

# SIRGAS en el marco de referencia global: Estado actual del ITRF2005

Hermann Drewes

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)

Munich, Alemania



Representante de IAG en el proyecto SIRGAS



Renunciación SIRGAS, Caracas, Venezuela,  
16 de noviembre de 2005



# Introducción y motivación

**Recuerde:** El **SI**stema de **R**referencia **G**eocéntrico para las **AméricaS** (SIRGAS) es la densificación continental del **S**istema de **R**referencia **T**errestre **I**nternacional (ITRS).

Las realizaciones del ITRS, i.e., los marcos (**F**rame) de **R**referencia **T**errestre **I**nternacional, forman la base de las realizaciones SIRGAS: ITRF94 para SIRGAS 1995, ITRF2000 para 2000.

Las órbitas de todos los satélites con uso geodésico se calculan en el ITRF actual (hoy en día en el ITRF2000, en el futuro en el ITRF2005). Para el sistema GALILEO ya se aceptó el ITRF !

Ya que el origen geocéntrico y la orientación (rotación) de los ITRF cambian, hay que transformar siempre del sistema ITRF actual al ITRF de definición SIRGAS.

Por eso es importante estar al tanto de las realizaciones ITRF.

# Características de realizaciones ITRF hasta hoy

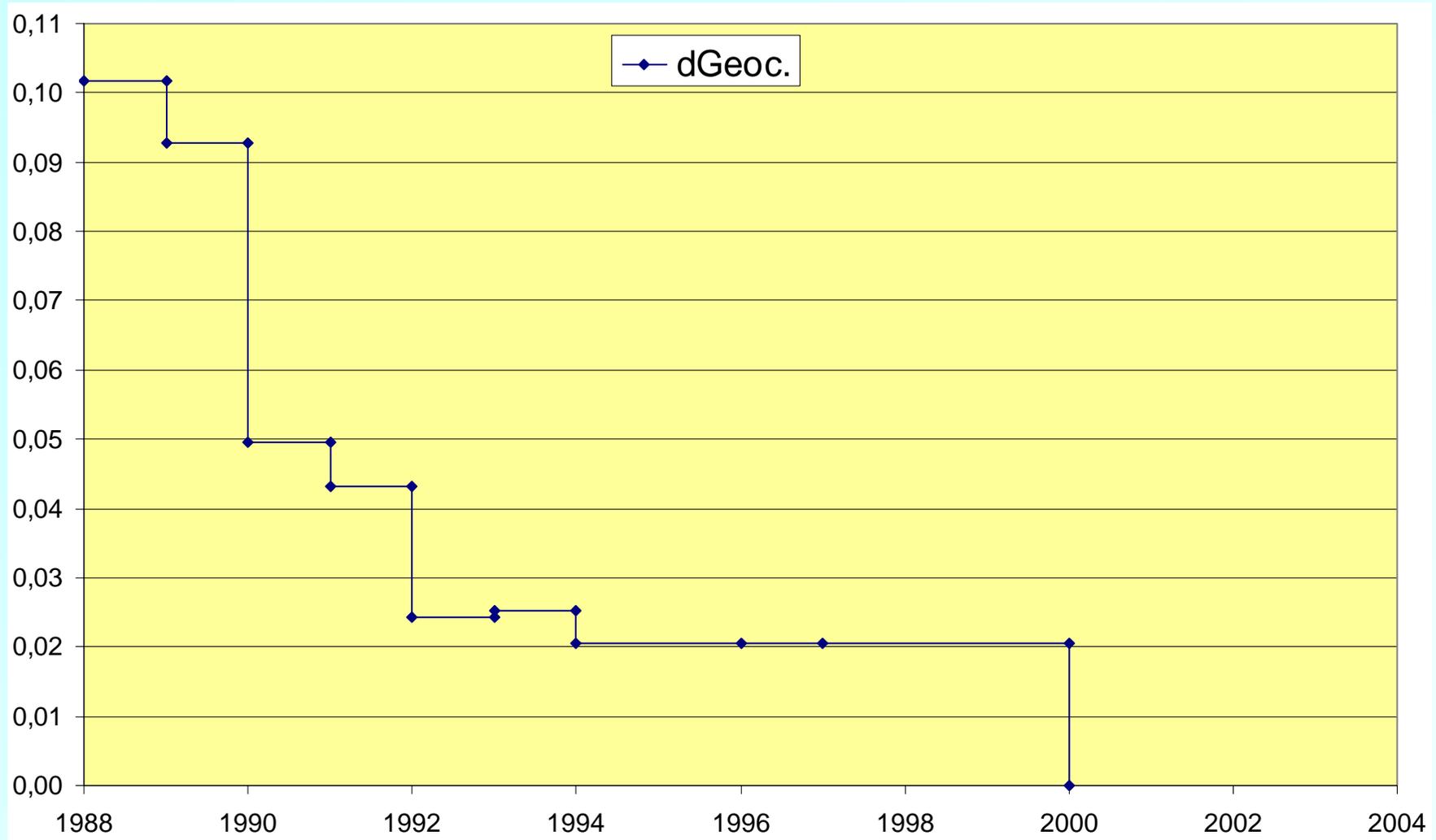
**ITRF2000 y anteriores:** Llamada a todos los centros de análisis de las diferentes técnicas para entregar soluciones individuales (posiciones + velocidades) que se combinan para la solución ITRF.

	Número de estaciones	y de soluciones de las técnicas				
	↓	VLBI	SLR	GPS	DORIS	en total
ITRF 88	120	5	6	-	-	11
ITRF 89	113	6	8	-	-	14
ITRF 90	120	4	7	-	-	11
ITRF 91	131	5	7	1	-	13
ITRF 92	155	5	6	6	-	17
ITRF 93	160	6	4	5	-	15
ITRF 94	209	6	1	5	3	15
ITRF 96	290	4	2	7	3	16
ITRF 97	309	4	5	6	3	18
ITRF 2000	477	3	9	6 + 8*	3	21 + 8*

\*Densificaciones regionales

# Variación del origen geocéntrico ITRF

[cm]



# Combinación de las soluciones individuales (1)

- Hasta el ITRF2000, todas las soluciones individuales de las diferentes técnicas se combinaron en la solución ITRF por la „IERS Terrestrial Frame Section“, IGN Paris.
- Problemas generales:
  - Todas las soluciones de la misma técnica utilizan (casi) las mismas mediciones: En ITRF2000 entraron las de VLBI 3 veces, de SLR 9 veces, de GPS 6 veces y de DORIS 3 veces, lo que se traduce en un peso igual al número de soluciones incluidas.
  - Un solo cálculo no garantiza la confiabilidad de la combinación.
- Procedimiento desde 2001:
  - Los servicios de las técnicas (IGS,ILRS,IVS,IDS) entregan **una** solución derivada de la combinación de soluciones individuales.
  - Por decisión del IERS hay tres „ITRF Combination Centres“: IGN Paris, DGFI Munich, NRCan Ottawa.

## Combinación de las soluciones individuales (2)

- Las soluciones individuales se combinaron por transformación de similitud (Helmert) utilizando puntos idénticos.
- Problema en la combinación:
  - Cada solución de coordenadas (y velocidades) requiere de un datum definido, **exclusivamente**, por 7 parámetros, fijando el origen (3), la orientación (3) y la escala (3) de la red (mas 7 parámetros de sus cambios en el tiempo = datum cinemático).
  - Los 14 parámetros **deben** ser iguales en todas las soluciones, pero por deficiencias en las realizaciones no son idénticos:
    - Algunas soluciones fijan mas de 14 coordenadas y velocidades, u otros parámetros, p.ej. del campo de gravedad o de rotación.
- De esta manera se generan deformaciones en las soluciones.

Desde 2001: no se combinan soluciones sino ecuaciones normales.

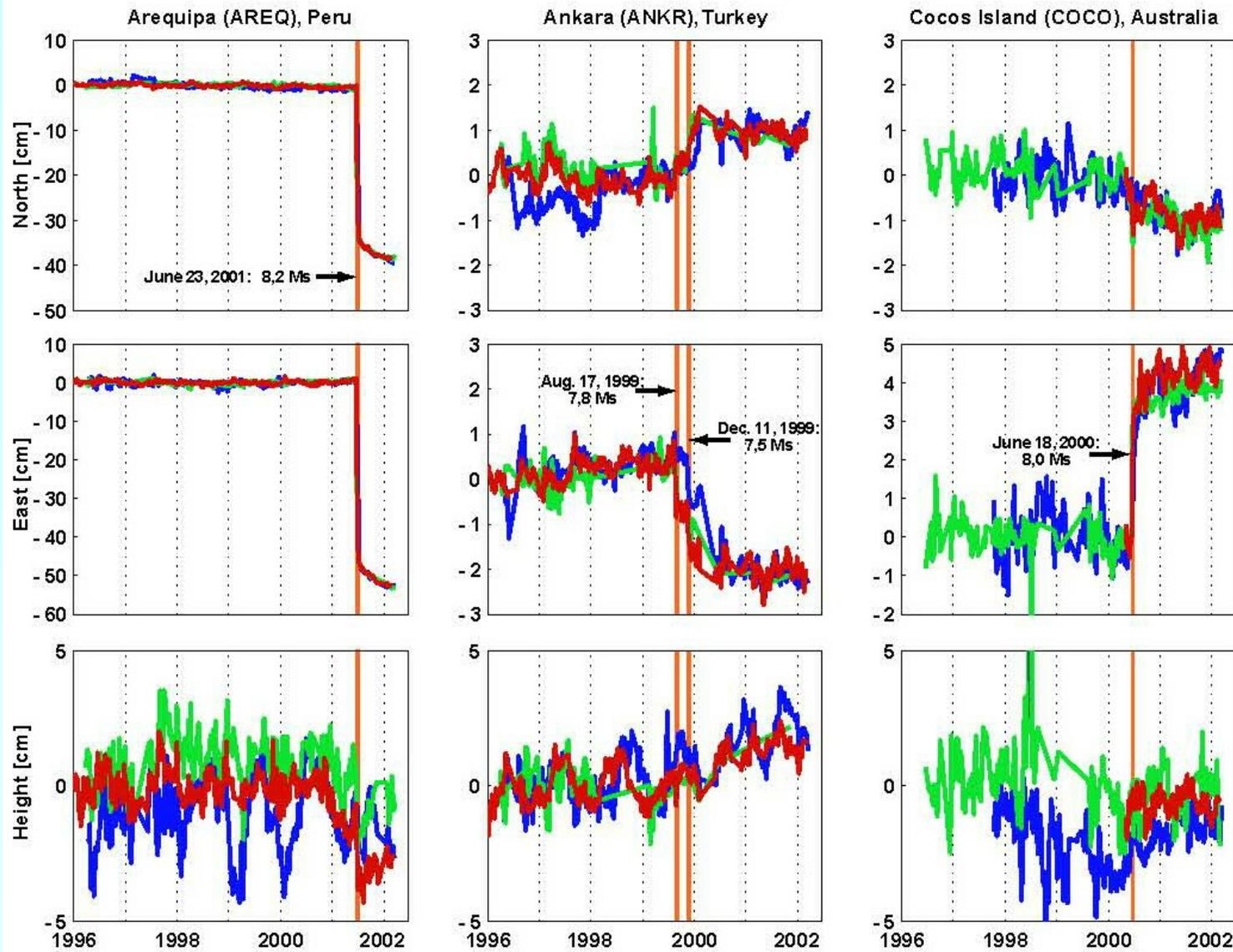
## Combinación de las soluciones individuales (3)

- Las soluciones individuales cubrieron un período muy largo (10 años y más) con coordenadas de época y velocidades lineales.
- Problema en la combinación:
  - En varias estaciones existen variaciones de coordenadas periódicas (anuales), episódicas (terremotos) o de las técnicas (cambio de instrumentos) que no siempre se descubrieron.
- Estas variaciones influyen las velocidades derivadas.
- Desde 2001: La combinación sale de coordenadas (ecuaciones normales) de épocas individuales (una sesión en VLBI, una semana en las otras técnicas).
  - Se analizan, primeramente, las series semanales.
  - „Saltos“ en las series significan nuevas coordenadas.
  - Diferentes tendencias significan diferentes velocidades.

# Variaciones irregulares de coordenadas

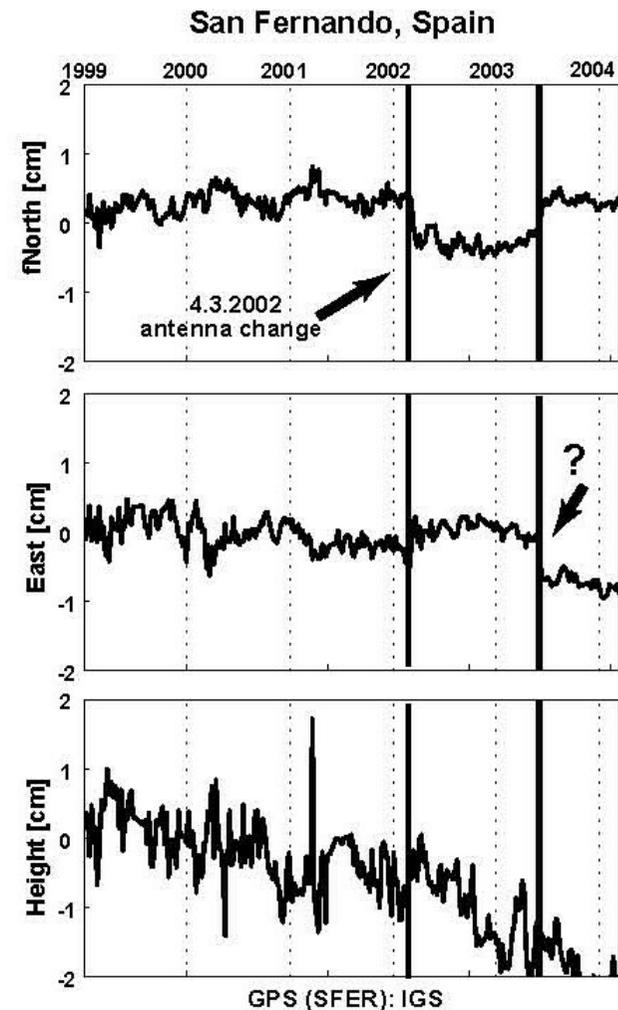
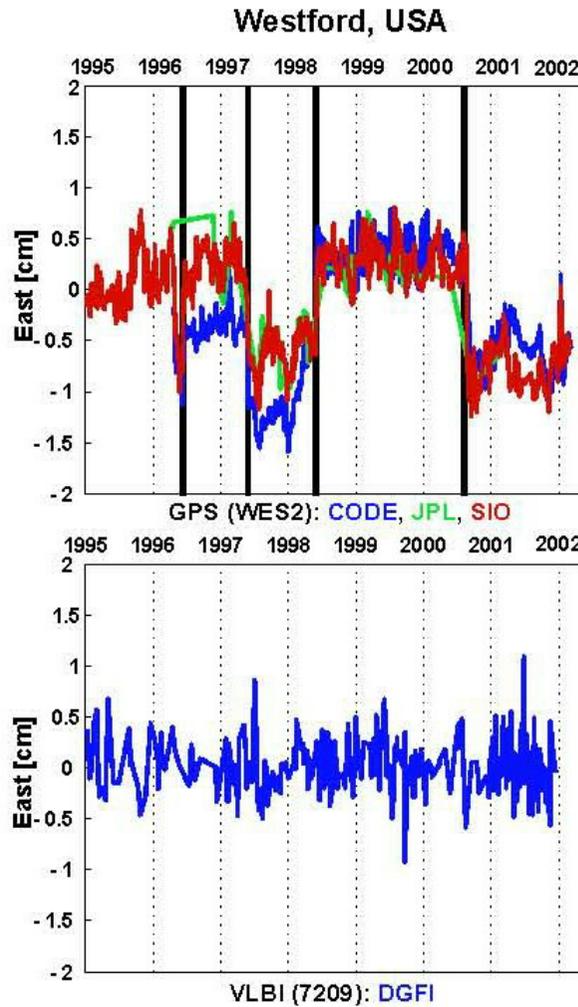
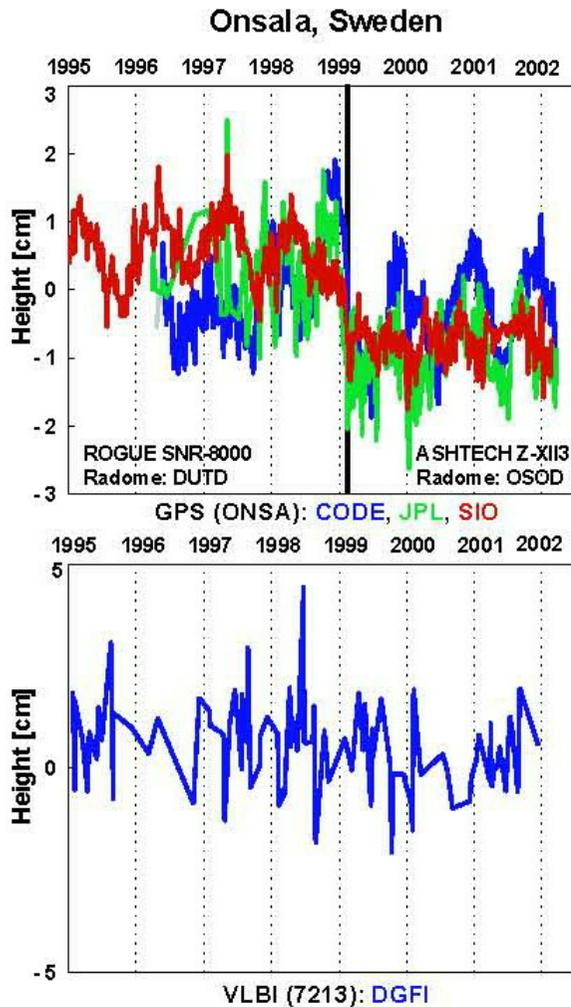
Variación por terremotos

GPS solutions: **CODE**, **JPL**, **SIO**



# Variaciones irregulares de coordenadas

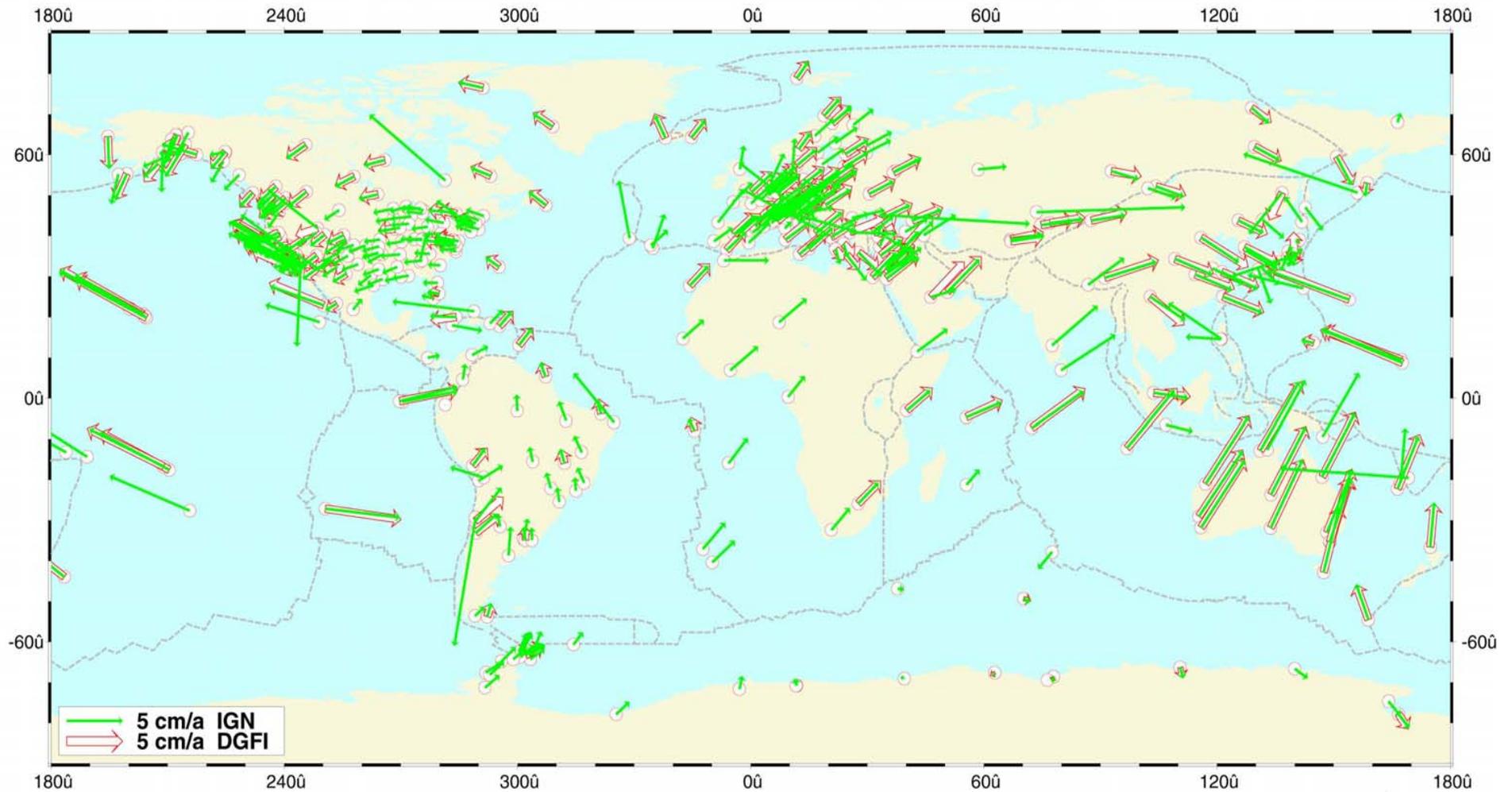
## Variación por cambios instrumentales



## Combinación de las soluciones individuales (4)

- La red de estaciones ITRF incluyó el número máximo posible, i.e., todas las estaciones de las soluciones individuales.
- Problema en la combinación:
  - Algunas estaciones midieron un tiempo muy corto (hasta días).
  - Las velocidades de éstas se tomaron del modelo geofísico.
  - Otras estaciones se ocuparon con instrumentos viejos.
- Esto no permite el cálculo preciso de coordenadas, puede deformar la red e influir el datum de la técnica correspondiente.
- Desde 2001: Se incluyen, exclusivamente, estaciones con mediciones en un tiempo mínimo (p.ej. 2,5 años) e instrumentos modernos. Calidad es mas importante que cantidad !

# Comparación del ITRF2000 y TRF(DGFI)



# Precisión del ITRF2000

- **Desviación estandar de coordenadas** ( $\pm 1 \text{ mm} < \sigma < \pm 50 \text{ m}$ )

177 estaciones  $\sigma < \pm 1 \text{ cm}$

240 estaciones  $\pm 1 \text{ cm} < \sigma < \pm 1 \text{ dm}$

38 estaciones  $\pm 1 \text{ dm} < \sigma < \pm 1 \text{ m}$

22 estaciones  $\sigma > \pm 1 \text{ m}$

- **Desviación estandar de velocidades** ( $\pm 0,1 \text{ mm/a} < \sigma < \pm 3 \text{ m/a}$ )

62 estaciones  $\sigma < \pm 1 \text{ mm/a}$

298 estaciones  $\pm 1 \text{ mm/a} < \sigma < \pm 1 \text{ cm/a}$

89 estaciones  $\pm 1 \text{ cm/a} < \sigma < \pm 1 \text{ dm/a}$

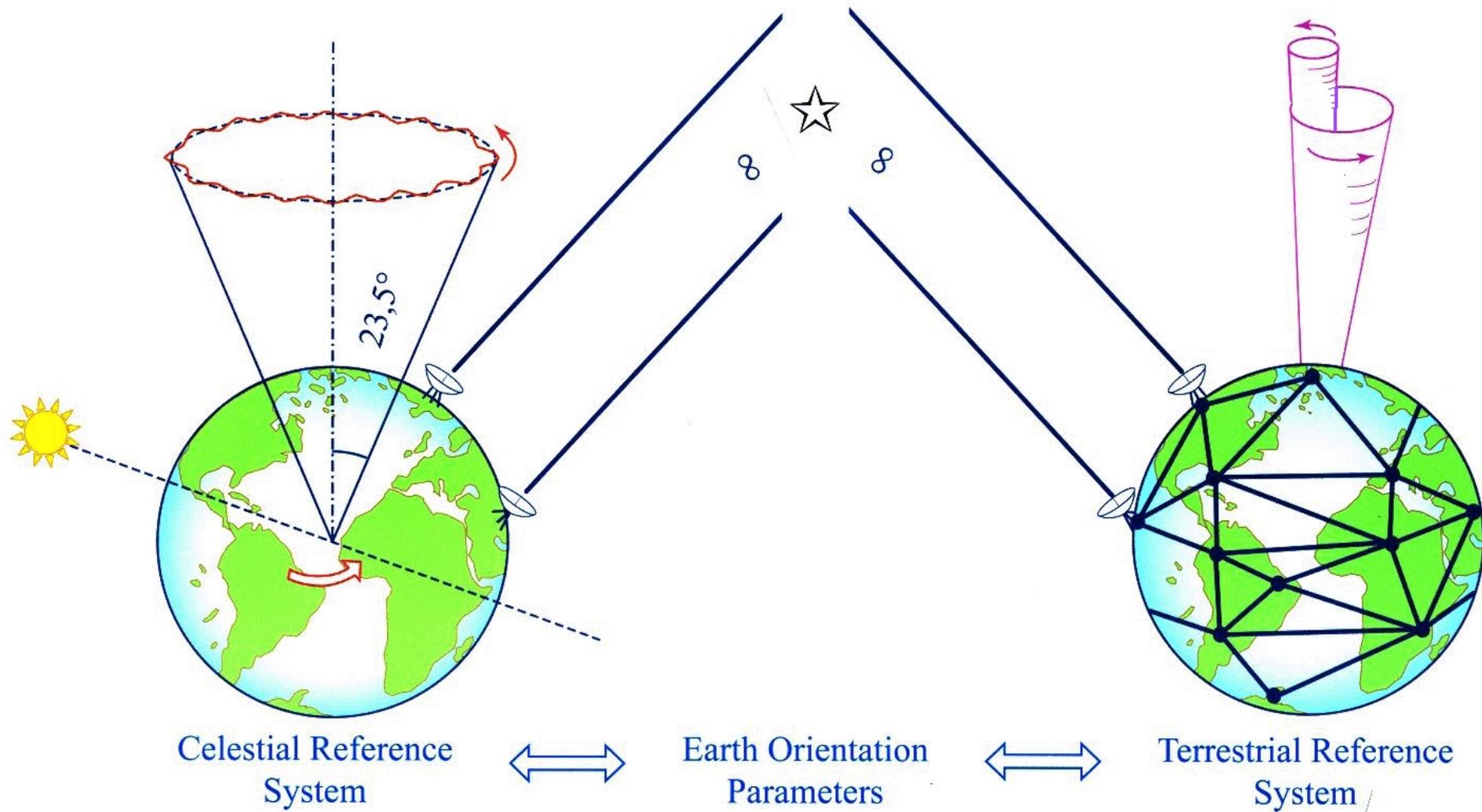
28 estaciones  $\sigma > \pm 1 \text{ dm/a}$

**Note:** Las velocidades máximas de placas tectónicas son 15 cm/a

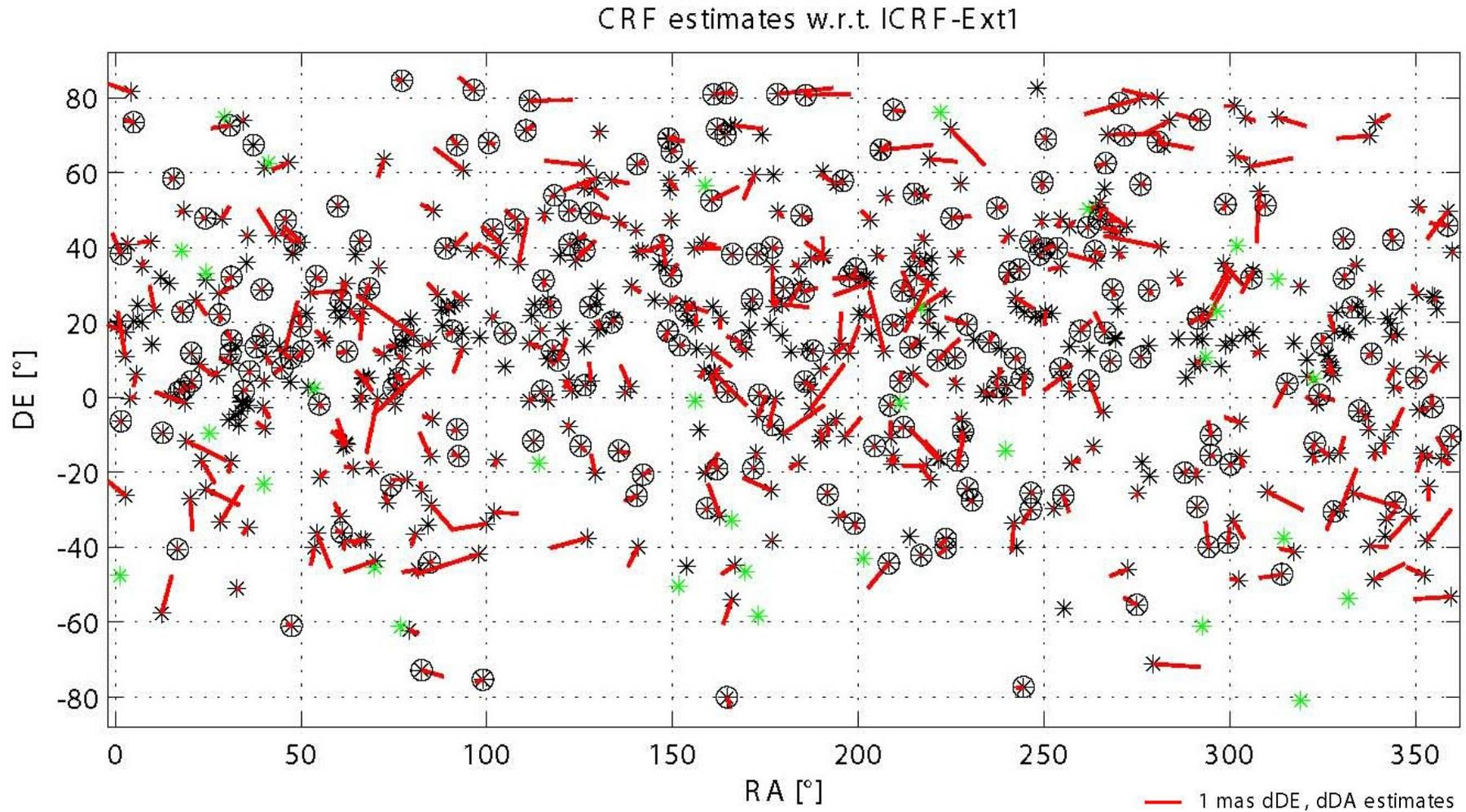
## Combinación de las soluciones individuales (5)

- Se combinaron las coordenadas y velocidades, exclusivamente, en el ITRF.
- La orientación de la Tierra (Earth Orientation Parameters, EOP) se calculó independientemente por el Centro EOP del IERS.
- De esta manera no hay consistencia entre ITRF y EOP, se producen errores de orientación que entran en las velocidades.
- Desde 2001: Se combinan en un ajuste **común** las coordenadas + velocidades de las estaciones + los parámetros de orientación de la Tierra (coordenadas del polo,  $X_p$ ,  $Y_p$  y longitud del día, LOD).
- En el centro DGFI también se combina, simultáneamente, el sistema de referencia celeste (CRF) como ejemplo para el futuro.

# Combinación común de ITRF, EOP, ICRF



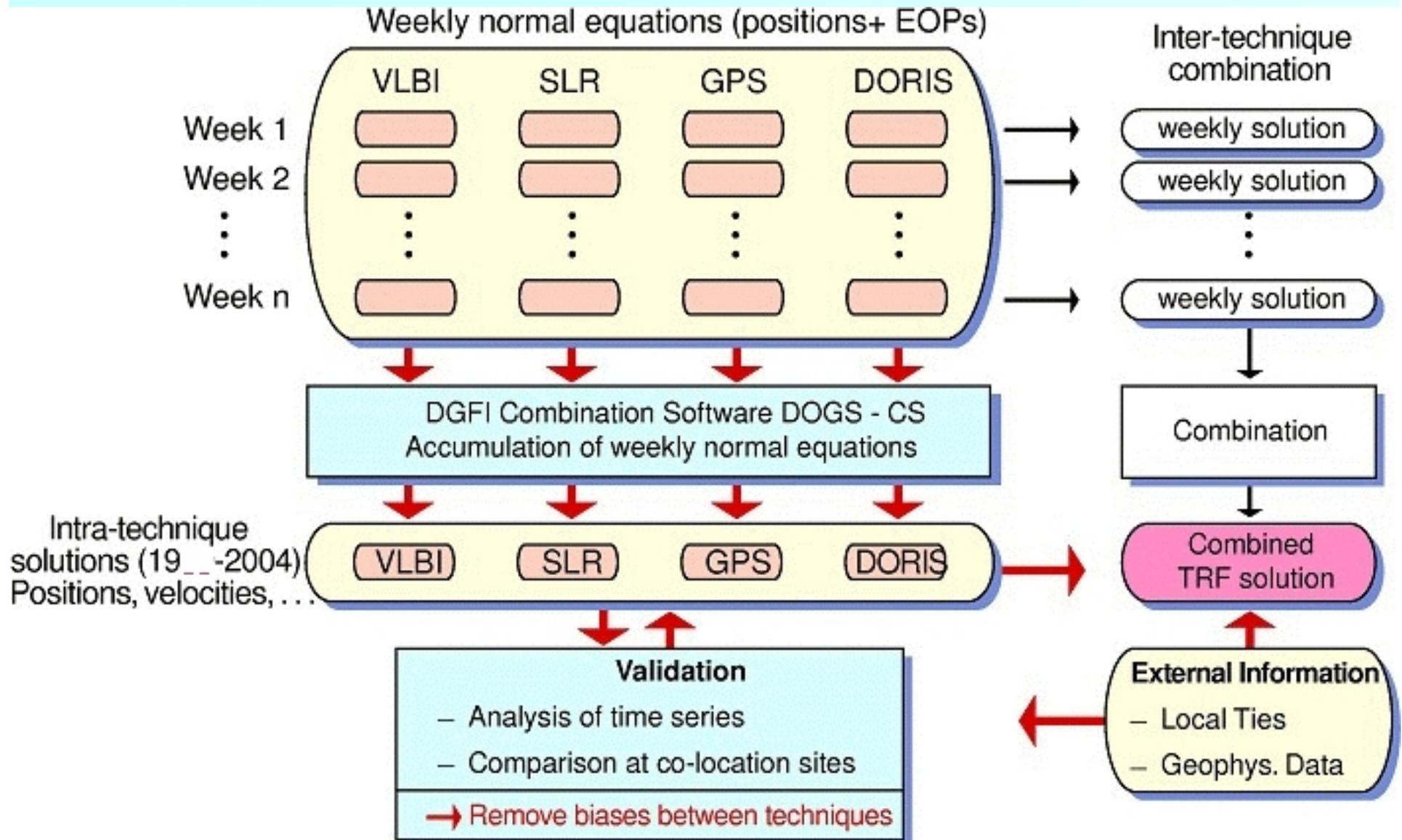
# Corrección de coordenadas de Cuasares



# Conclusión del procedimiento ITRF2005

- Los datos de entrada para la combinación son ecuaciones normales singulares (sin condiciones).
- De cada técnica (GPS, SLR, VLBI, DORIS) entra un solo sistema de ecuaciones normales proporcionado por los servicios.
- Las ecuaciones normales se generan por época (semana o sesión de VLBI) incluyendo coordenadas  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  y parámetros EOP diarios con su derivada lineal (para interpolaciones).
- Las soluciones semanales se analizan, cuidadosamente, por efectos irregulares.
- Inicialmente, se combinan las coordenadas de las técnicas individuales, obteniendo coordenadas para una época ( $\underline{X}_0$ ) con sus velocidades  $\underline{v}$  y los EOP para cada día.
- Después se combinan las diferentes técnicas para el ITRF final, vinculándolas por mediciones de conexión local (“local ties”).

# Principio de la combinación ITRF (1)



## Principio de la combinación ITRF (2)

El datum final del ITRF se realiza de la siguiente manera:

- El origen geocéntrico se realiza por las órbitas de los satélites. Se utiliza únicamente SLR, ya que mide distancias. GPS y DORIS no se utilizan, porque miden diferencias de distancias y éstas eliminan gran parte de la referencia al geocentro. VLBI no tiene ninguna relación al geocentro.
- La orientación (EOP) se realiza por VLBI y GPS: VLBI da la orientación consistente a largo plazo, GPS da la orientación precisa con alta resolución.
- La escala se realiza por SLR y VLBI porque miden las distancias tridimensionales más precisas.

# Estado del cálculo en agosto de 2005

(Fecha límite fue el 31 de marzo de 2005)

Técnica	Servicio	Datos	Tiempo incluido	Parámetros
GPS	IGS	467 sem. 317 estac	1996 - 2004 desde junio de 1999 desde marzo de 1999	Posiciones de estaciones EOP (polo+deriv., LOD) Geocentro
VLBI	IVS	2017 ses. 56 estac.	1984 – 2004	Posiciones de estaciones EOP (polo, UT1 + deriv.)
SLR	ILRS	608 sem. 69 estac.	1993 – 2004	Posiciones de estaciones EOP (polo + LOD)
DORIS	IGN	625 sem. 95 estac.	1993 – 2004	Posiciones de estaciones EOP (polo, UT1 + deriv.)
	INA	603 sem.	10/92 – 06/2004	Posiciones de estaciones EOP (polo, UT1 + deriv.)
	LCA	632 sem.	1993 - 2004	Posiciones de estaciones EOP (polo)

# Característica del cálculo

## Ejemplos del número de incógnitas

- GPS con 467 semanas:

$$\begin{aligned} 317 \text{ estaciones } (X, Y, Z, v_X, v_Y, v_Z) &= 1902 \\ + 467 \text{ parámetros datum } (T_X, T_Y, T_Z, R_X, R_Y, R_Z, D) &= 3269 \\ + 467 * 7^d \text{ EOP } (X_P, Y_P, UT1, X_P', Y_P', UT1') &= 19614 \\ &\text{en total } \approx 24785 \end{aligned}$$

- VLBI con 2017 sesiones:

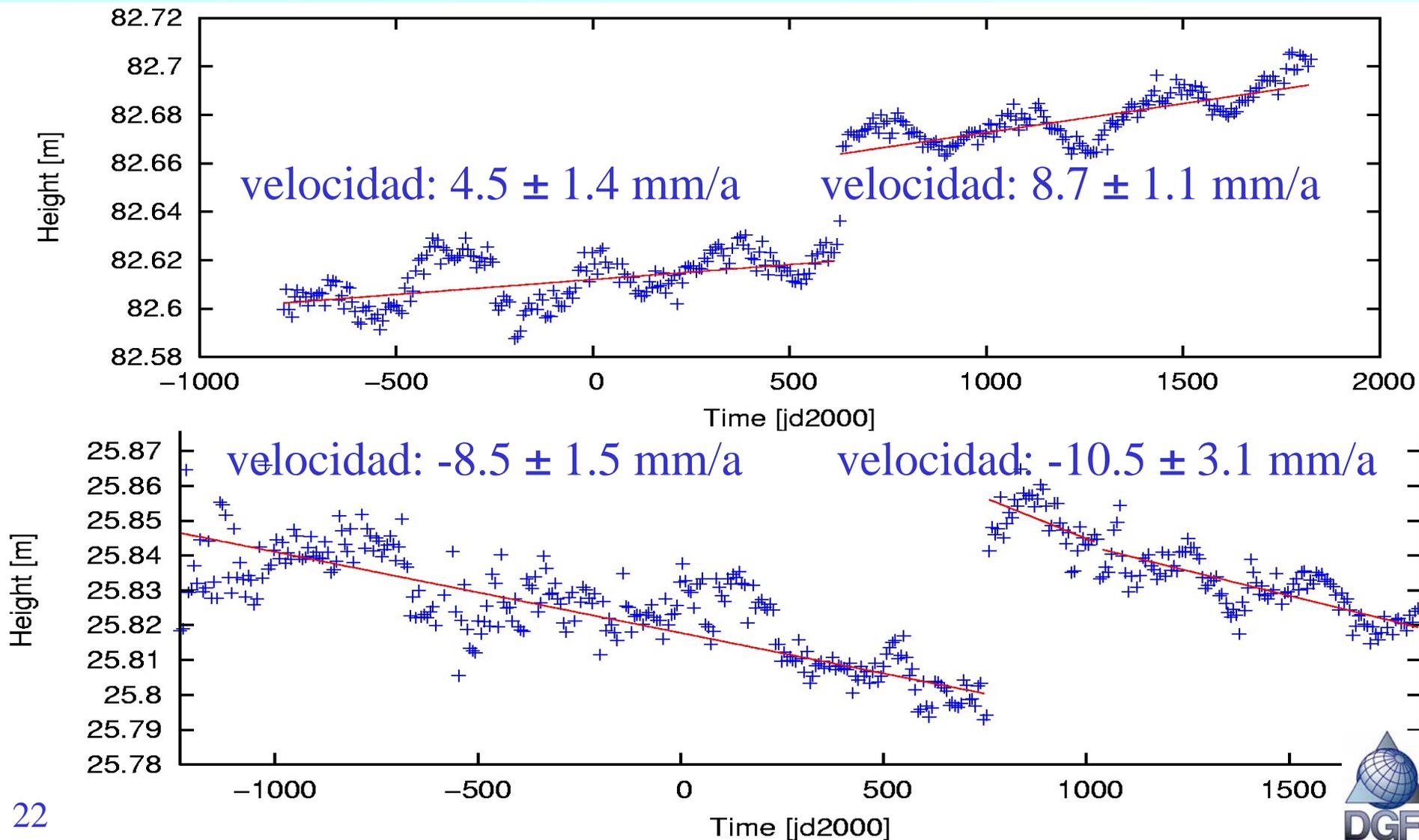
$$\begin{aligned} 56 \text{ estaciones } (X, Y, Z, v_X, v_Y, v_Z) &= 336 \\ + 2017 \text{ parámetros datum } (T_X, T_Y, T_Z, D) &= 8068 \\ + 2017 \text{ EOP } (X_P, Y_P, UT1, X_P', Y_P', UT1') &= 12102 \\ &\text{en total } \approx 20506 \end{aligned}$$

# Problemas en el cálculo: Irregularidades

- Hubo muchos saltos en las series semanales (de sesión) que se reportaron a los centros de combinación de los servicios.
- Los centros de combinación de los servicios analizaron sus series, les recomputaron y completaron:
  - IGS hasta julio de 2005
  - ILRS está todavía reprocesando (principios de noviembre) por problemas con los “range bias” en algunas estaciones
  - IVS incluyó  $\approx$  2000 sesiones más
  - DORIS no entregó datos combinados sino 3 individuales
- Como consecuencia el ITRF2004 planificado se convertirá en el ITR2005

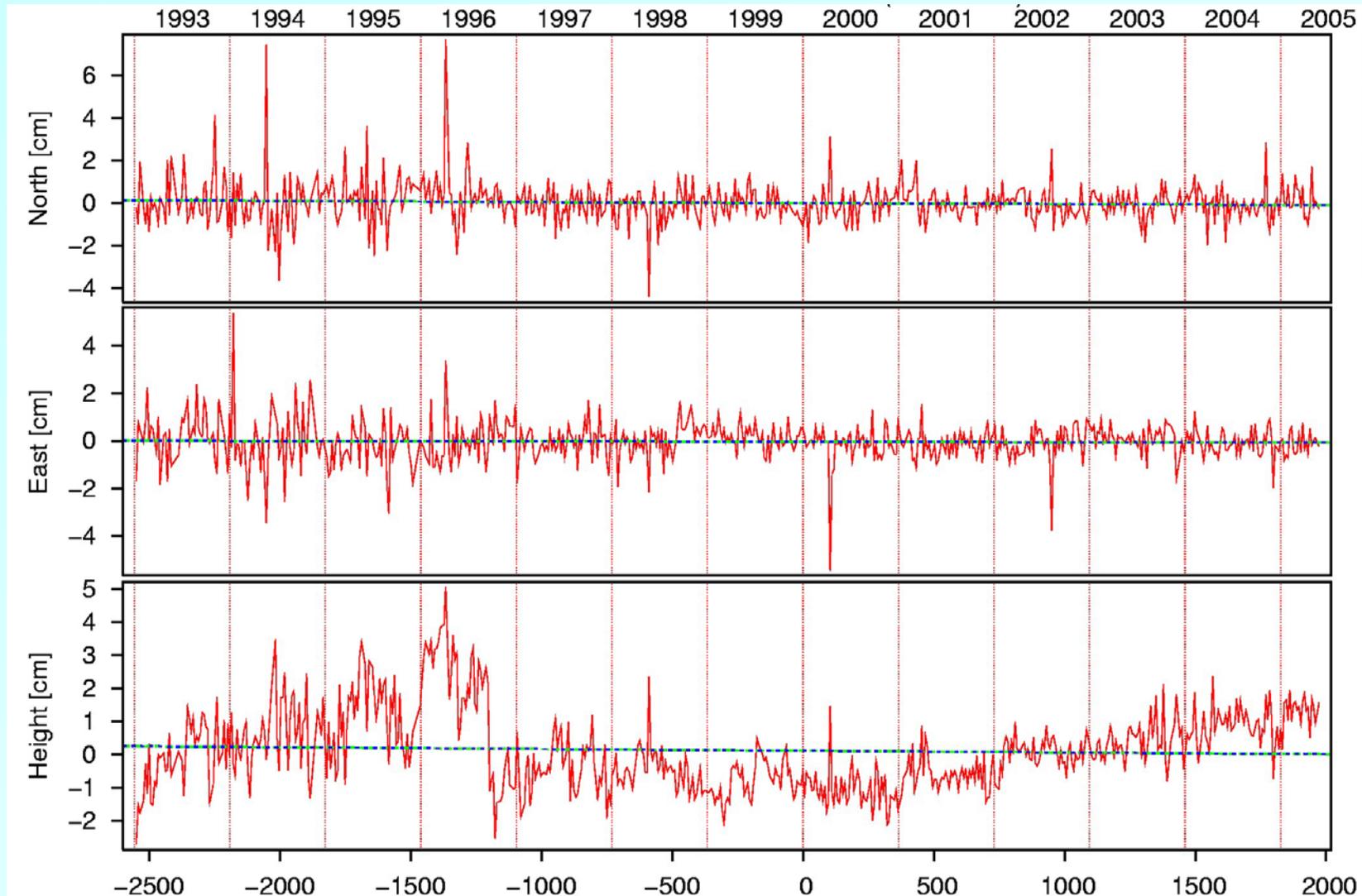
# Problemas en el cálculo: Irregularidades

Ejemplos de alturas en HOFN, Islandia y WUHN, China (IGS):



# Problemas en el cálculo : Irregularidades

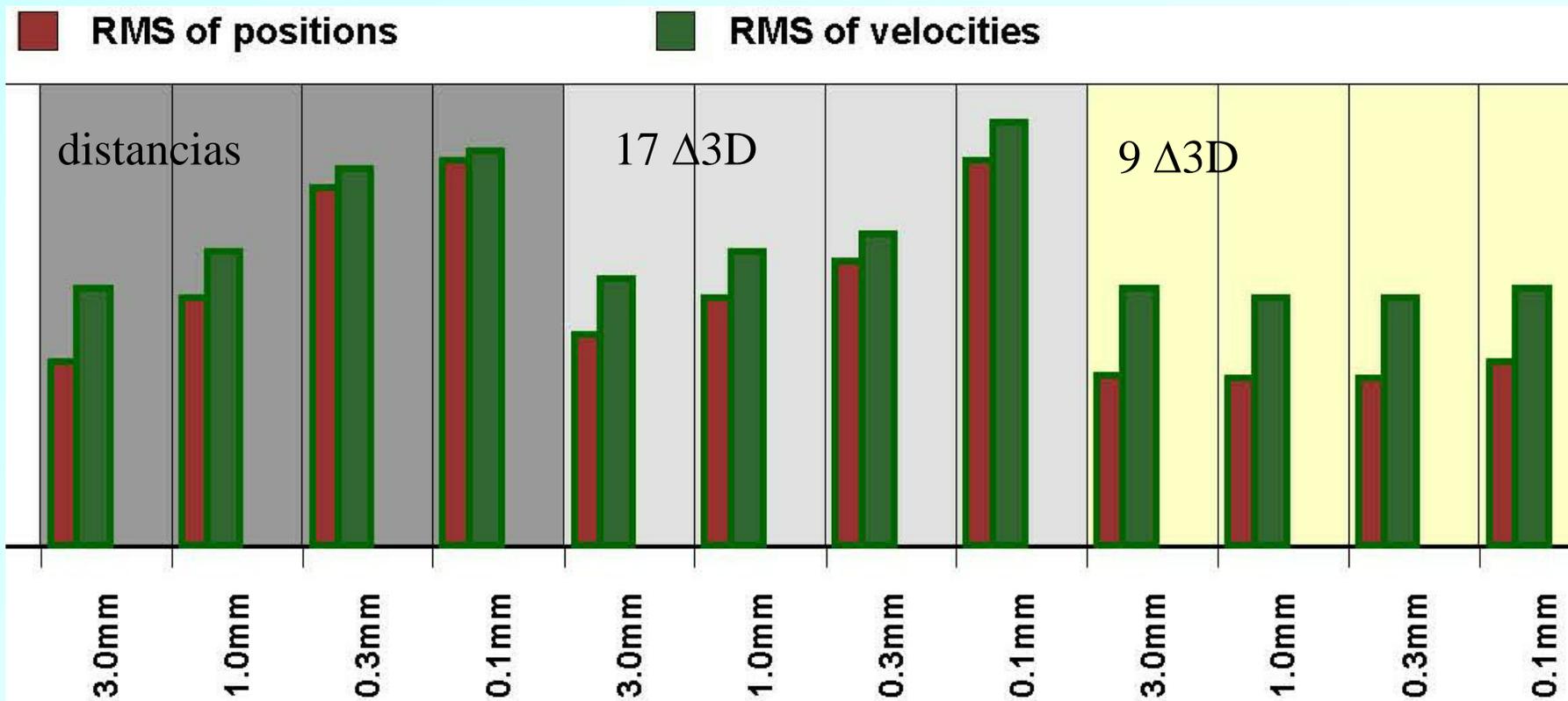
Ejemplo del problema “range bias” en GRAZ (ILRS):



# Combinación de las técnicas

## Conexión por mediciones locales (“local ties”):

- Las mediciones locales presentan problemas por la definición de los centros de los sistemas (p.ej. centro de fase GPS y VLBI)
- Comparación de rms incluyendo distancias ó 17 ó 9  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$

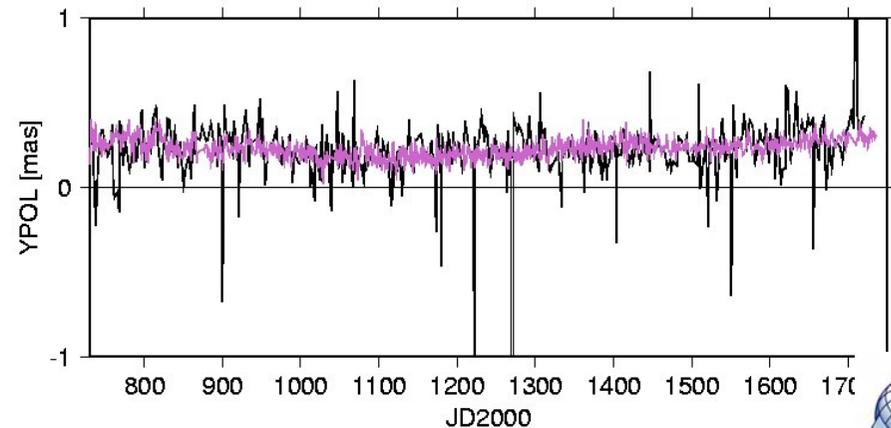
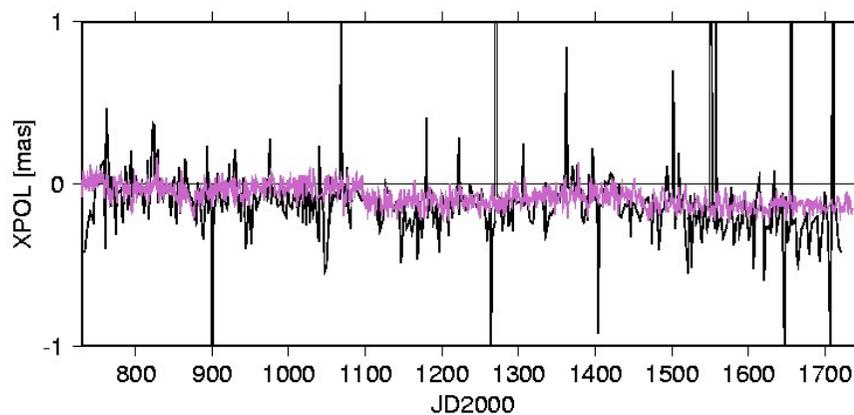


# Combinación de las técnicas

## Conexión por mediciones locales (“local ties”):

- Dependencia de los parámetros de orientación (EOP)

Tipo de solución	Offset polo [mas]			xp	yp
	xp	yp		[mas]	[mas]
Técnica individual	-0.090	0.143	$RMS_{GPS}$	0.06	0.05
17 conexiones	0.057	0.085	$RMS_{VLBI}$	0.18	0.17
9 conexiones buenas	0.004	0.035	Offset	0.004	0.035



# Combinación de las técnicas

## Otras investigaciones:

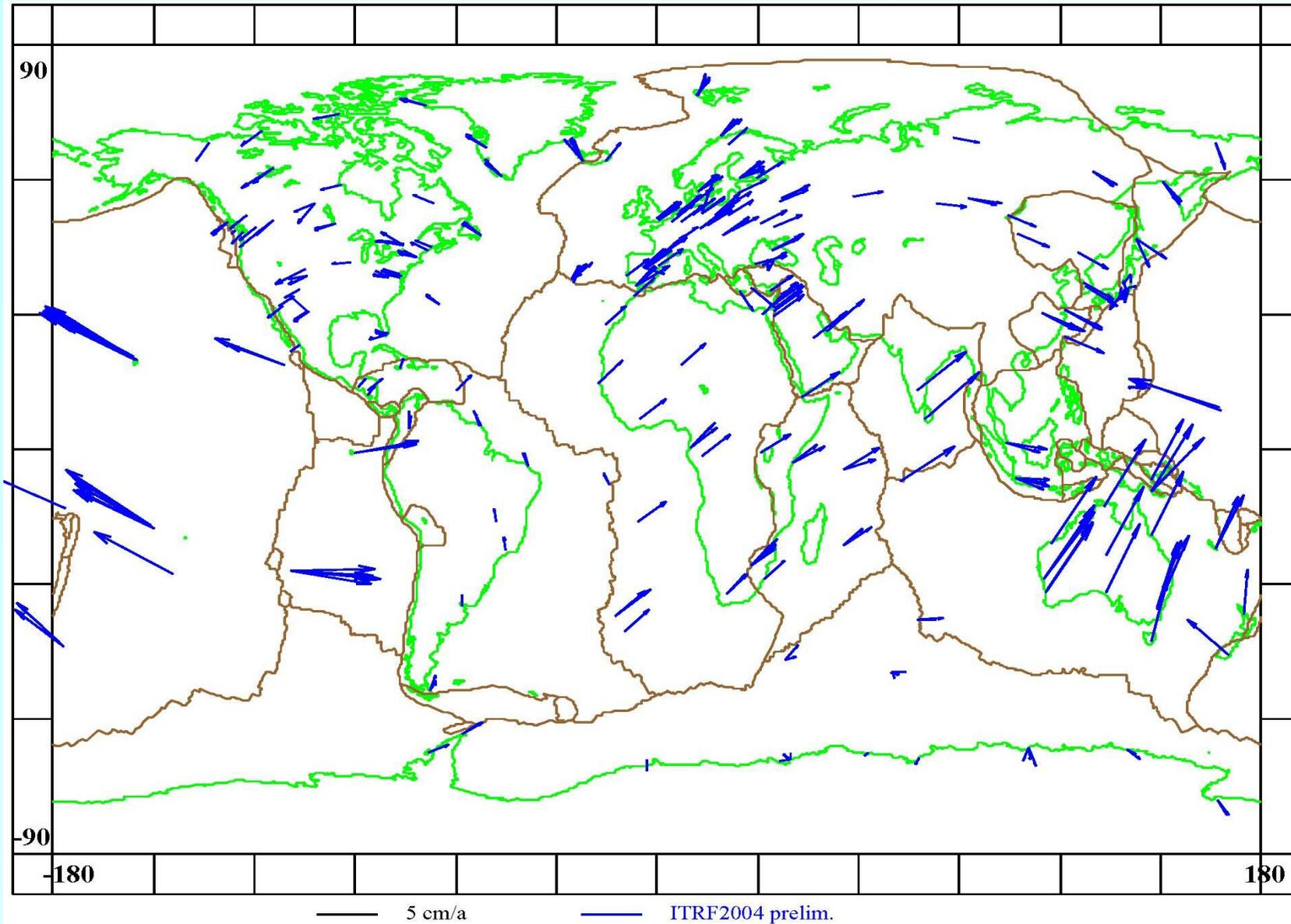
- Peso de las técnicas diferentes → Estimación de varianzas y covarianzas (matriz completa) o precisión de series de coord.
- Igualar las velocidades de diferentes ocupaciones de estaciones (técnicas diferentes o iguales)
- Incluir estaciones “malas” → Decisión individual (muchas estaciones móviles)
- Realizar el datum cinemático (referencia de las velocidades) → Modelos de placas tectónicas
- Selección de estaciones que realizan el datum cinemático → Deformaciones regionales

## Comparación de resultados

Diferencias r.m.s. entre los resultados de los tres centros de combinación ITRS para 65 estaciones IGS (sin irregularidades)

ITRS Centros de combinación	Diferencias rms en posiciones [mm]			Diferencias rms en velocidades [mm/a]		
	Lat.	Long.	Altura	Norte	Este	Altura
DGFI – IGN	0.70	0.62	1.89	0.34	0.32	0.56
DGFI – NRCan	0.89	0.84	1.22	0.39	0.38	0.46
IGN – NRCan	0.91	0.83	1.56	0.38	0.42	0.54

# Velocidades del ITRF2005P(DGFI)

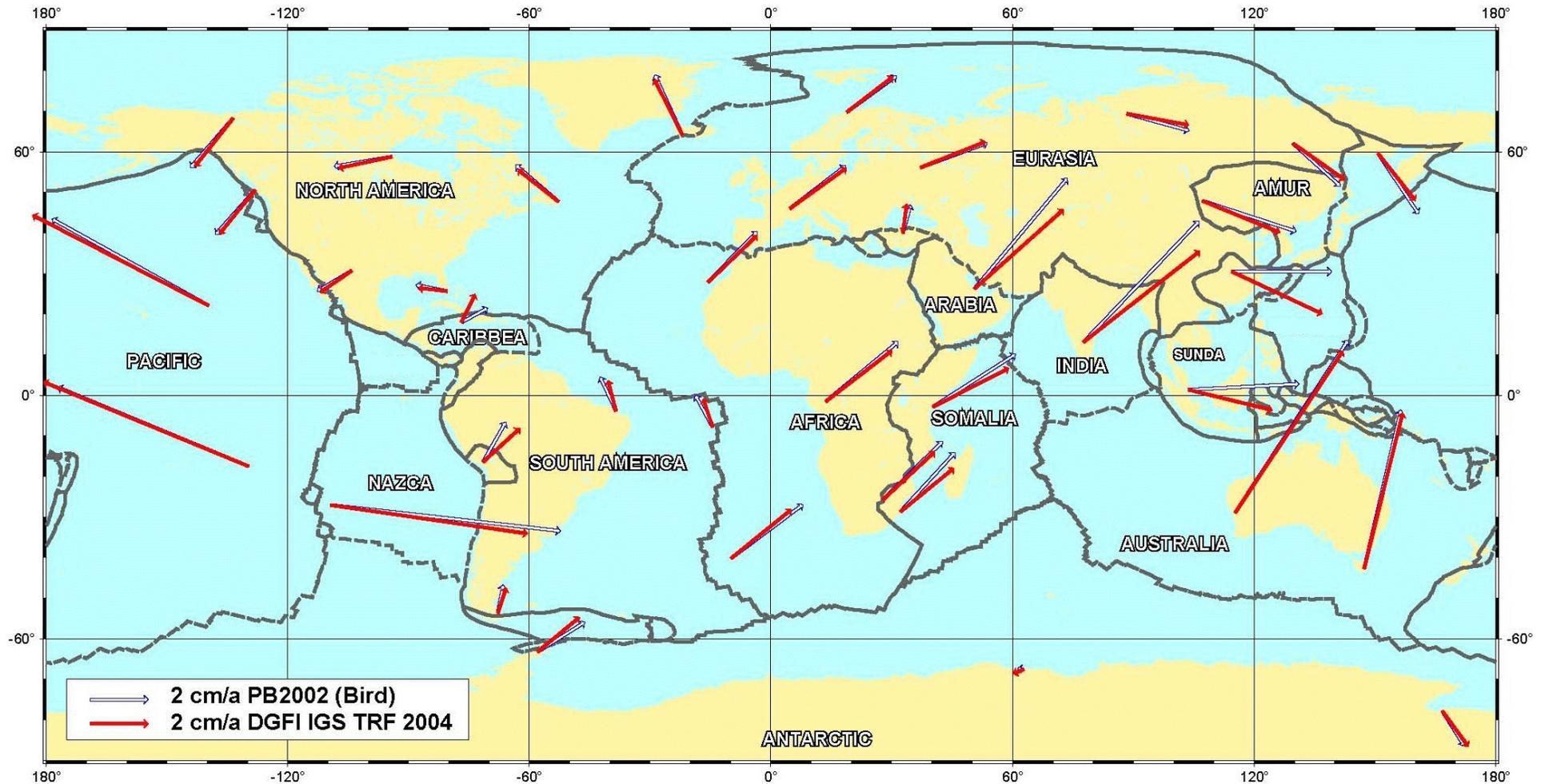


# Comparación de resultados

## Comparación de EOP entre DGFI e IGN

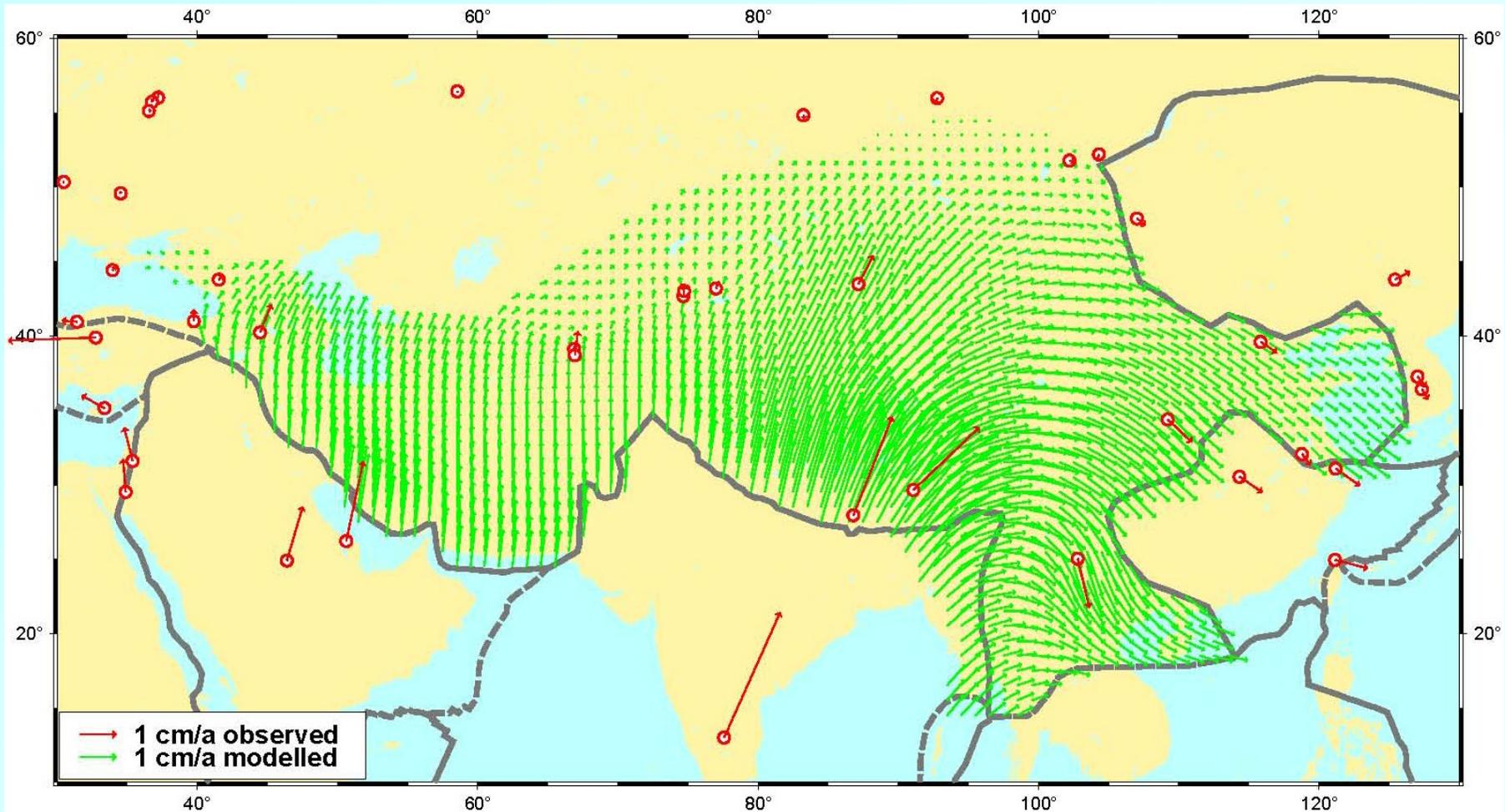
Parámetro	Offset	Diferencia rms (Offset reducido)
Polo X	9.7 $\mu\text{as}$ (0.3 mm)	2.8 $\mu\text{as}$ (0.09 mm)
Polo Y	3.2 $\mu\text{as}$ (0.1 mm)	4.1 $\mu\text{as}$ (0.13 mm)
Derivada $X_p$	0.0 $\mu\text{as/a}$	1.6 $\mu\text{as/a}$
Derivada $Y_p$	0.0 $\mu\text{as/a}$	1.6 $\mu\text{as/a}$

# Velocidades de las placas tectónicas



## Modelo de placas PB2002

# Deformaciones regionales (ejemplo)



Modelo de orogenes PB2002

## Inclusión de estaciones regionales

- En lo anterior se incluyeron, exclusivamente, las estaciones globales de los servicios (ILRS, IVS, IDS solo tienen globales).
- Estaciones globales IGS son aquéllas, que se procesan por lo menos en tres centros de análisis (AC), de las cuales dos se encuentran en diferentes continentes. Las demás estaciones IGS se procesan por los centros regionales (RNAAC).
- Por eso las estaciones regionales (como muchas estaciones SIRGAS) no se incluyen, directamente, en el ITRF2005.
- Es planificado combinar las soluciones de los RNAAC en un segundo paso con el ITRF2005. En ésto se incluirán las estaciones RNAAC-SIRGAS (ver presentación de Wolfgang Seemüller).

# Conclusión

- El ITRF2005 significa otro avance en la realización del sistema de referencia terrestre internacional.
- El ITRF2005 será mas fiable y mas preciso por introducir y analizar soluciones semanales.
- El ITRF2005 será mas consistente que sus antecesores por el ajuste común de posiciones, velocidades y EOP.
- En el futuro se combinará también el sistema celeste (ICRF), simultáneamente.
- En el futuro se deben ajustar también las velocidades no lineares, sobre todo las variaciones anuales (por efectos estacionales, como presión atmosférica, lluvias, nieve, etc.)
- Esto significa, que tendremos muy pronto otro ITRF.

Muchas gracias!



Alexander von Humboldt