

Procesamiento de información GPS con relación a marcos de referencia de épocas diferentes



Hermann Drewes
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
München, Alemania

SIRGAS Workshop, Aguascalientes, Mexico, 9 – 10 de diciembre 2004

Fundamentos del posicionamiento geodésico

- Las coordenadas de los puntos se refieren a un **sistema de referencia** bien (pero arbitrariamente) definido.
- El sistema de referencia se realiza por puntos del **marco de referencia** materializados por monumentos o instrumentos.
- Ya que todos los puntos de la superficie terrestre se mueven por deformaciones de la corteza terrestre, las coordenadas del marco de referencia se refieren a una **época fija** (de referencia). (El ITRF2000 se refiere a 1997,0; SIRGAS a 1995,4 o 2000,4; los sistemas nacionales de las Américas, como densificación de SIRGAS, usan, p.ej., las épocas 1995,4; 2000,4; 2002,0 ...)
- Las coordenadas de los puntos varían con el movimiento, pero las coordenadas de la época de referencia **no deben** cambiar.

Fundamentos de los sistemas de referencia

- La realización del sistema de referencia (marco o red de puntos) es un **proceso continuo**, es decir, algunas de sus estaciones desaparecen (p.ej. por destrucción o remodelación) y algunas nuevas se instalan según la necesidad práctica.
- El marco de referencia debe incluir todas las estaciones que sirven para el uso práctico.
- Las coordenadas de las estaciones **nuevas** se calculan por
 - el IGS (centros de análisis) para estaciones de la red global,
 - los RNAAC para estaciones IGS regionales (permanentes),
 - las agencias nacionales para estaciones de redes nacionales.
- Las coordenadas deben darse en la **época de referencia**: hay que reducirlas del momento de la medición a la época de definición (ver abajo).

SIRGAS 1995 y RNAAC SIRGAS 2004



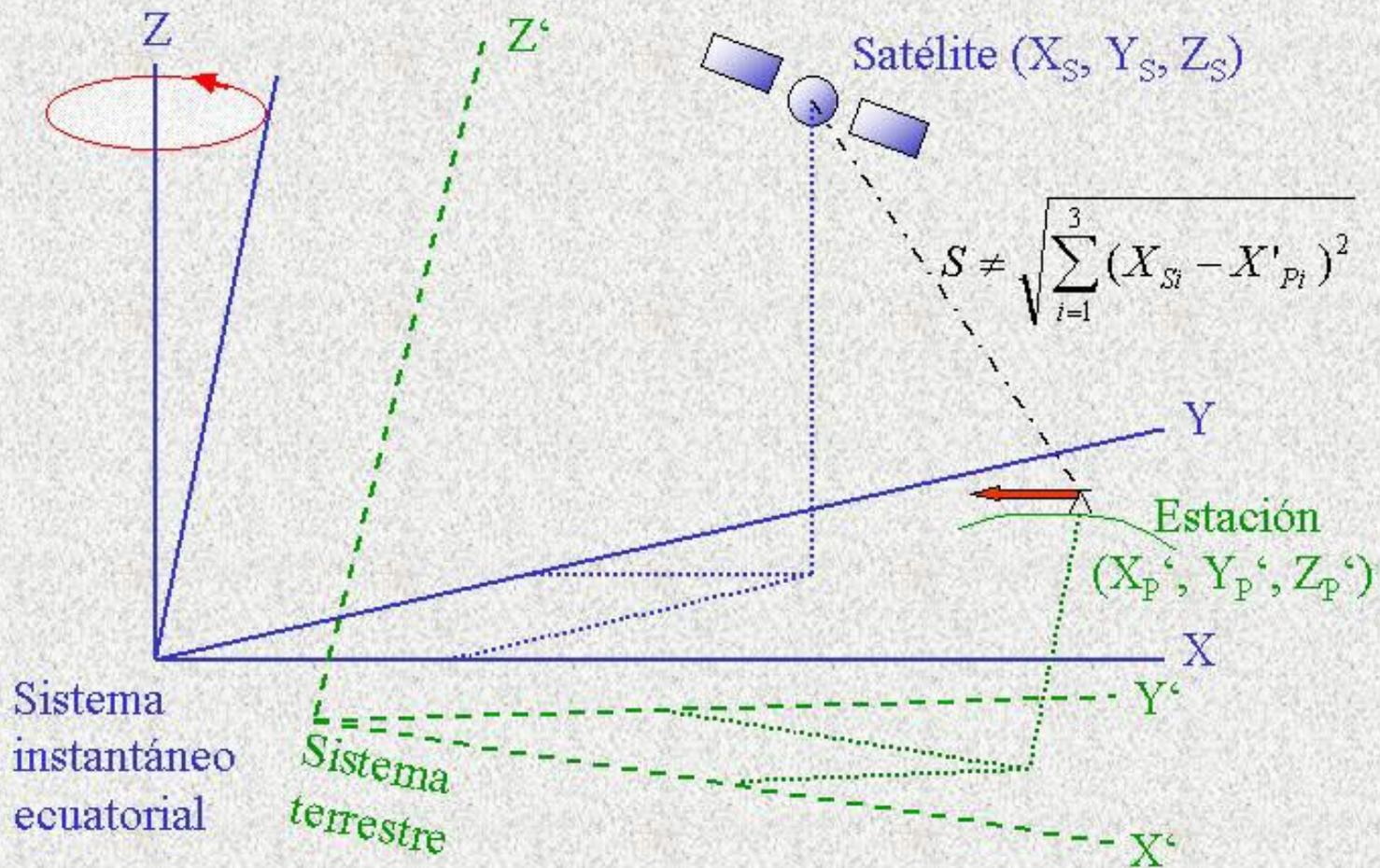
58 estaciones

48 estaciones en el área: 21 idénticas

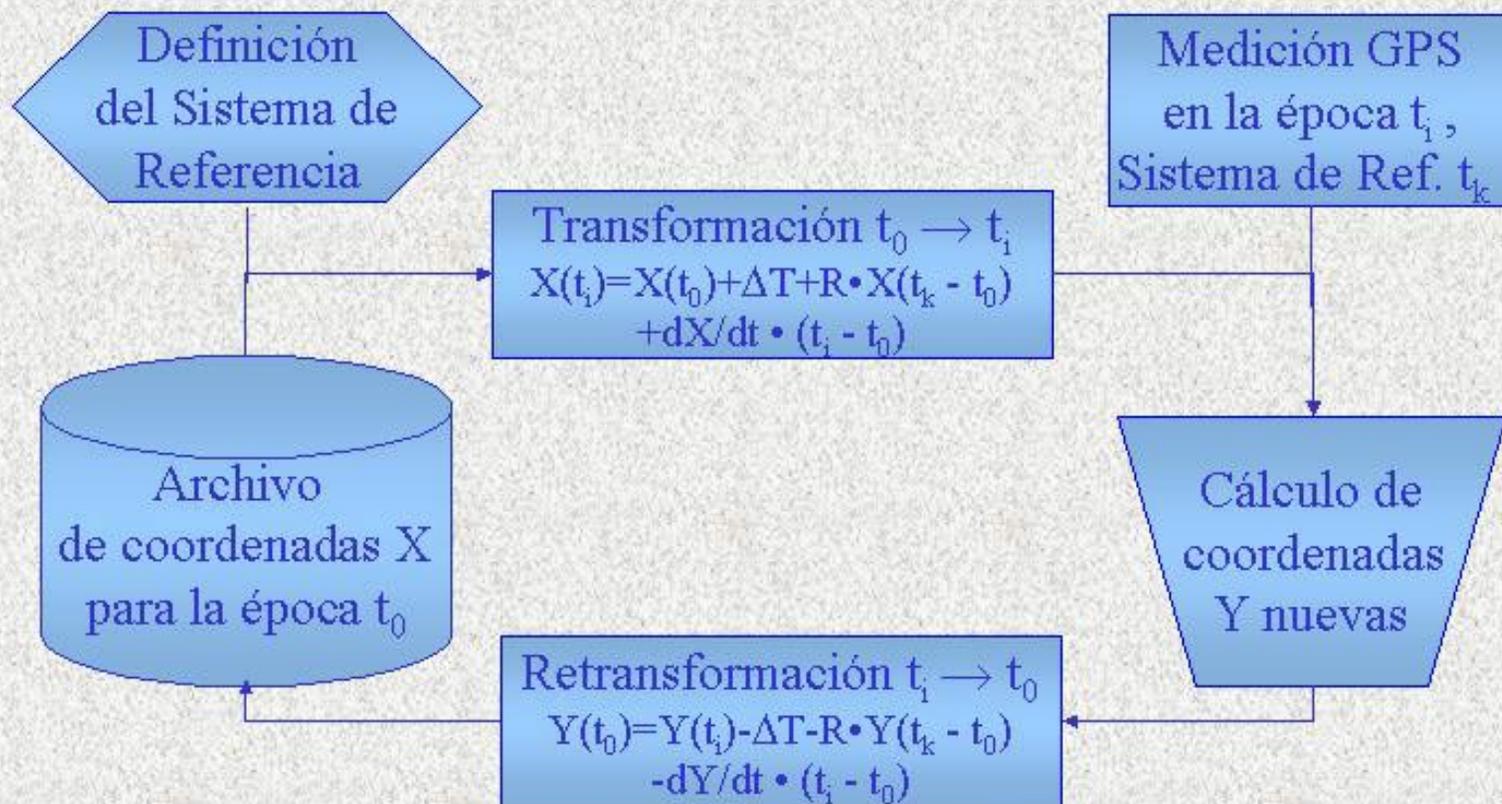
Fundamentos del procesamiento GPS

- Para el procesamiento GPS correcto, las coordenadas de los puntos terrestres y de los satélites GPS **tienen que darse en el mismo sistema de referencia.**
- Las coordenadas (efemérides) de los satélites se dan en el marco ITRF (International Terrestrial Reference Frame) en **la época actual.** (WGS84 adoptó el ITRF en el año 2001).
- Las coordenadas de los puntos terrestres se dan en un sistema de referencia asociado a la **época de definición.**
- Para tener el mismo sistema hay que transformar las coordenadas de los puntos desde la época de definición hasta la época actual de medición. La transformación incluye: **cambio del sistema ITRF y movimientos de los puntos.**

Relación entre sistema satelital y terrestre



Transformación entre sistema terrestre (época de referencia) y sistema satelital (época actual)



Detalles de la transformación

1. Variación del ITRF (transformación del ITRF2000 al ITRF..)

$$X_i = X_{2000} + T1 + D * X_{2000} - R3 * Y_{2000} + R2 * Z_{2000}$$

$$Y_i = Y_{2000} + T2 + D * Y_{2000} + R3 * X_{2000} - R1 * Z_{2000}$$

$$Z_i = Z_{2000} + T3 + D * Z_{2000} - R2 * X_{2000} + R1 * Y_{2000}$$

| | T1[m] | T2[m] | T3[m] | D[ppb] | R1 | R2 | R3 [.001"] |
|-----------|-------|-------|--------|--------|------|------|------------|
| ITRF94/97 | .0067 | .0061 | -.0185 | 1.55 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| ITRF93 | .0127 | .0065 | -.0209 | 1.95 | -.39 | .80 | -1.14 |
| ITRF92 | .0147 | .0135 | -.0139 | .75 | 0.00 | 0.00 | -.18 |
| ITRF91 | .0267 | .0275 | -.0199 | 2.15 | 0.00 | 0.00 | -.18 |
| ITRF90 | .0247 | .0235 | -.0359 | 2.45 | 0.00 | 0.00 | -.18 |
| ITRF89 | .0297 | .0475 | -.0739 | 5.85 | 0.00 | 0.00 | -.18 |
| ITRF88 | .0247 | .0115 | -.0979 | 8.95 | 0.10 | 0.00 | -.18 |

Detalles de la transformación

2. Reducción del movimiento desde la época de definición

a) Marco de referencia (**velocidades conocidas**):

$$X(t_i) = X(t_0) + dX/dt \cdot (t_i - t_0)$$

$$Y(t_i) = Y(t_0) + dY/dt \cdot (t_i - t_0)$$

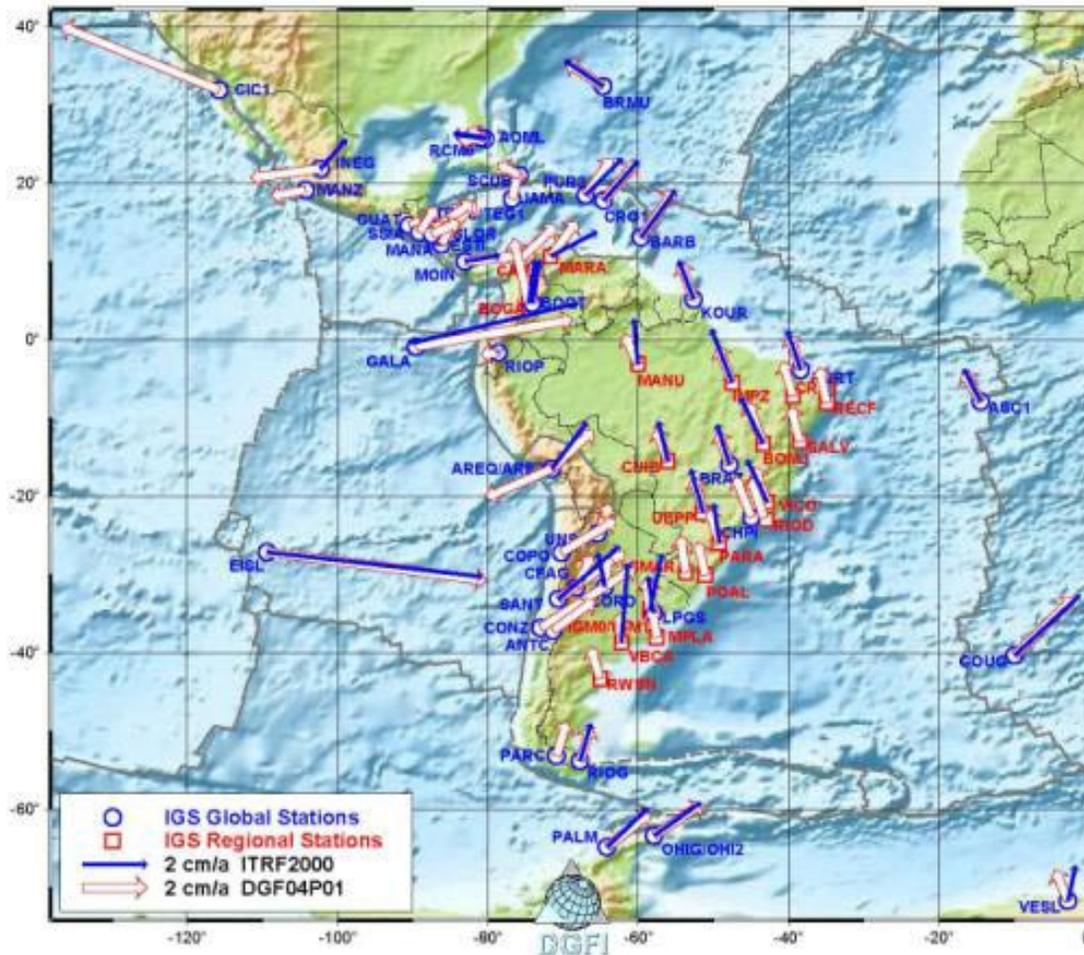
$$Z(t_i) = Z(t_0) + dZ/dt \cdot (t_i - t_0)$$

➤ Sacar las velocidades dX/dt de las soluciones de coordenadas y velocidades (p.ej., ITRF2000, IGSyyPww, DGF04P01, ...)

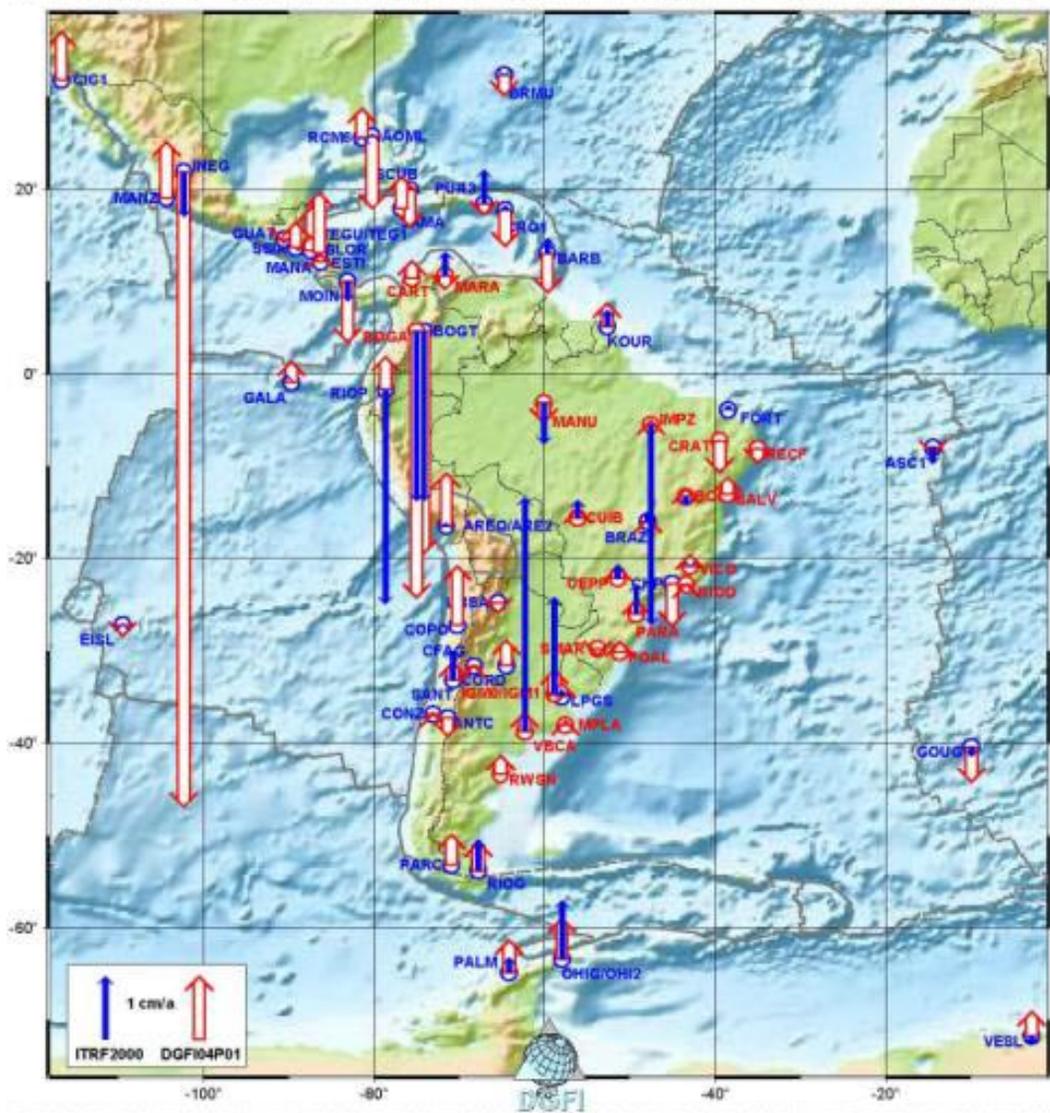
Problema:

- Diferentes velocidades de diferentes soluciones
- Estaciones nuevas en soluciones nuevas, exclusivamente

Detalles de la transformación



Velocidades de las soluciones ITRF2000 y DGF04P01 (horizontal)



Detalles de la transformación

Velocidades de las soluciones ITRF2000 y DGF04P01 (vertical)

Detalles de la transformación

2. Reducción del movimiento desde la época de definición
- b) Marco de referencia (estaciones nuevas con velocidades desconocidas):

Sacar las coordenadas en la época actual (de medición) de las soluciones semanales, p.ej.

- igspwww (estaciones globales, exclusivamente)
- mitwwwwp (estaciones regionales: „poliedron“)

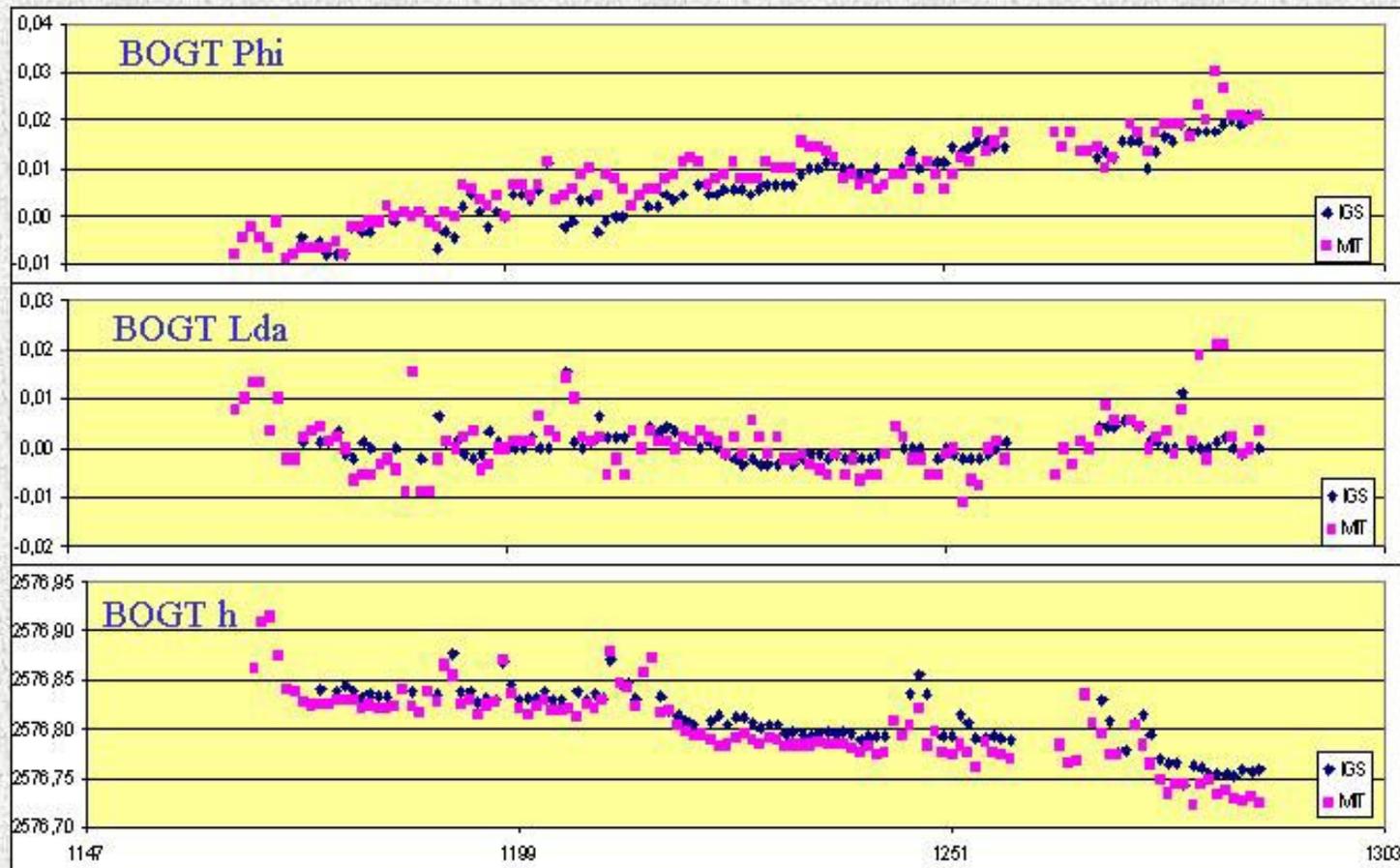
Problema:

Las coordenadas se calculan rutinaria y automáticamente (p.ej. con el software „Bernese Processing Engine“):

No se detectan errores groseros ni influencias globales.

- Las series dgfwwwsir se producen cuidadosamente

Diferentes series de coordenadas



Detalles de la transformación

2. Reducción del movimiento **hacia** la época de definición

c) Estaciones nuevas:

$$X(t_0) = X(t_i) - dX/dt \cdot (t_i - t_0)$$

$$Y(t_0) = Y(t_i) - dY/dt \cdot (t_i - t_0)$$

$$Z(t_0) = Z(t_i) - dZ/dt \cdot (t_i - t_0)$$

➤ Las velocidades **dY/dt** no se conocen en las estaciones nuevas por medición, éstas deben ser interpoladas.

Un método para la interpolación de las velocidades horizontales se presenta en el modelo de velocidades SIRGAS (VEMOS, Drewes y Heidbach 2004).



Modelo de velocidades SIRGAS

Velocity Model SIRGAS (VEMOS)
Drewes & Heibach 2004

Problema: Faltan las velocidades verticales, las cuales **no** se pueden interpolar por modelos regionales: deformaciones locales (ejemplo Bogotá).

Validación del modelo SIRGAS (VEMOS)

Observado (input file) – Modelo (interpol.) (329 estaciones)

| | |
|------------------|--|
| Sistemática | Latitud = 0.0002, Longit. = - 0.0004 |
| r.m.s. | Latitud = \pm 0.0019, Longit. = \pm 0.0032 |
| Deviation máxima | Latitud = 0.0081, Longit. = 0.0089 |

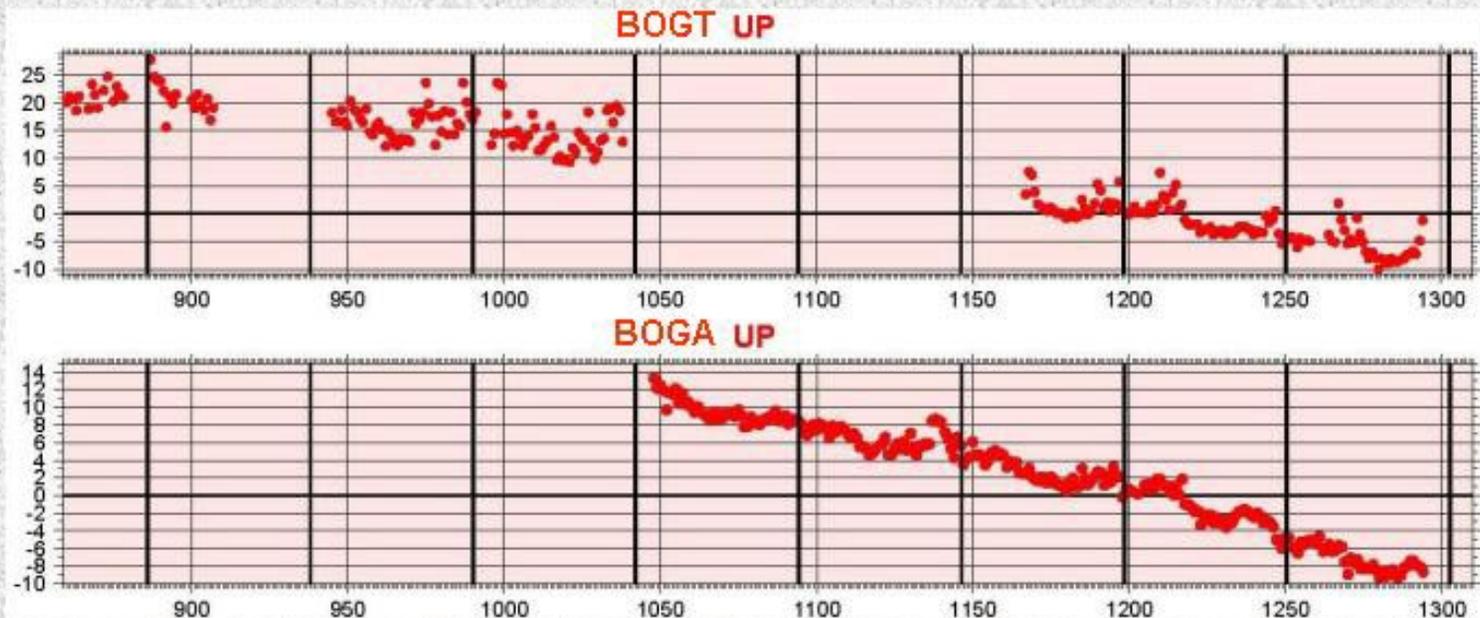
DGFI04P01 – Modelo (interpolado) (39 estaciones)

| | |
|-------------|--|
| Sistemática | Lat. = - 0.0018, Lon. = - 0.0013, h = - 0.0011 |
| r.m.s. | Lat. = \pm 0.0028, Lon. = \pm 0.0031, h = \pm 0.0095 |
| Dev. max. | Lat = 0.0075, Lon. = 0.0125, h = 0.0427 |

... sin Bogotá (37 estaciones)

| | |
|-------------|--|
| Sistemática | Lat. = - 0.0020, Lon. = - 0.0011, h = 0.0010 |
| r.m.s. | Lat. = \pm 0.0027, Lon. = \pm 0.0029, h = \pm 0.0034 |
| Dev. max. | Lat. = 0.0075, Long = 0.0124, h = 0.0094 |

Deformaciones verticales locales

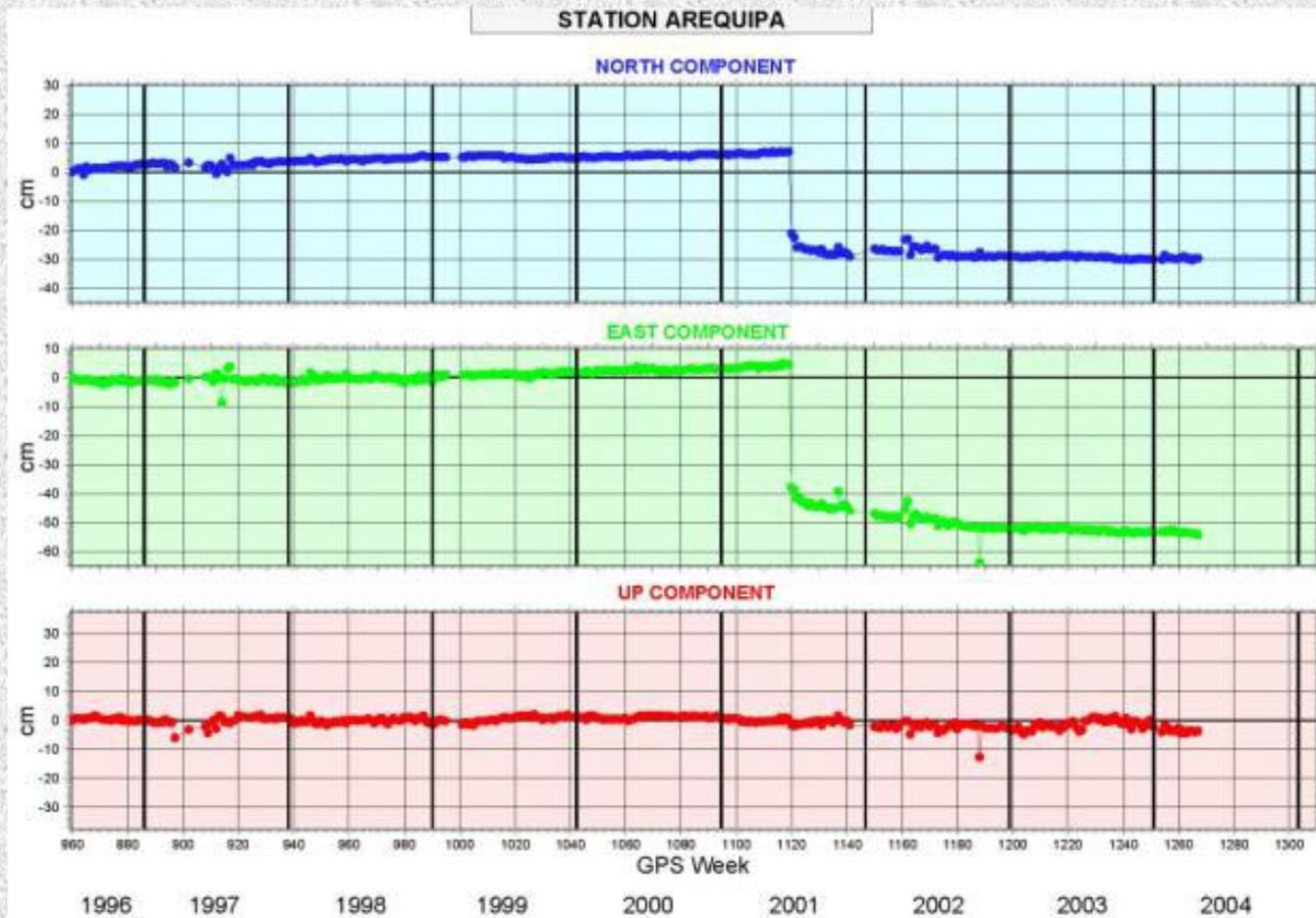


Velocidades verticales: BOGT 3,6 cm/a

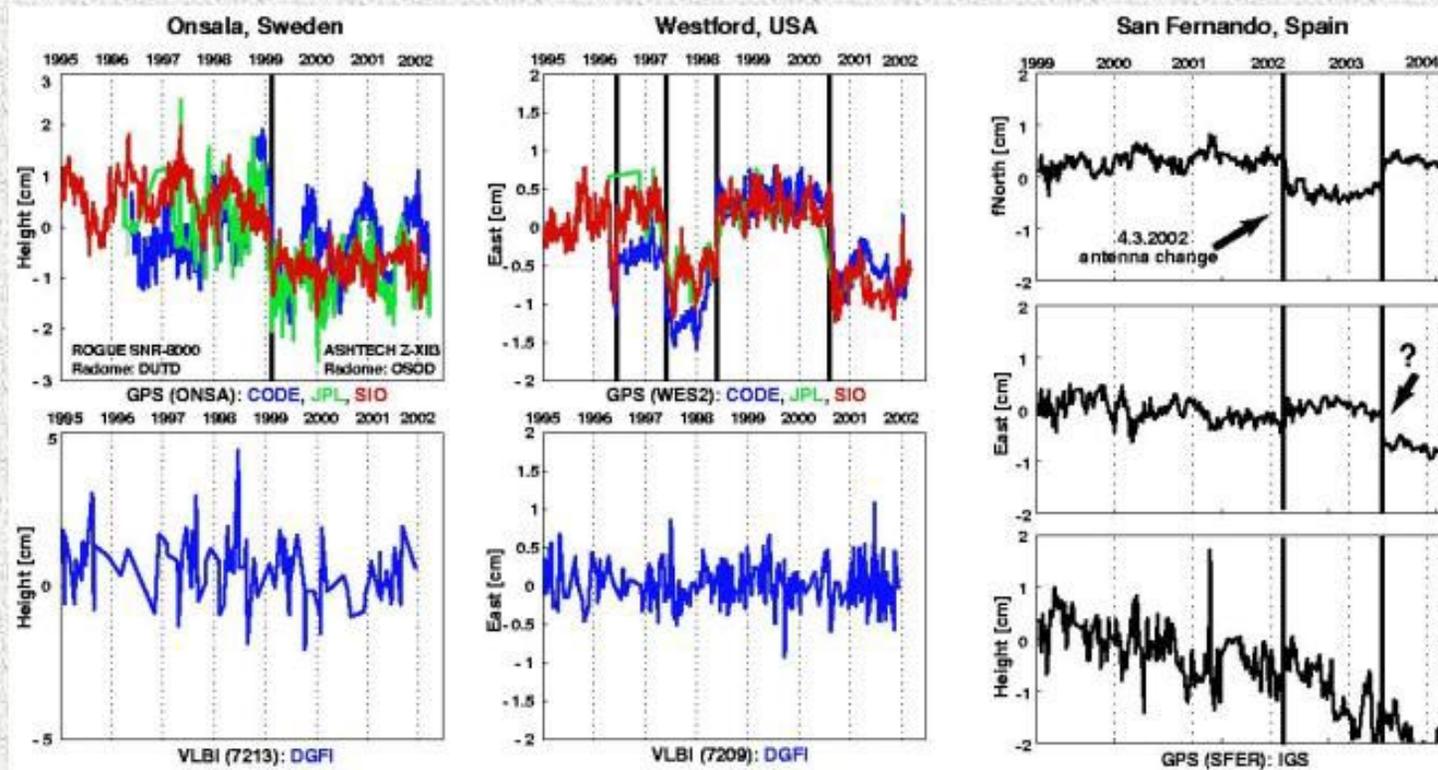
BOGA 4,3 cm/a

Diferencia relativa (entre los dos puntos) desde 1995: 7 cm !

Problemas de velocidades lineales: Terremotos

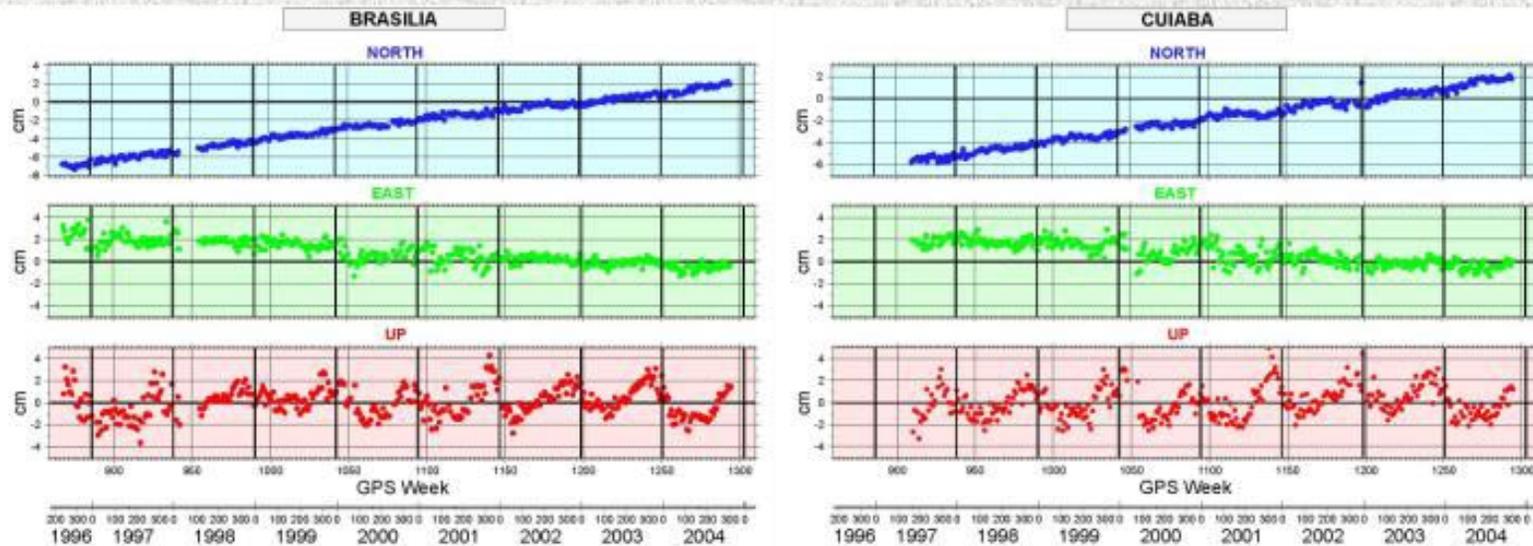


Problemas de velocidades lineales: Antenas GPS



Cambios de las antenas producen cambios de las coordenadas

Problemas de velocidades lineales: Períodos

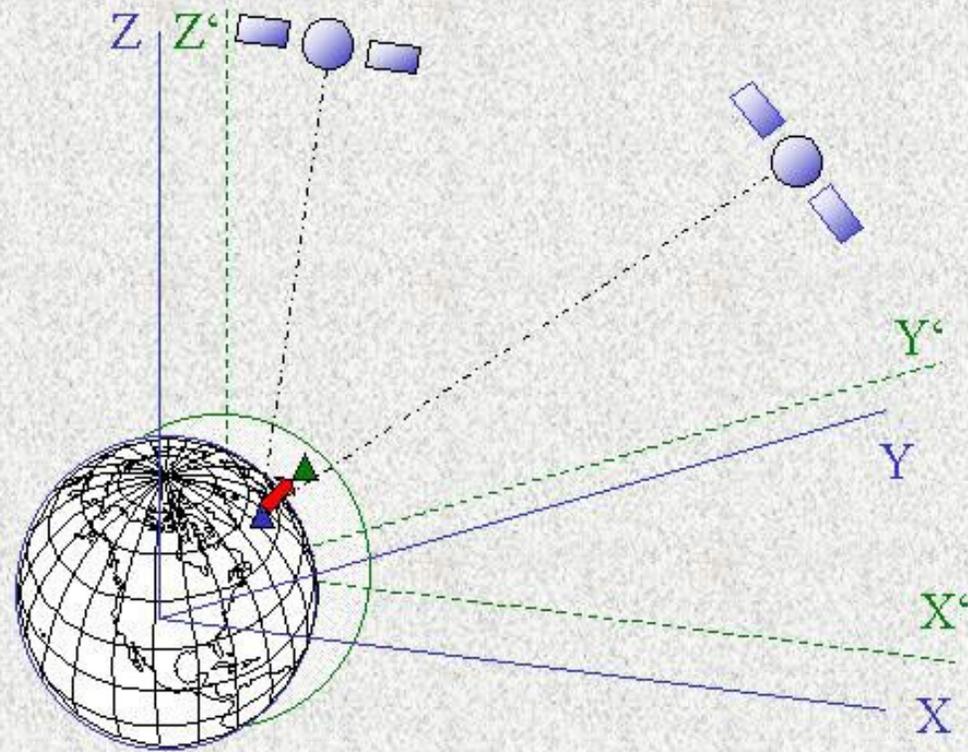


Utilizando velocidades lineales se pueden producir errores hasta de 3 cm por variaciones estacionales (período anual), especialmente en alturas.

Magnitud de los efectos de diferentes sistemas de referencia

- En posicionamiento absoluto („single point positioning“, „precise positioning“), la diferencia entre sistema terrestre y sistema satelital entra completamente en las coordenadas.

Posicionamiento absoluto



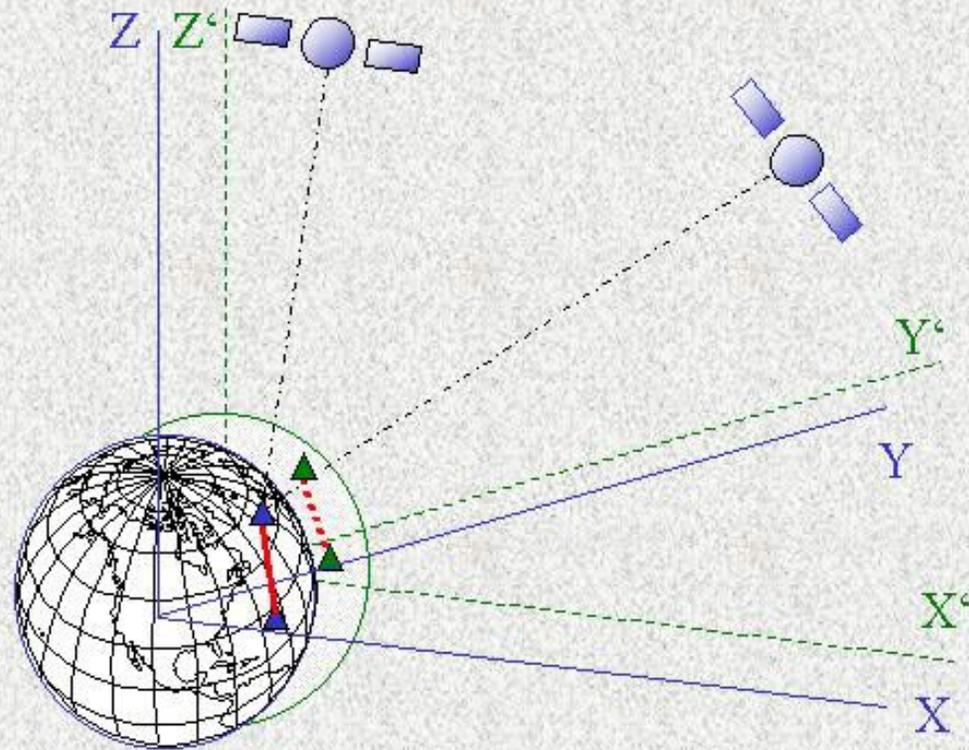
Magnitud de los efectos de diferentes sistemas de referencia

- En posicionamiento relativo („diferential GPS“, „double differences“) la diferencia produce, principalmente, errores de escala en las líneas de base (y con esto en la red):

$$\Delta(\text{sat-terr}) \approx 35 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 1 \cdot 10^{-7} \quad (= 1 \text{ mm}/10 \text{ km})$$

- En el posicionamiento local no hace falta la aplicación de velocidades, si se supone que la estación de referencia y la estación nueva se mueven igualmente.

Posicionamiento relativo



Recomendaciones

- Utilizar para el posicionamiento GPS las coordenadas del sistema de referencia oficial (SIRGAS nacional).
- Controlar la validez de las coordenadas por comparación con soluciones nuevas (semanales o multianuales con vel.).
- Corregir efectos por terremotos, renovación instrumental y otros cambios eventuales.
- En posicionamiento preciso: transformar / reducir las coordenadas por cambios del sistema de referencia satélital y por velocidades de los puntos terrestres.
- Retransformar todas las coordenadas nuevas a la época de definición por cambios del sistema de referencia y por velocidades de los puntos: Decisión individual por punto!