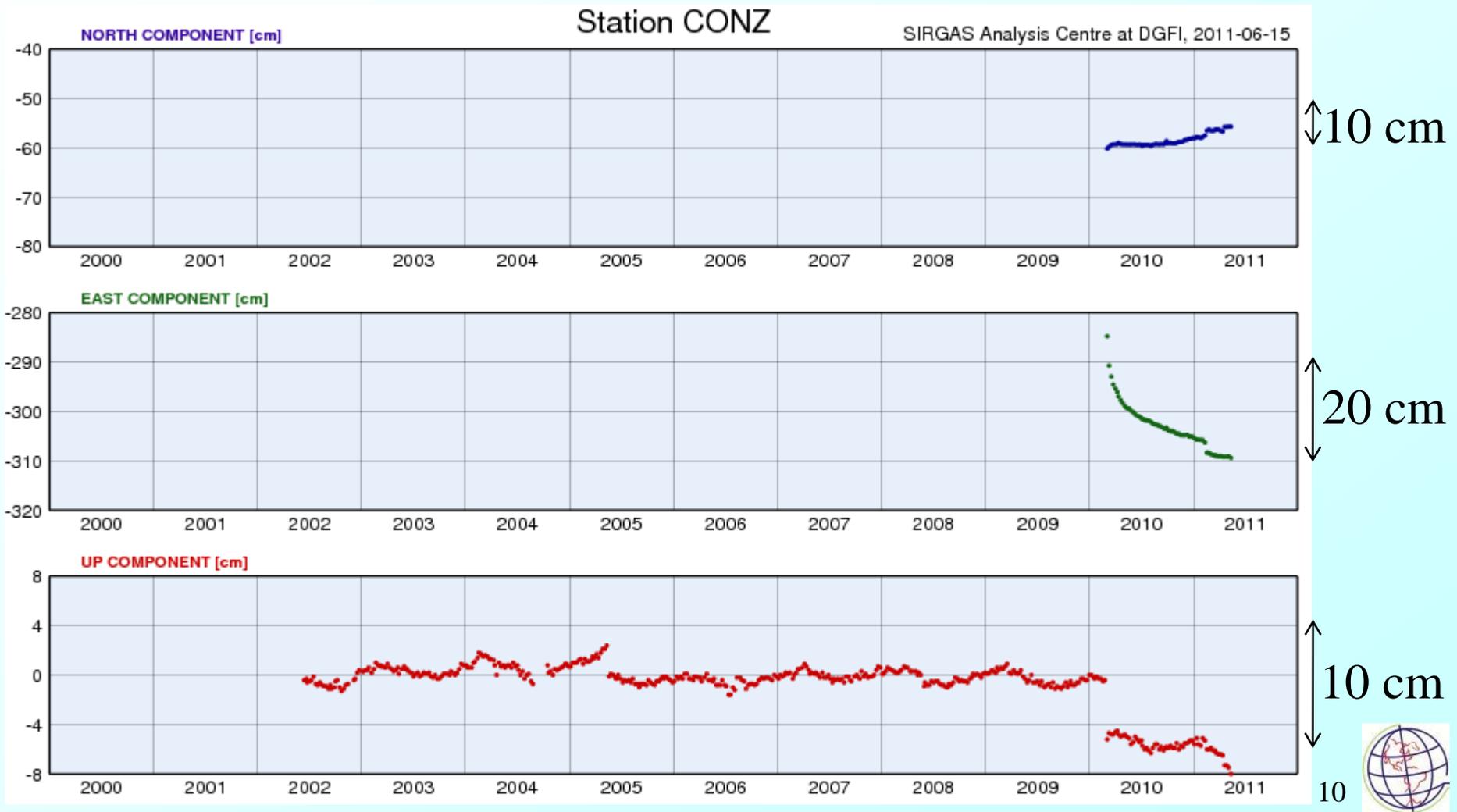
3 cm

3 cm



Ejemplos de variaciones no lineales

4. Variación de velocidad después del terremoto en Concepción

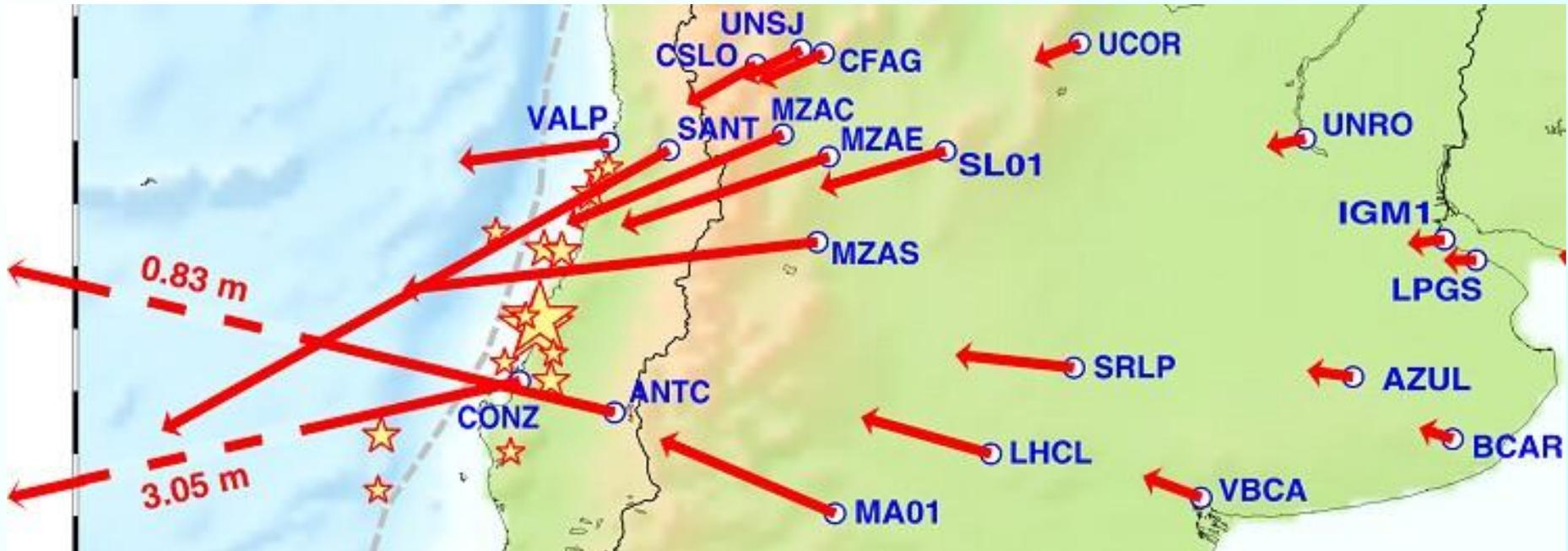


El problema en la práctica

- Las posiciones actuales de las estaciones no corresponden a las coordenadas dadas por el marco de referencia para la época t_0 mas su variación lineal: $X(t_i) \neq X(t_0) + dX/dt \cdot (t_i - t_0)$.
- Se conocen los desplazamientos verdaderos en las estaciones de observación continua, pero ...
 - se necesitan también los desplazamientos de las estaciones de referencia medidas en campañas para garantizar la relación de sus posiciones actuales con respecto a las coordenadas del marco de referencia (en Chile: SIRGAS 2002),
 - se necesitan los desplazamientos de todos los puntos oficiales (límites, catastro, ingeniería, etc.) con respecto al sistema oficial.
- Cómo conseguir la relación entre las coordenadas antes de un terremoto y después del terremoto?



Deformación regional por el terremoto Maule



La idea para solucionar el problema general es interpolar los desplazamientos en puntos nuevos a partir de aquellos en los puntos conocidos.

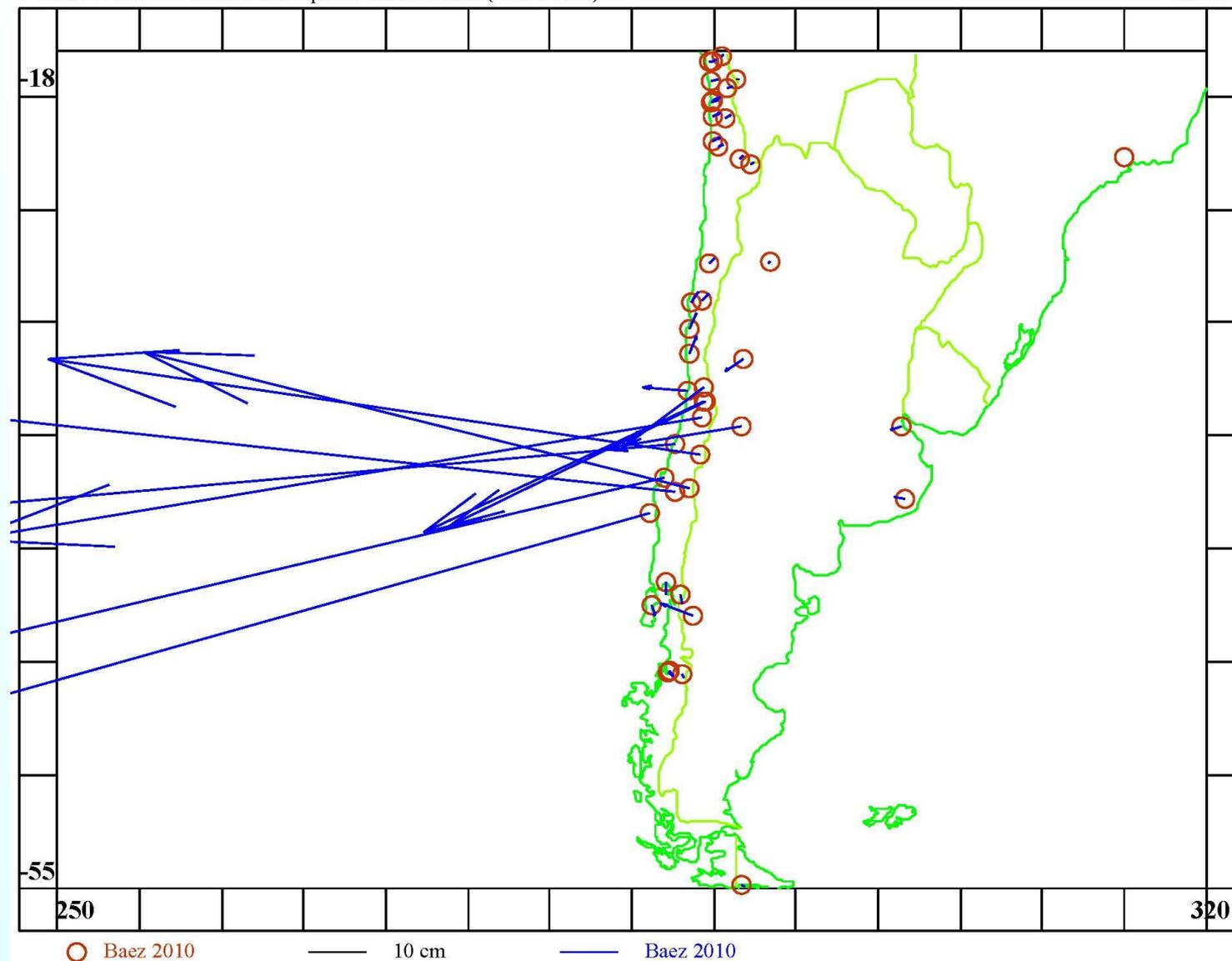
Una posibilidad es la colocación por mínimos cuadrados de la misma manera como se interpolan las velocidades (VEMOS).



Red densificada de desplazamientos (Baez 2010)

PCKONTI: Maule earthquake deformation (Baez 2010)

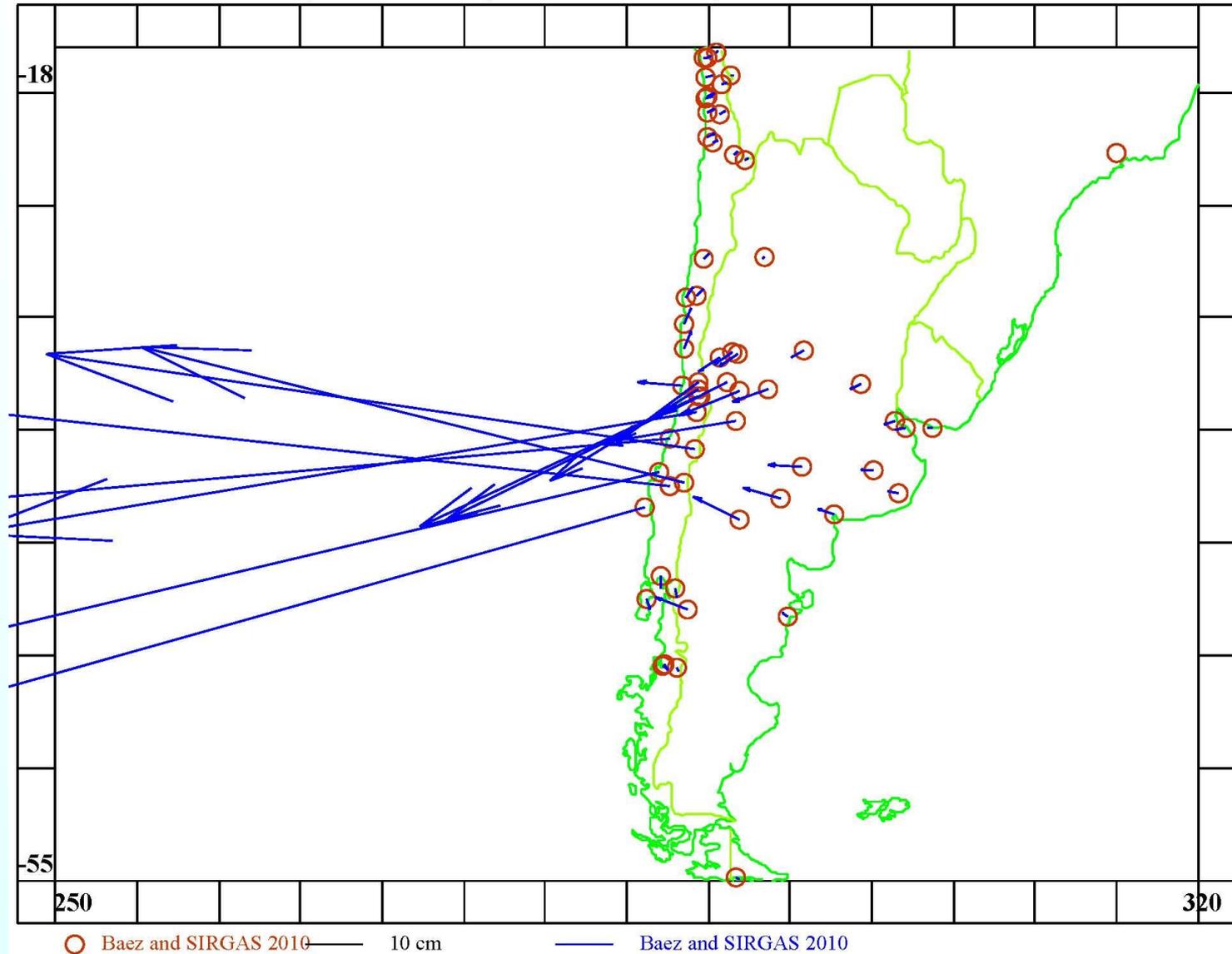
2011.07



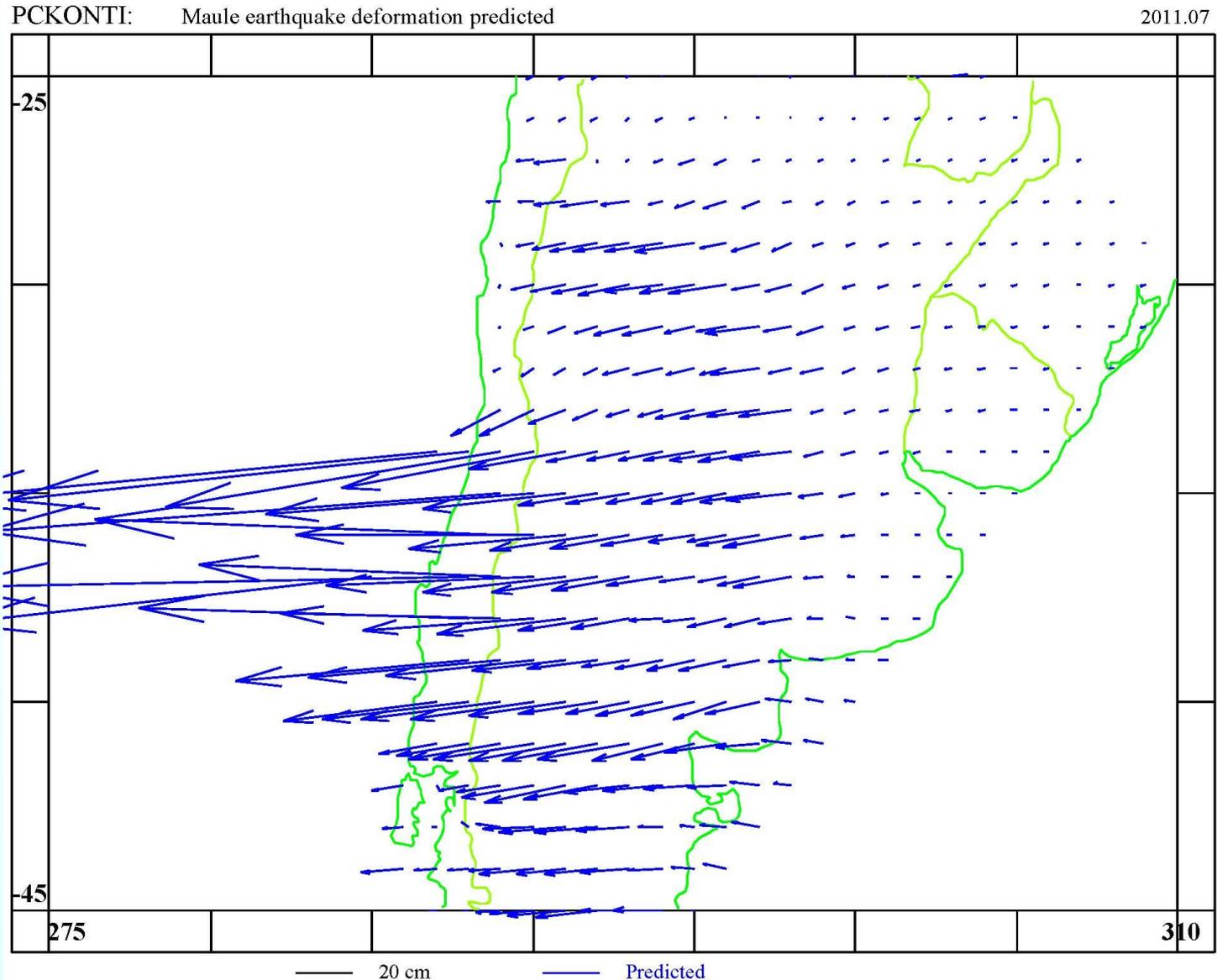
Red Baez con estaciones SIRGAS adicionales

PCKONTI: Maule earthquake deformation (Baez and SIRGAS 2010)

2011.07



Interpolación por colocación (mínimos cuadrados)



Errores de la interpolación (con VELINTER)

Estación	Phi	Lda	d(Phi) ¹	d(Lda) ¹	Δ (Phi)	Δ (Lda)
ALUM	-27.3234	293.4034	-0.0015	-0.0018	0.0019	0.0072
COPO	-27.3845	289.6618	0.0095	0.0120	0.0045	0.0263
CMPN	-29.0282	289.3142	0.0117	0.0107	0.0027	0.0076
CRZL	-29.1016	288.5903	0.0177	0.0144	0.0053	0.0181
BTON	-30.2632	288.5128	0.0233	0.0119	0.0024	0.0048
CNBA	-31.3982	288.5421	0.0282	0.0123	0.0118	0.0241
CFAG	-31.6022	291.7674	-0.0188	-0.0319	0.0027	0.0387
LNDS	-32.8396	289.4244	-0.0957	-0.1415	-0.0061	0.0120
VALP	-33.0272	288.3739	0.0072	-0.0790	0.0255	0.1423
ACPM	-33.4472	289.4626	-0.1948	-0.4415	-0.0181	0.0086
DGF1	-33.4573	289.3383	-0.2058	-0.4878	-0.0300	-0.0258
BAVE	-34.1676	289.2344	-0.1930	-1.2779	-0.0120	-0.0106
BUE1	-34.5737	301.4807	-0.0062	-0.0208	0.0004	0.0055

¹ variación por movimiento lineal sería < 1 mm en Phi y Lda



Errores de la interpolación

Estación	Phi	Lda	d(Phi)	d(Lda)	$\Delta(\text{Phi})$	$\Delta(\text{Lda})$
MZAS	-34.6149	291.6655	-0.0362	-.2448	0.0023	0.0470
CONS	-35.3310	287.5878	-0.3844	-4.8332	-0.0287	-.4550
MAUL	-35.8100	289.1790	0.1479	-1.1348	0.0675	0.1525
CONZ	-36.8438	286.9745	-0.6701	-3.1283	-0.1232	-.1755
ANTC	-37.3387	288.4679	0.2143	-.9489	0.0603	0.1492
UDEC	-37.4723	287.6552	0.1650	-1.6842	0.0907	0.0627
BCAR	-37.7612	301.6989	0.0024	-.0205	0.0007	0.0025
CHAI	-42.0000	288.0000	-0.0145	0.0012	0.0196	0.1874
MOCH	-38.4101	286.0952	-0.3684	-1.4523	-0.0655	-.0418
PMO1	-41.4686	287.0611	-0.0194	0.0015	0.0044	0.0454
CSTR	-42.4776	286.2080	-0.0157	0.0056	-0.0001	0.0187
ESQU	-42.9171	288.6766	0.0176	-.0551	0.0105	0.0203

Resumen: La información disponible (número de puntos con desplazamiento conocido) no es suficiente.



Conclusión

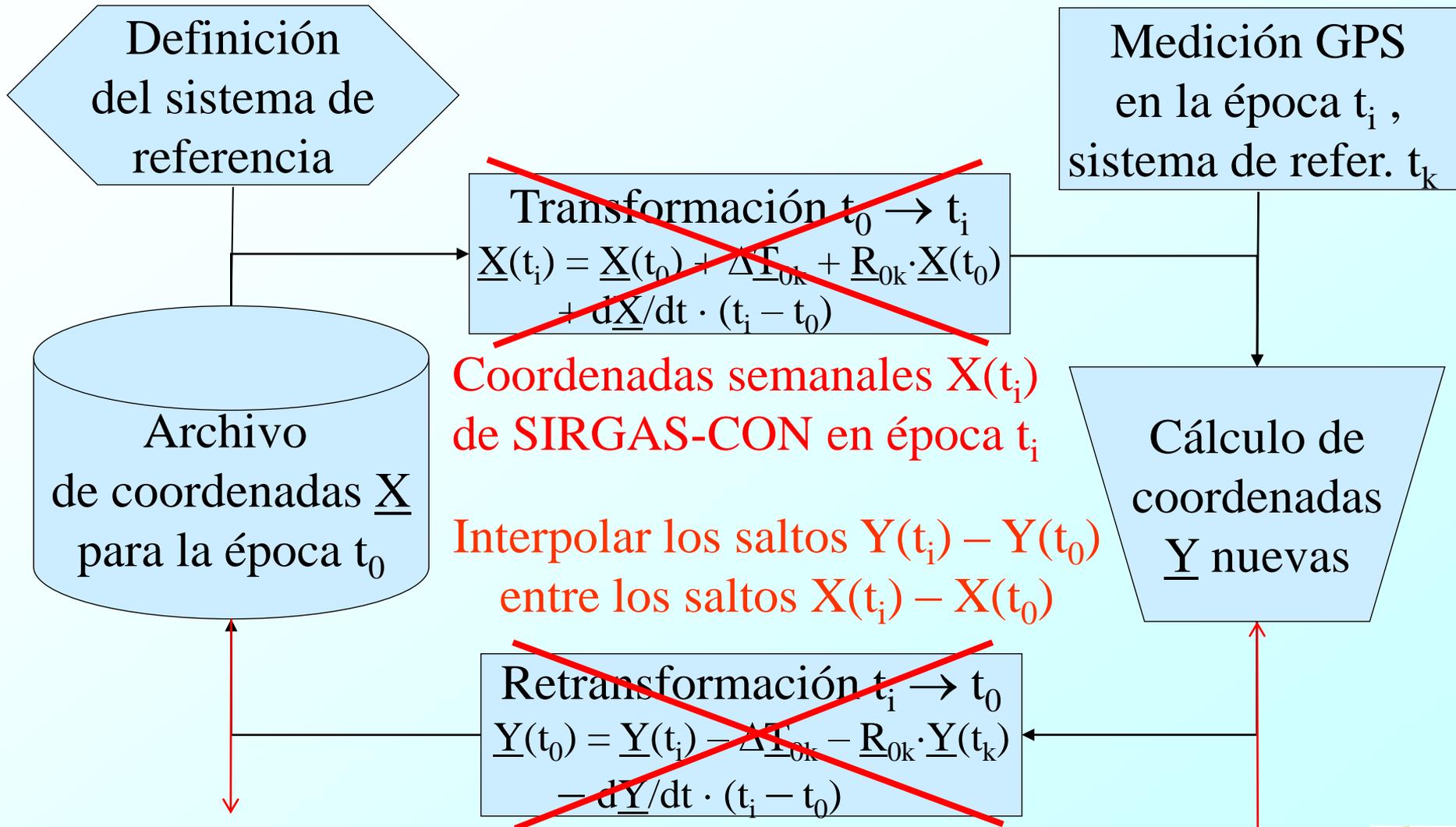
- La interpolación de los desplazamientos no es satisfactorio en el presente, pero es mucho mejor que utilizar variaciones lineales de las coordenadas (velocidades constantes).
- Para mejorar la interpolación, se necesitaría una red de puntos con desplazamiento conocido muy densa (distancias < 100 km).

Propuesta

- Como hay muchos puntos con variaciones de coordenadas no lineales, en particular en zonas sísmicas, se recomienda **no** utilizar velocidades constantes para la extrapolación entre épocas.
- Se recomienda utilizar las coordenadas semanales (SIRGAS) de la época de medición, calcular las diferencias a la época de referencia e interpolar las diferencias entre épocas (saltos) en otros puntos.
- Para esto se necesita una red densa de estaciones continuas.



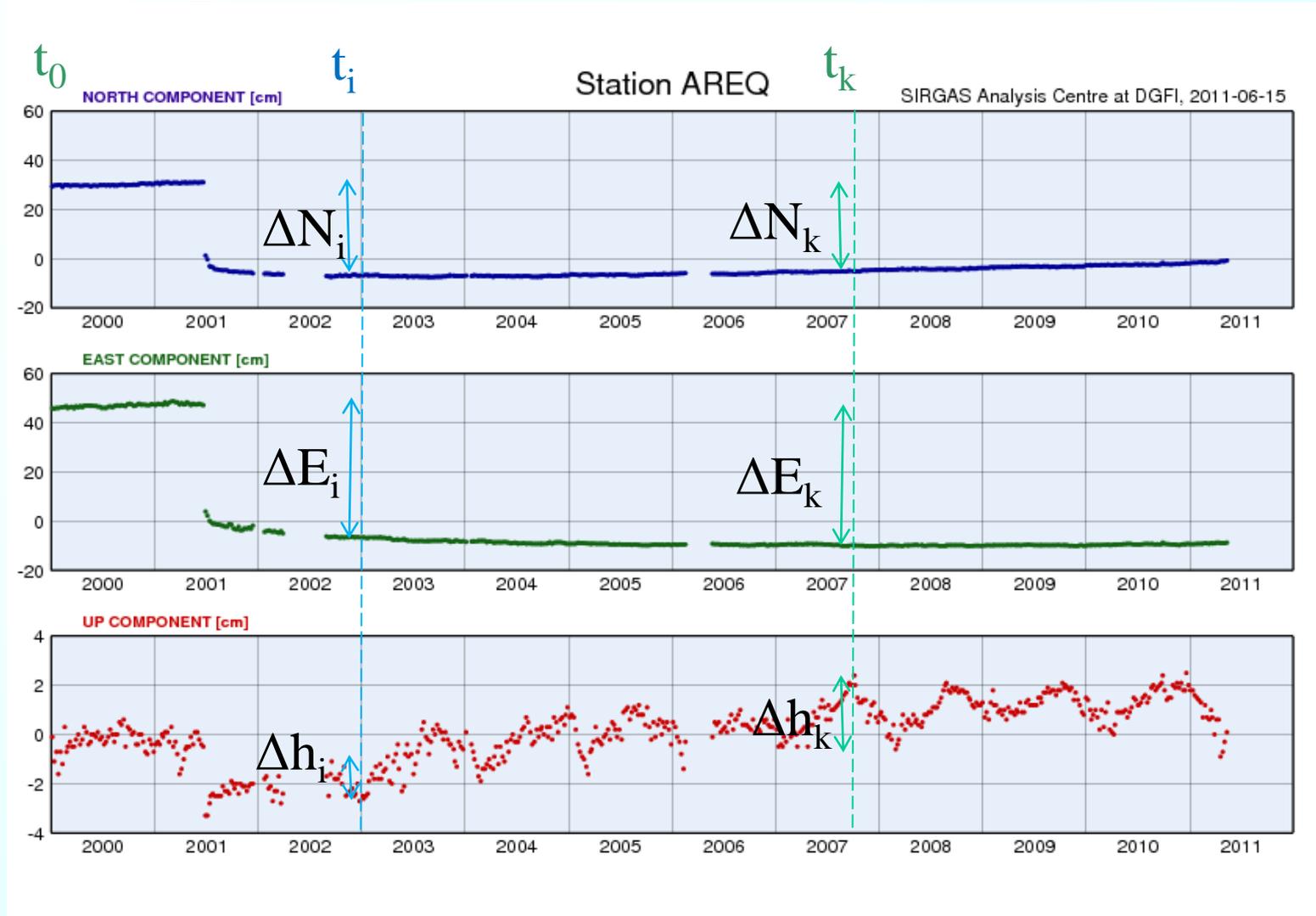
Uso del ITRF2008 o IGS08, respectivamente



Mejor: Definir un sistema nuevo e interpolar saltos



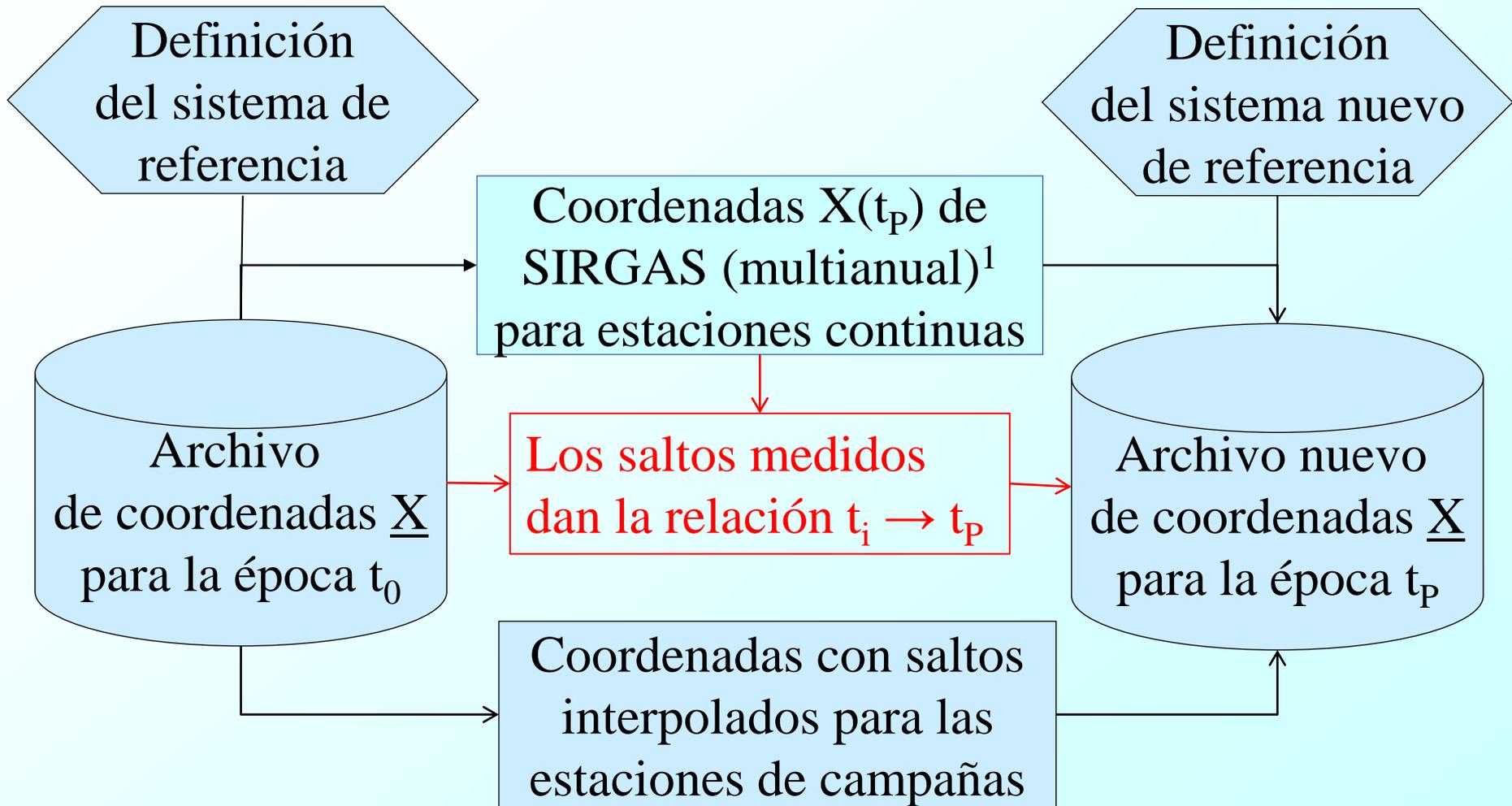
Exemplo del sistema de referencia semanal



Evolución con el tiempo por diferencias en vez de velocidades 20

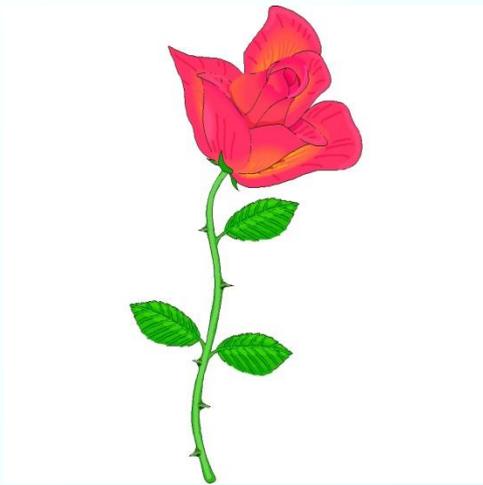


Sistema de referencia post-sísmico (época t_p)



¹ Se pueden calcular después de dos años del terremoto





Gracias!



Gracias!