

Uso de las coordenadas SIRGAS en los marcos nacionales de referencia

H. Drewes¹, C. Brunini², L. Sánchez¹, V. Mackern³, W. Martínez⁴



¹Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)



²Universidad Nacional de La Plata (UNLP)



³Universidad Nacional de Cuyo (UNC)



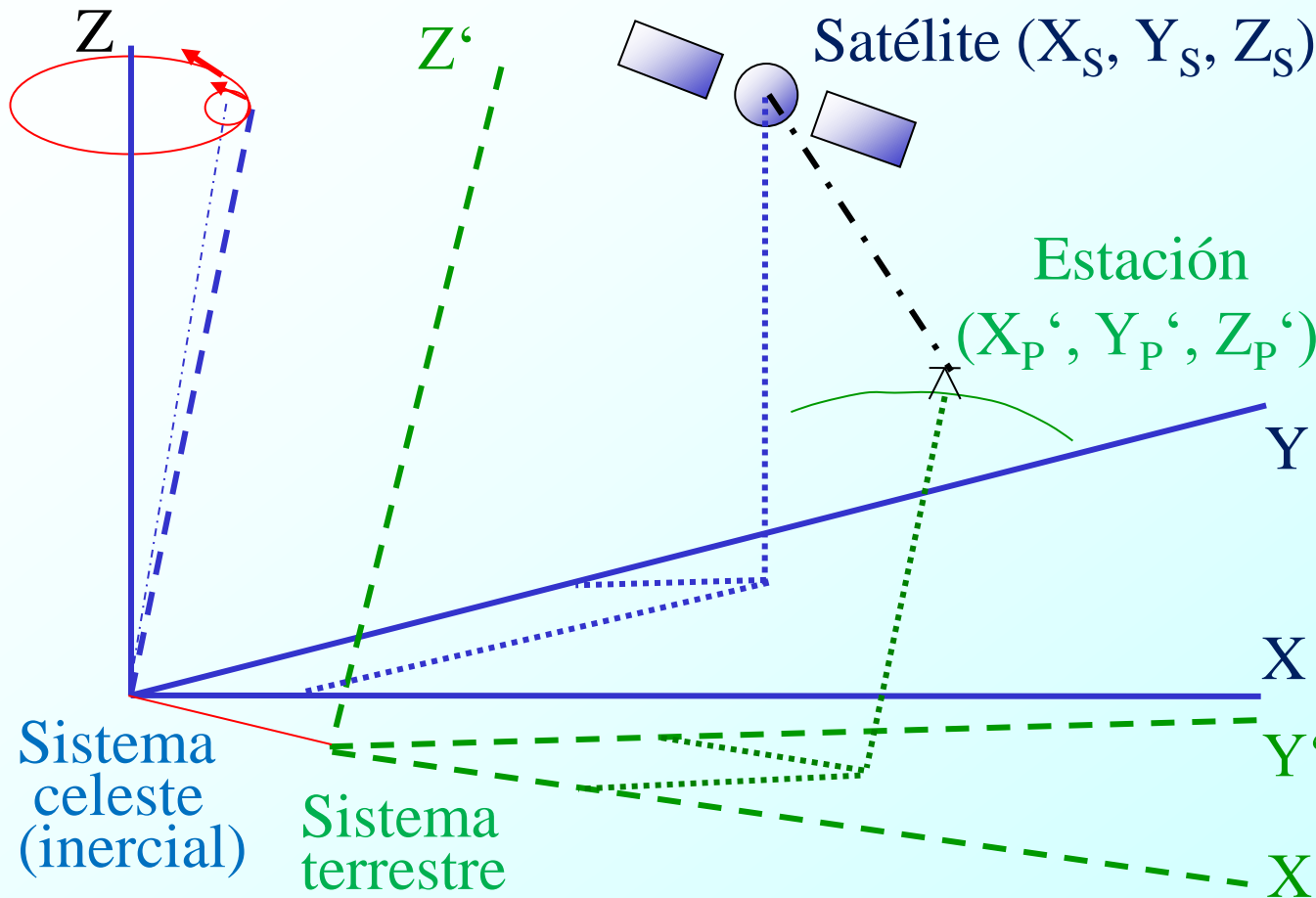
⁴Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)



Reunión SIRGAS, Lima, Perú, 11-12 de noviembre de 2010

Principios del posicionamiento por satélites

Estaciones y satélites deben referirse al mismo marco de referencia.



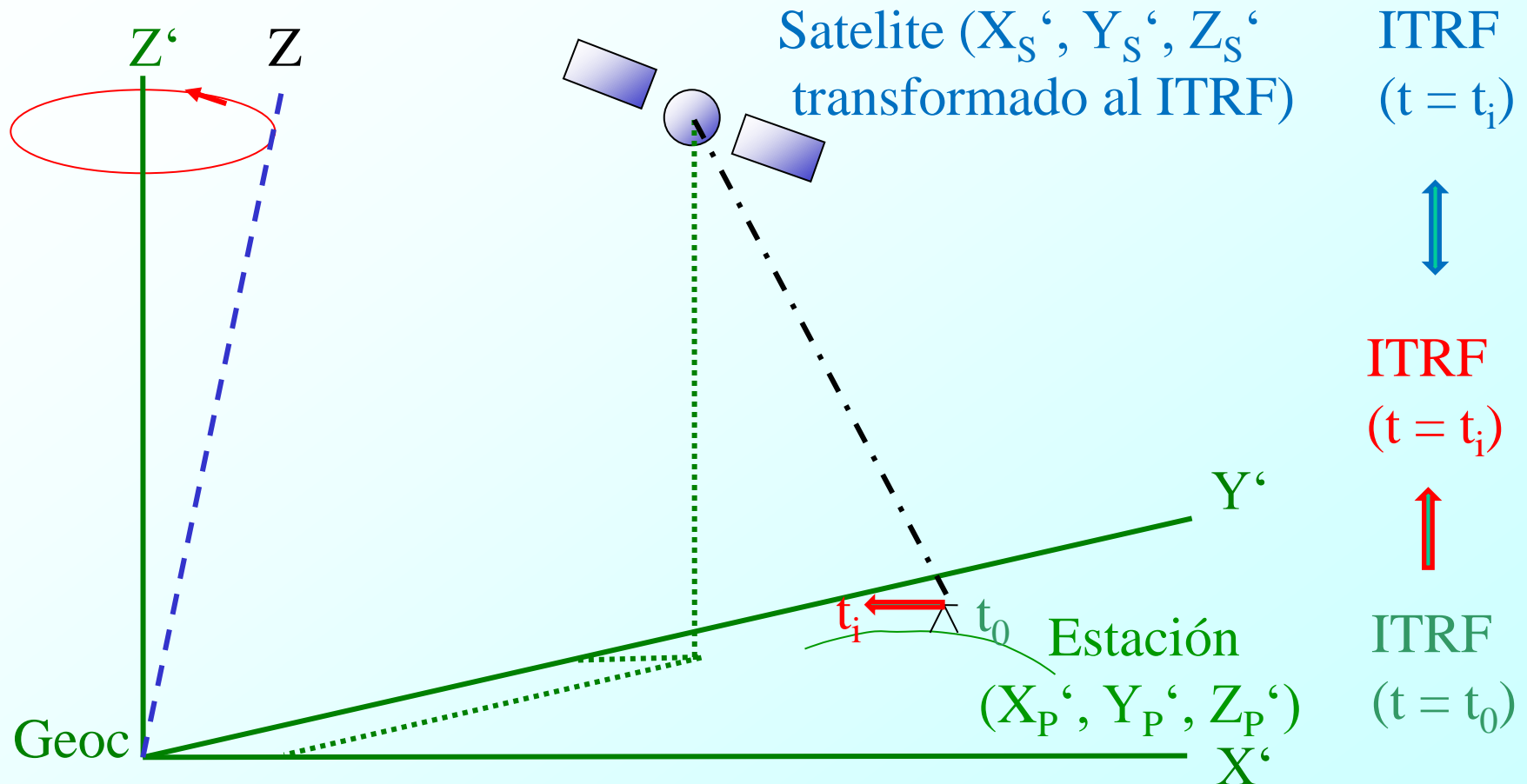
Las órbitas GPS se calculan en un sistema inercial (marco celeste).

Las posiciones de las estaciones terrestres están dadas en sistema terrestre (ITRF ó su densificación como SIRGAS).

Para llegar al mismo sistema (marco) de referencia hay que aplicar los parámetros de orientación terrestre (EOP).

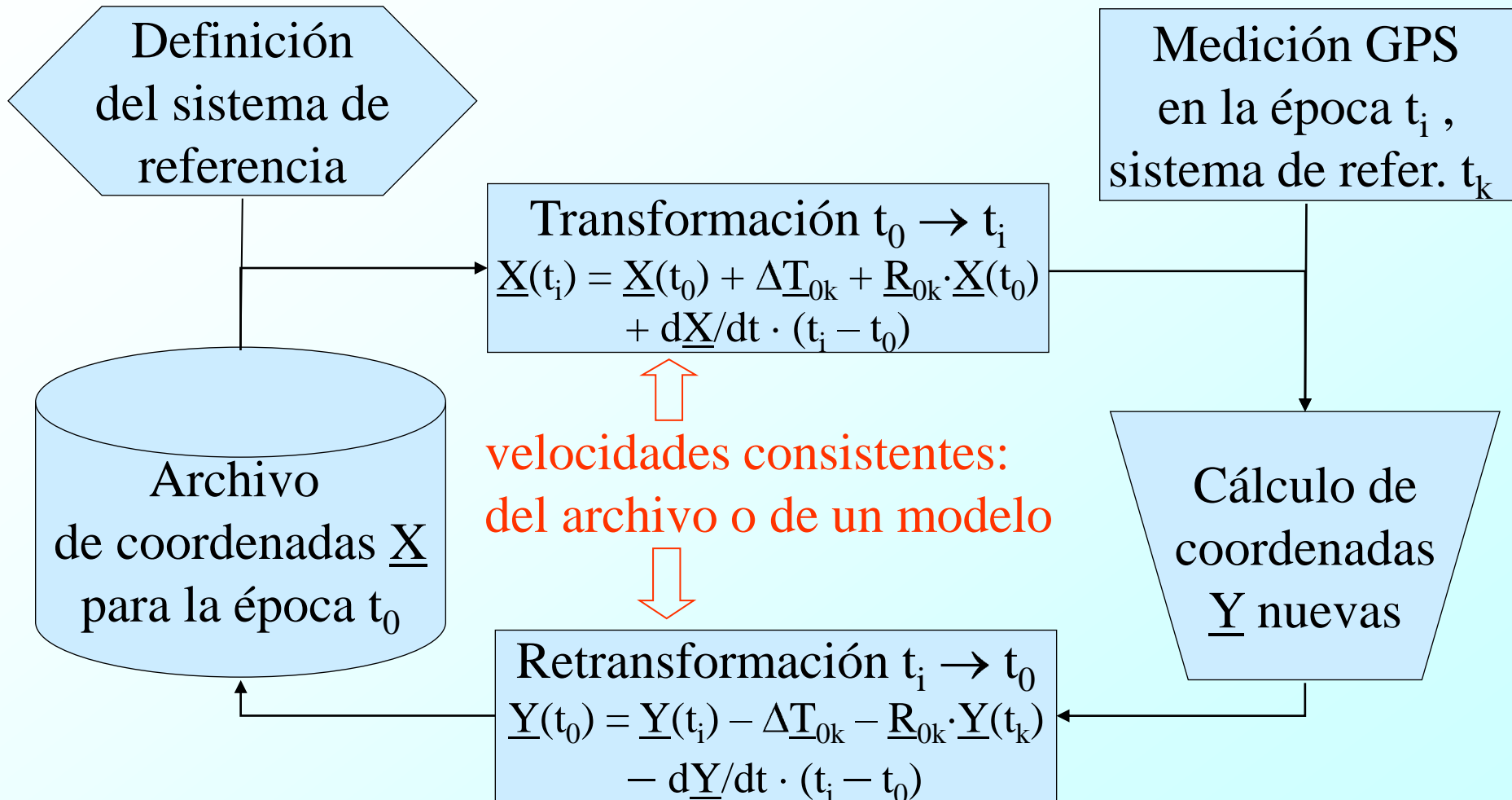
Identidad entre sistemas de referencia terrestre y satelital

Problema: Las estaciones se mueven!



Hay que transformar las coordenadas de la estación por el movimiento desde t_0 a t_i para llegar al mismo marco, y retransformar puntos nuevos para mantener el archivo en t_0 . 3

1. Movimiento lineal secular (p.ej. tectónica de placas)



↑
velocidades consistentes:
del archivo o de un modelo
↓

↙ no se conocen las velocidades de
puntos nuevos. Hay que interpolar.

1a) Transformación entre las realizaciones del ITRF

Transformación del ITRF anterior al ITRF2008:

$$\underline{X}(t_i) = \underline{X}(t_0) + \Delta \underline{T}_{0k} + D \cdot \underline{R}_{0k} \cdot \underline{X}(t_0)$$

	Época	Tx [m]	Ty [m]	Tz [m]	Rx [mas]	Ry [mas]	Rz [mas]	D [ppb]
ITRF2008	2005,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00	0,00	0,00	0,00
ITRF2005	2000,0	0,0005	0,0009	0,0047	0,00	0,00	0,00	-0,94
ITRF2000	1997,0	0,0004	0,0017	0,0105	0,00	0,00	0,00	-1,34
ITRF97	1997,0	-0,0063	-0,0044	0,0290	0,00	0,00	0,00	-2,89
ITRF96	1997,0	-0,0063	-0,0044	0,0290	0,00	0,00	0,00	-2,89
ITRF94	1997,0	-0,0063	-0,0044	0,0290	0,00	0,00	0,00	-2,89
ITRF93	1988,0	-0,0123	-0,0048	0,0314	0,39	-0,08	1,14	-3,29
ITRF92	1988,0	-0,0143	-0,0118	0,0244	0,00	0,00	0,18	-2,09
ITRF91	1988,0	-0,0263	-0,0258	0,0304	0,00	0,00	0,18	-3,49
ITRF90	1988,0	-0,0243	-0,0218	0,0464	0,00	0,00	0,18	-3,79
ITRF89	1988,0	-0,0293	-0,0458	0,0844	0,00	0,00	0,18	-7,19
ITRF88	1988,0	-0,0243	-0,0098	0,1084	0,10	0,00	0,18	-10,29

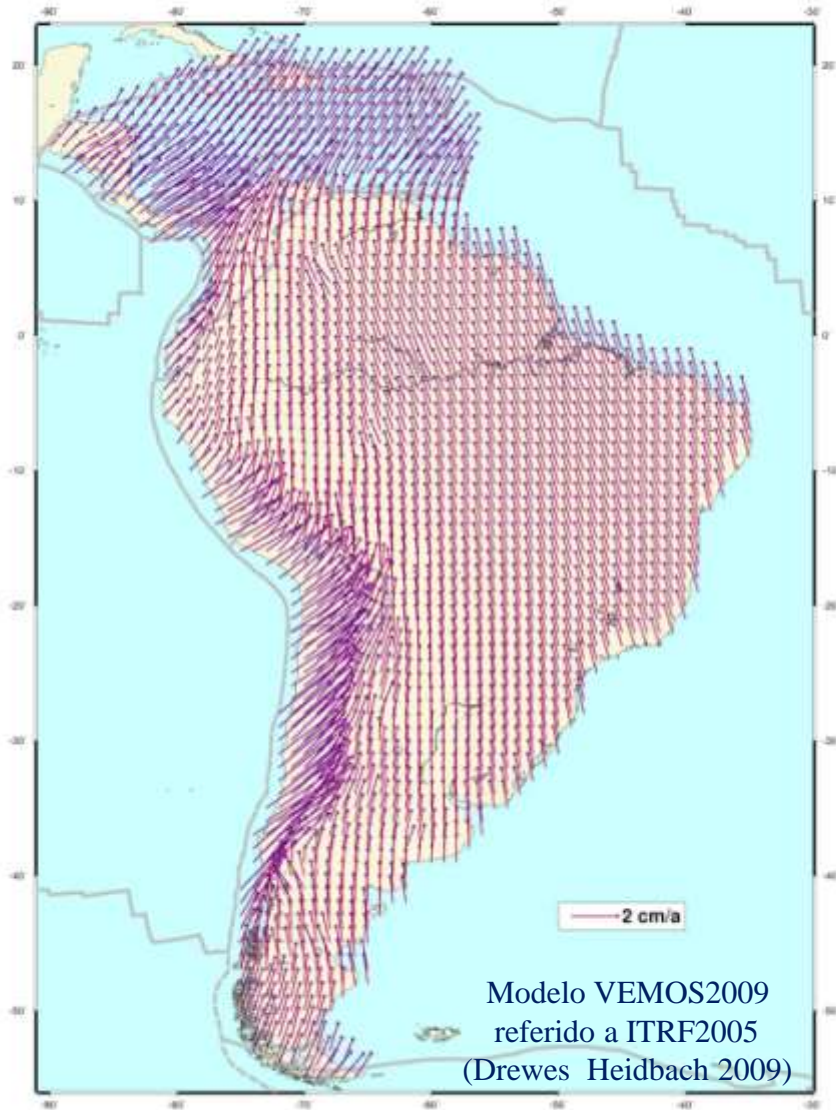
1b) Comparación de soluciones SIRGAS con ITRF2008

Discrepancias de posiciones y velocidades (con desviaciones estándar) después de transformar los ITRF correspondientes al ITRF2008

	n	N [mm]	E [mm]	h [mm]	v_N [mm/a]	v_E [mm/a]	v_h [mm/a]
DGF01P01	48	-16,3 ± 8,0	7,2 ± 19,5	27,9 ± 16,2	-0,4 ± 2,6	3,1 ± 4,7	1,3 ± 4,5
DGF02P01	53	-2,4 ± 3,7	-2,5 ± 5,8	4,0 ± 13,9	1,1 ± 1,6	1,4 ± 2,1	-3,7 ± 6,7
DGF04P01	69	-0,4 ± 4,3	-3,4 ± 5,0	1,3 ± 14,9	1,9 ± 2,3	1,3 ± 2,1	0,1 ± 3,6
DGF05P01	95	0,2 ± 3,8	-2,0 ± 5,0	0,1 ± 13,1	1,8 ± 2,1	1,1 ± 2,1	1,2 ± 3,6
DGF06P01	96	0,0 ± 3,9	-1,7 ± 4,9	1,1 ± 12,3	2,0 ± 2,2	1,0 ± 1,9	0,8 ± 3,0
DGF07P01	106	-1,3 ± 5,1	0,9 ± 6,2	-4,4 ± 19,5	0,5 ± 1,3	-0,4 ± 1,3	0,5 ± 2,7
DGF08P01	126	-3,2 ± 5,1	1,1 ± 8,9	-8,0 ± 10,0	0,5 ± 1,3	-0,5 ± 1,6	1,0 ± 2,3
SIR09P01	128	0,3 ± 4,0	-0,6 ± 6,7	-5,1 ± 12,0	0,3 ± 1,0	0,0 ± 1,1	-0,2 ± 1,9
SIR10P01	183	0,8 ± 5,0	0,3 ± 3,6	-4,9 ± 8,6	-0,1 ± 1,1	-0,1 ± 1,1	0,0 ± 2,2
vs.							
SIRGAS95	19	-21,3 ± 4,9	-18,7 ± 4,2	5,8 ± 18,3			
SIRGAS2000	53	-0,3 ± 8,6	0,1 ± 7,5	-6,2 ± 10,3			

Las soluciones SIRGAS antiguas tienen exactitud muy buena.

1c) Interpolación de velocidades en puntos de campañas



En caso de puntos de referencia (en la época t_0) sin velocidad conocida, hay que interpolar del modelo VEMOS.

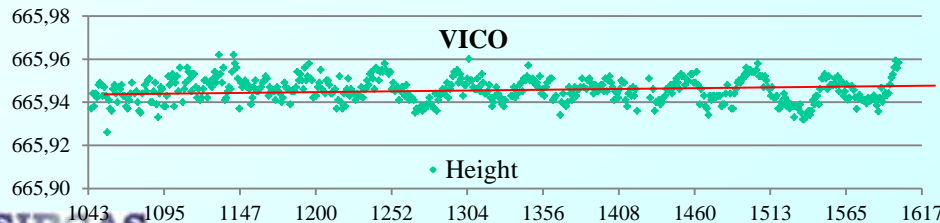
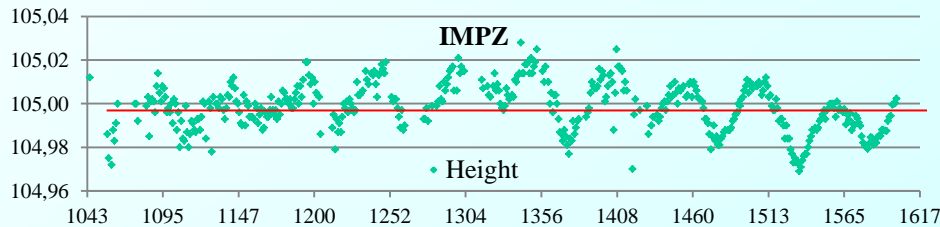
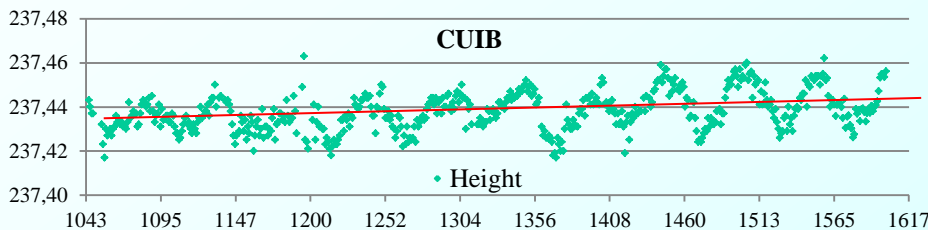
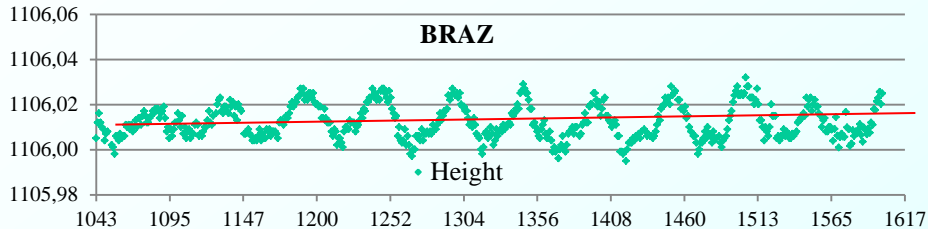
Observación:

Si se usan velocidades VEMOS, hay que utilizarlas en ambas direcciones: de la época de referencia (t_0) hacia la época de observación (t_i) y al revés (para los puntos nuevos) de t_i hacia t_0 .

Nota: VEMOS no contiene las velocidades de alturas.

2. Movimientos temporales (p.ej. estacionales)

Las soluciones multianuales ITRF y SIRGAS dan velocidades constantes sin consideración de las variaciones temporales.



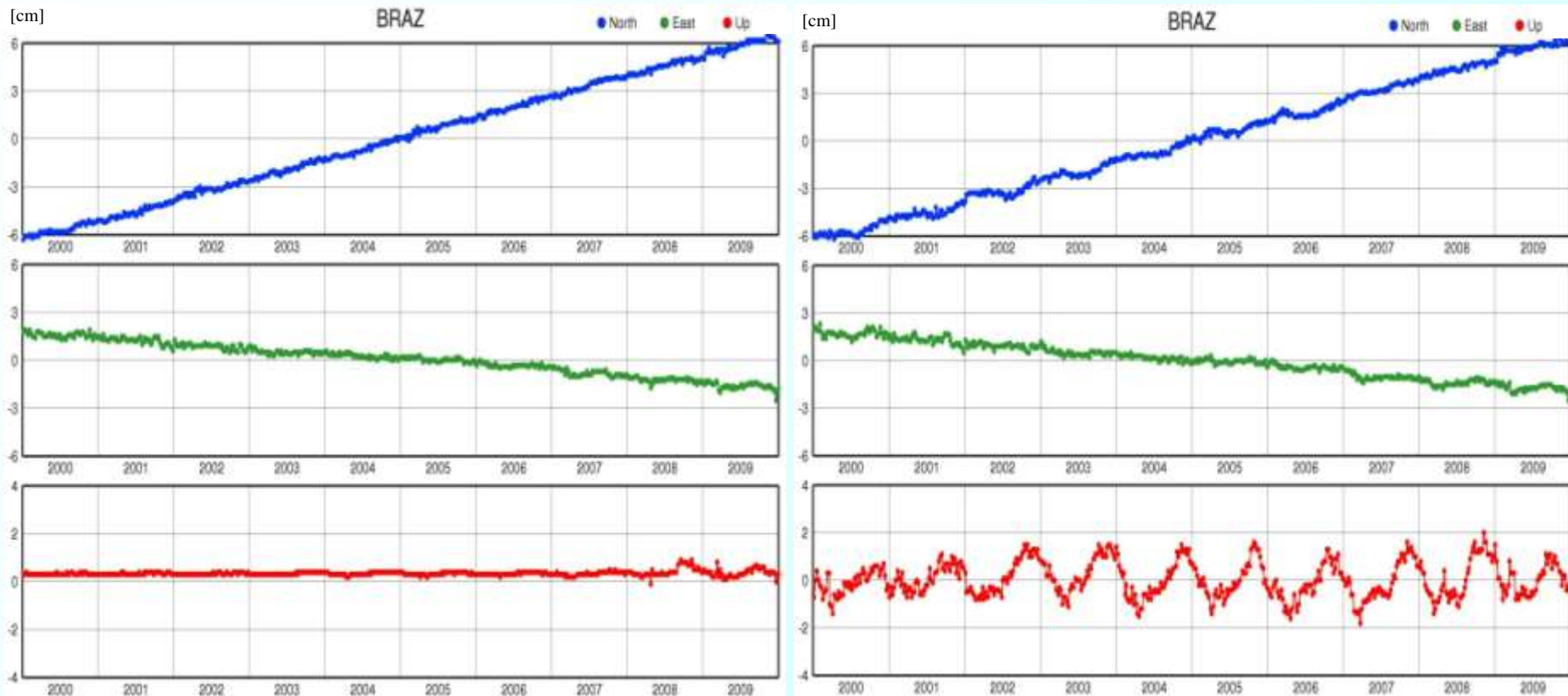
Muchas estaciones SIRGAS muestran variaciones anuales causadas por carga de agua en las temporadas de lluvia.

Tomando estas estaciones como referencia, con sus velocidades constantes del ITRF, IGS o SIRyyP0i, da resultados diferentes en épocas de medición diferentes.

Solución: usar las coordenadas semanales de SIRGAS.

Ejemplo de posicionamiento incorrecto

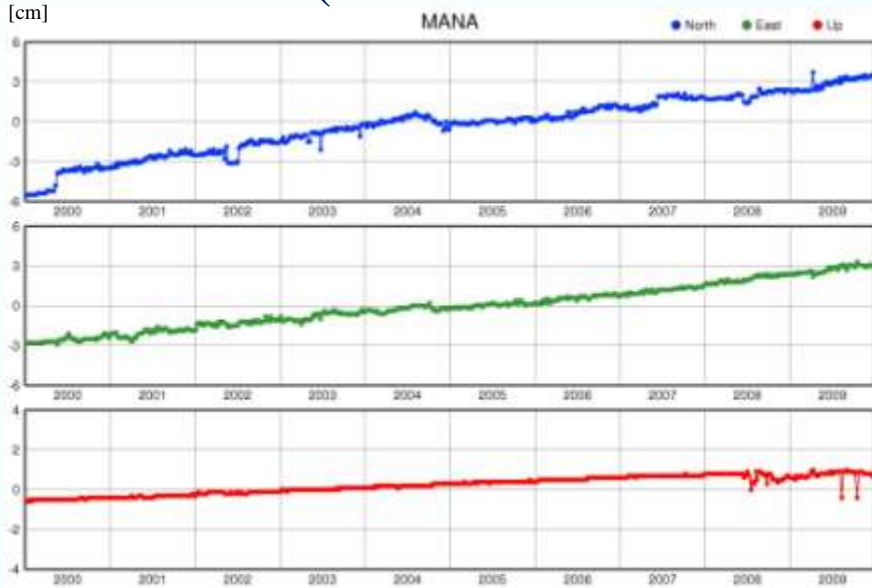
Coordenadas semanales referidas a IGS05 (velocidades constantes, izquierda) y referidas a las soluciones semanales ig1www (derecha).



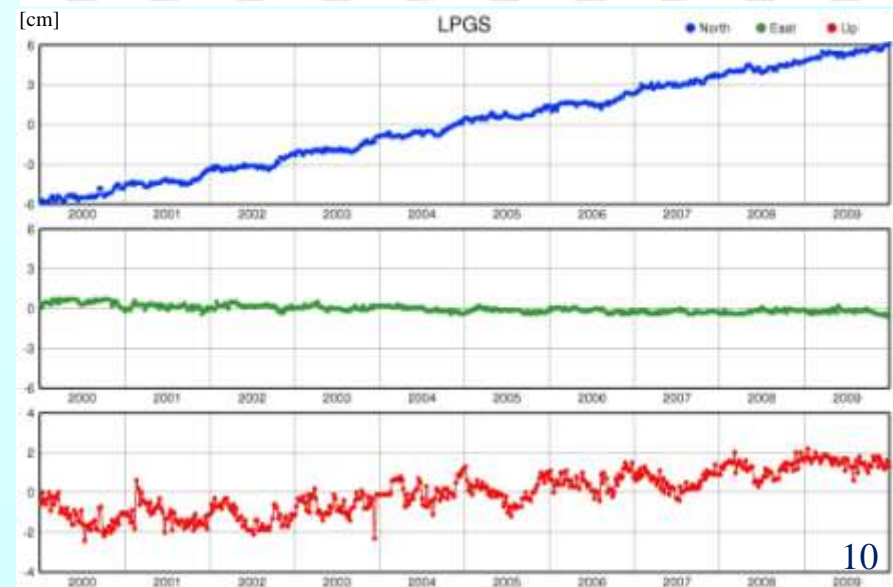
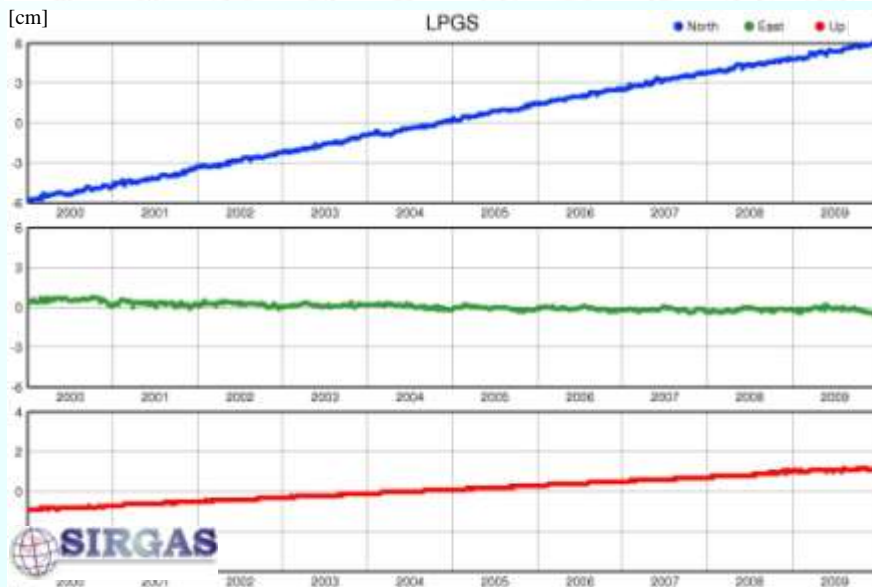
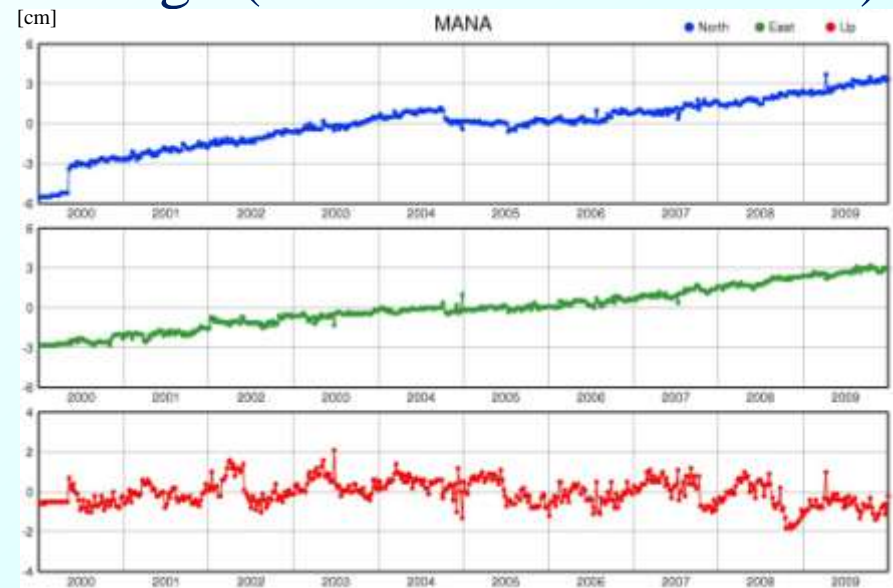
Variaciones temporales se representan mejor utilizando como referencia soluciones semanales que soluciones multianuales!

Ejemplo de posicionamiento incorrecto

ref. IGS05 (velocidades constantes)



ref. ig1 (coordenadas semanales)



3. Movimientos episódicos

En caso de movimientos episódicos no se pueden usar velocidades.

Arequipa 2001



Concepción 2010



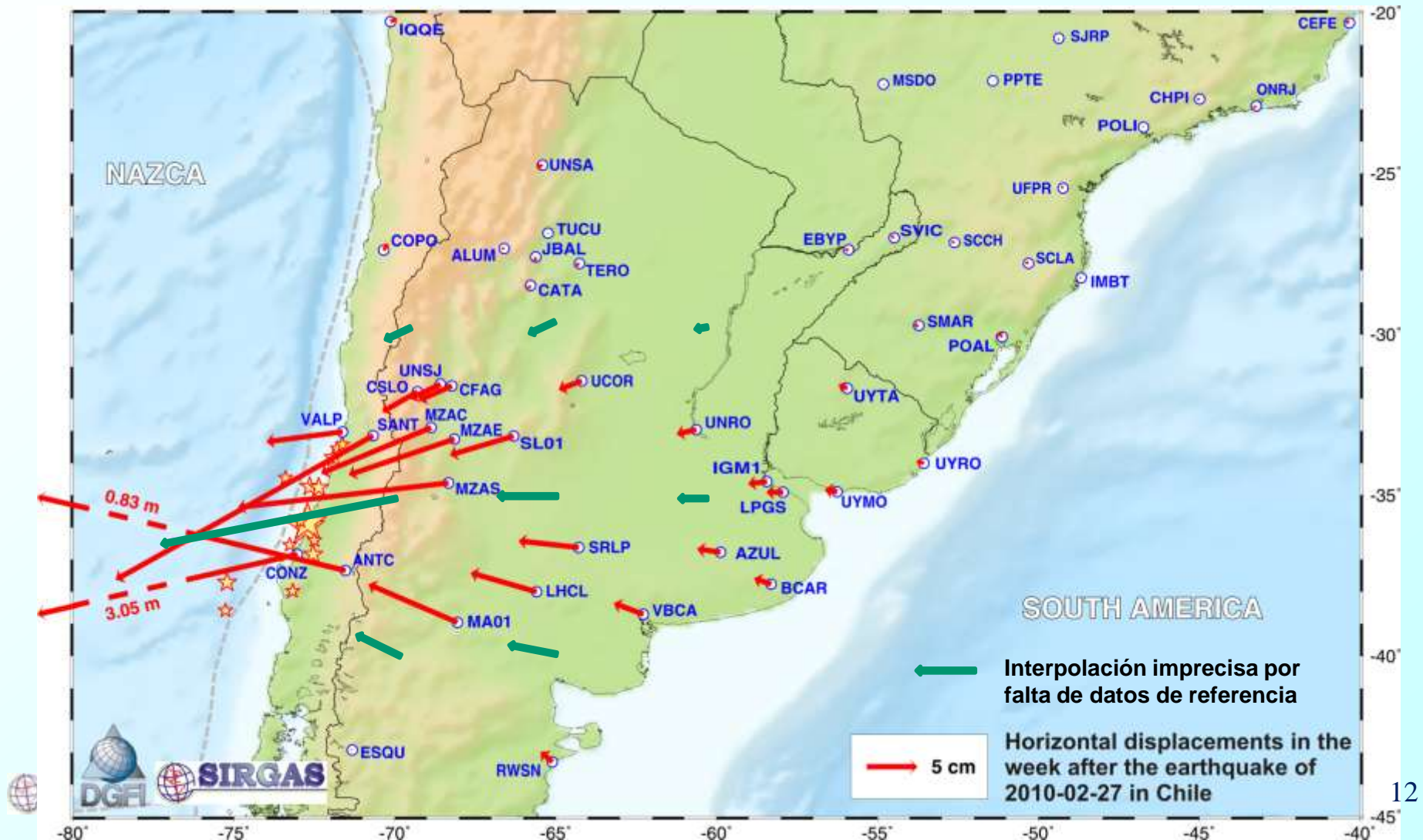
Solución: Hay que usar coordenadas semanales. Para transformar de la época de medición hacía la época de referencia se introducen saltos. Para puntos nuevos (sin coordenadas conocidas antes del movimiento episódico) debe hacerse una interpolación de los saltos conocidos.

Mexicali 2010



Interpolación de saltos

Para interpolar los saltos (deformaciones) producidos por un terremoto es necesario el seguimiento de muchos puntos antes y después del evento sísmico.



Consecuencias

- Para garantizar un marco de referencia sostenible en regiones sísmicas, se necesita una red de estaciones densa (< 100 km de distancia) con observación continua (permanente).
- En caso de redes observadas en campañas, hay que repetir las mediciones en tiempo razonable (< 10 años), y siempre después de eventos sísmicos, para detectar saltos en las coordenadas.
- Para estaciones que no son de referencia, se pueden interpolar los saltos en las coordenadas, si la red es suficientemente densa.

Recomendación

- Para conocer las coordenadas después de un terremoto, hay que remedir las estaciones de campañas.
- Por eso es mejor tener estaciones de observación continua en distancias mayores, que estaciones de campañas en distancias cortas.

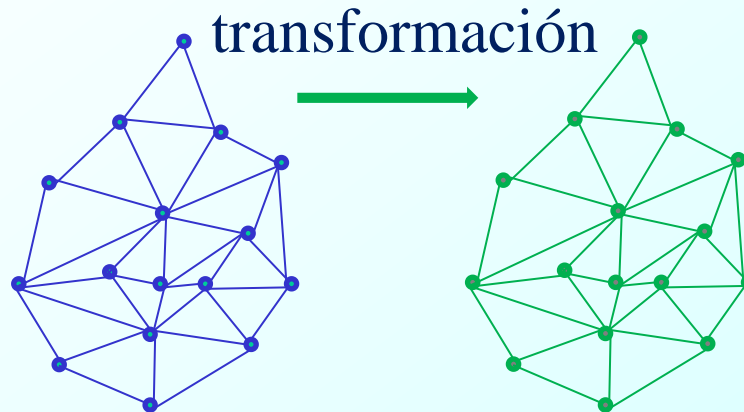
Comentarios finales (1)

- Todo lo dicho se refiere al *establecimiento de marcos nacionales de referencia* como densificación de SIRGAS (ver el título) con precisión de milímetros a centímetros.
- El error del posicionamiento relativo (línea de base) en condiciones ideales es $\sim 2 \dots 3 \cdot 10^{-7}$ (2 .. 3 cm/100 km) para una diferencia en los marcos de referencia de 1 m. Esta diferencia ocurre por velocidades constantes en > 50 años en zonas estables de América del Sur.
- Por eso, para *aplicaciones de los marcos nacionales* (o SIRGAS) en posicionamiento con precisión de 10 cm (cartografía, topografía, catastro rural, geoinformación, ...) se pueden usar las coordenadas de la época de referencia (t_0) sin transformaciones adicionales.
- Esto vale sólo para zonas sin deformación (p.ej. por terremotos).

Comentarios finales (2)

Procedimiento en el posicionamiento GNSS:

Red sin deformación:



Red con deformación: modelo de deformación

