

Los servicios científicos de la IAG y el marco de referencia ITRF2008

Hermann Drewes



DGFI

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut



IAG

International Association of Geodesy



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

Estructura de la investigación internacional

International Council for Science (ICSU)

113 naciones, 29 uniones

IAU

IGU

ISPRS

IUGG

IUGS

...

otros

International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)

IACS: International Association of Cryospheric Sciences

IAG: International Association of Geodesy

IAGA: International Association of Geomagnetism and Aeronomy

IAHS: International Association of Hydrological Sciences

IAMAS: International Association of Meteorology and Atmospheric

IAPSO: International Association of Physical Sciences of Oceans

IASPEI: Int. Ass. of Seismology and Physics of the Earth's Interior

IAVCEI: Int. Ass. of Volcanology and Chemistry of Earth's Interior

Países miembros de la IUGG

Número de países miembros total: 69

Miembros de América Latina:

- Argentina
- Brazil
- Chile
- Colombia
- México

Miembros asociados:

- Bolivia
- Costa Rica
- Peru

Condiciones y derechos de la afiliación:

- Pago anual mínimo (a partir de 2011): 1750,- USD
- Participación oficial en los programas y proyectos (funcionarios)
- Recibir publicaciones gratis o por precios reducidos
- Recibir ayuda financiera (p. ej. subsidio de viajes)

En IAG también hay afiliación individual (150 USD/4 años)

La Asociación Internacional de Geodesia (IAG)

La IAG se compone de 4 comisiones, 1 comité intercomisión, 15 servicios y el sistema de observación geodésica global (GGOS).

Las comisiones organizan la investigación básica. Tienen grupos de estudio (SG), grupos de trabajo (WG) y proyectos (P).

Los servicios generan productos y les distribuyen al público.

Todas las actividades se pagan por las instituciones individuales.

Comisiones

1 Reference Frames

2 Gravity Field

3 Geodynamics

4 Applications

Inter-Commission Committee on Theory

Servicios científicos

IERS

IDS

IGS

ILRS

IVS

BIPM

IBS

IAS

IGFS

BGI

ICET

ICGEM

IDEMS

IGeS

PSMSL

Global Geodetic Observing System (GGOS)

IAG Comité Ejecutivo 2011 – 2015

Presidente:	Chris Rizos (Australia)
Vicepresidente:	Harald Schuh (Austria)
Secretario General:	Hermann Drewes (Alemania)
Presidente anterior:	Michael Sideris (Canada)
Presidente de Comisión 1:	Tonie van Dam (Luxemburgo)
Presidente de Comisión 2:	Urs Marti (Suiza)
Presidente de Comisión 3:	Richard Gross (EEUU)
Presidente de Comisión 4:	Dorota Brzezinska (EEUU)
Presidente de GGOS:	Hansjoerg Kutterer (Alemania)
Presidente de comunicación:	József Ádám (Hungría)
Representantes de servicios:	Riccardo Barzaghi (Italia) Tom Herring (EEUU) Ruth Neilan (EEUU)
Miembros adicionales:	Claudio Brunini (Argentina) Richard Wonnacott (Africa del Sur)

Estructura de las comisiones (en discusión)

1 Marcos de referencia

1.1 Coordinación de técnicas espaciales

1.2 Marcos de referencia global

1.3 Marcos de referencia regionales

entre otros: 1.3b América del Sur y América Central

1.4 Interacción de marcos celestes y terrestres

2 Campo de la gravedad

2.1 Gravimetría y redes gravimétricas

2.2 Campo de la gravedad temporal y modelación del geoide

2.3 Misiones satelitales dedicadas a la gravedad

2.4 Determinación del geoide regional

entre otros: Gravedad y geoide en América del Sur

2.5 Altimetría satelital

Estructura de las comisiones (continuado)

3 Rotación de la Tierra y geodinámica

3.1 Mareas terrestres y geodinámica

3.2 Deformación tectónica

a) global

b) regional

3.3 Rotación de la Tierra y fluidos geofísicos

3.4 Deformación cryosférica

3.5 Tectónica de placas y geodesia de terremotos

4 Posicionamiento y aplicaciones

4.1 Sistemas de multi sensores

4.2 Aplicación de geodesia en ingeniería

4.3 Sensores remotos y modelación de la atmósfera

4.4 Aplicaciones de sistemas satelitales y aereos

4.5 GNSS de alta precisión

IAG servicios científicos

Servicios dedicados a productos de la geometría terrestre

- International Earth Rotation & Reference Systems Service (IERS)
- International DORIS Service (IDS)
- International GNSS Service (IGS)
- International Laser Ranging Service (ILRS)
- International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS)

Servicios dedicados a productos del campo de la gravedad

- International Gravity Field Service (IGFS)
- International Gravimetric Bureau (BGI)
- International Center for Earth Tides (ICET)
- International Geoid Service (IGeS)
- International Center for Global Earth Models (ICGEM)
- International Digital Earth Models Service (IDEMS)

IAG servicios científicos

Otros servicios de la IAG

- International Bureau of Weights and Measures (BIPM)
 - Time Department –
- International Altimetry Service (IAS)
- Permanent Service of Mean Sea Level (PSMSL)
- International Bibliography Service (IBS)

Instituciones en que participa la IAG

- International Standardization Organization (ISO)
 - TC211 Geographic Information / Geomatics –
- Group on Earth Observation (GEO): intergubernamental
- United Nations Office for Outer Space Affairs (UNOOSA)
 - International Committee on Global Navigation Satellite Systems
 - Platform for Space-based Information for Disaster Management and Emergency Response (UN-SPIDER)

Estructura general de los servicios científicos

- *Dirección (gobernación) con presidente y consejo directivo elegido.*
- *Bureau Central (Oficina de Coordinación).*
- *Red de estaciones de observación mantenidas por instituciones individuales a cuenta propia con Centro(s) de operación.*
- *Satélites operados por agencias espaciales a su cuenta (en caso de los servicios de observación por satélites).*
- *Centros de correlación de los datos de observación (en caso VLBI).*
- *Centros de datos coleccionando los datos de observación y de los resultados de análisis y combinación.*
- *Centros de análisis para el procesamiento de los datos y generación de productos para el uso científico y práctico.*
- *Centros de combinación para la evaluación y combinación de los productos generados por los diferentes centros de análisis.*

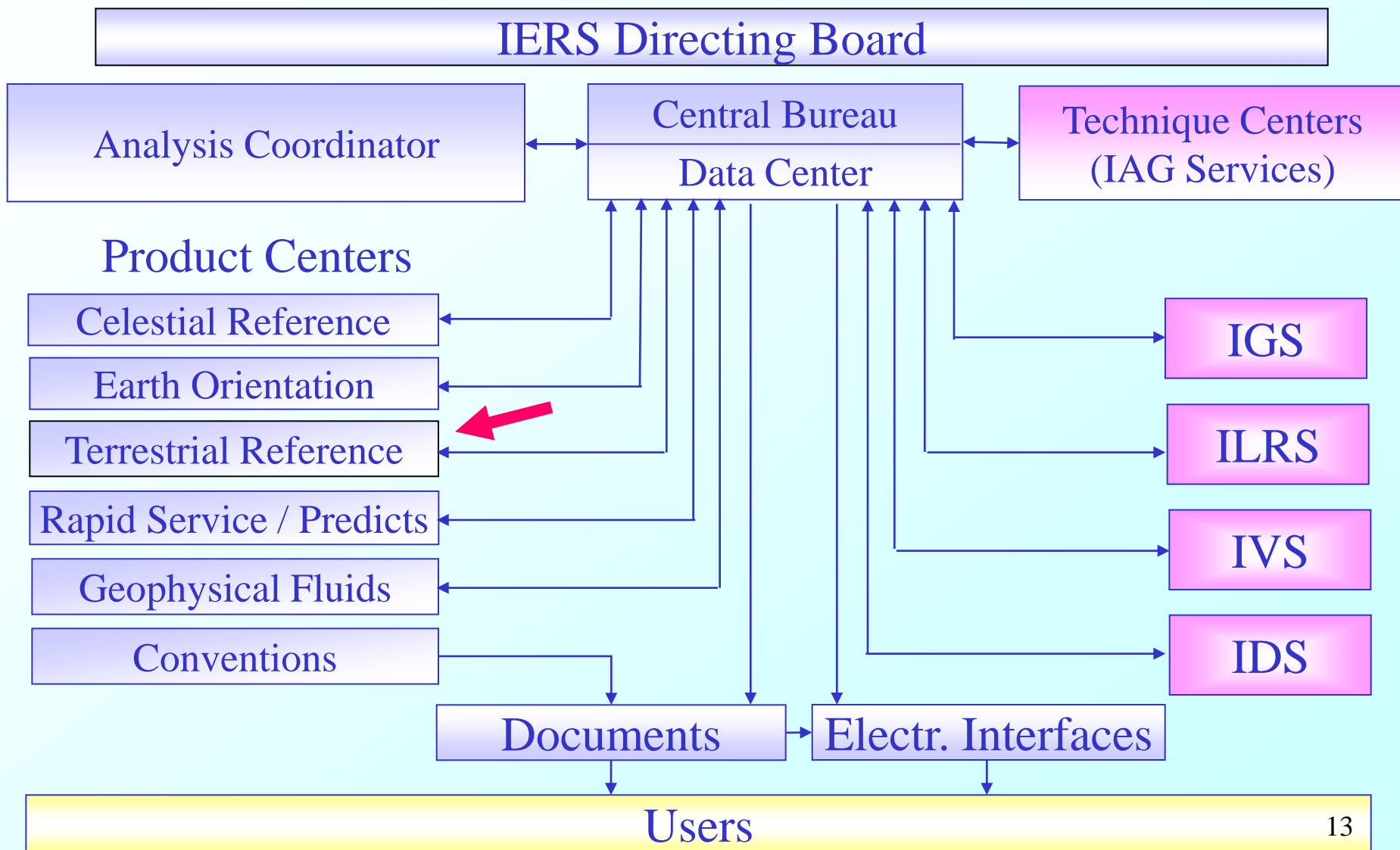
Todas las actividades son voluntarias a cuenta de las instituciones.



Producto de IAG: ITRS e ITRF

- El “International Terrestrial Reference System” (ITRS) es el sistema oficial de la IAG. Es la *definición* de constantes, modelos, parámetros etc. necesarios para calcular coordenadas. Se define como sistema cartesiano tridimensional ortogonal, con el origen en el geocentro, el eje Z cerca del eje de rotación terrestre, el eje X cerca del meridiano de Greenwich, escala métrica y variación temporal que no produce rotación global de la corteza terrestre.
- El “International Terrestrial Reference Frame” (ITRF) es la *realización* del ITRS, físicamente (estaciones) y matemáticamente (coordenadas). Se realiza por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Son centenares de puntos sobre la superficie terrestre medidas por técnicas espaciales y dadas con coordenadas geocéntricas X, Y, Z calculadas de las mediciones para una época fija y variaciones temporales lineales $dX/dt, dY/dt, dZ/dt$.

International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS)



Realizaciones ITRF

Hasta 2000: Combinación de soluciones individuales (casuales),
 desde 2005: Combinación de soluciones de los servicios de IAG

	Estaciones	Sol.: VLBI	SLR	GPS	DORIS	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
ITRF2000	477	3	9	6 + 8*	3	21+8*
ITRF2005	338	1	1	1	1	4
ITRF2008	578	1	1	1	1	4

* densificaciones regionales

Solución ITRF2008

Datos: Soluciones semanales o sesiones de 24 horas (VLBI), una por cada servicio (IGS, ILRS, IVS, IDS) con posiciones de estaciones (X, Y, Z) y parámetros de orientación terrestre (EOP: X_{polo} , Y_{polo} , UT1, LOD).

Preferiblemente ecuaciones normales libres de dátum, alternativamente soluciones con condiciones suaves (± 1 m).

Cálculo: Dos centros de procesamiento (IGN Paris, DGFI Munich) con métodos diferentes, pero estrategia igual:

- combinación multianual interna de las técnicas,
- combinación de las soluciones de las técnicas.

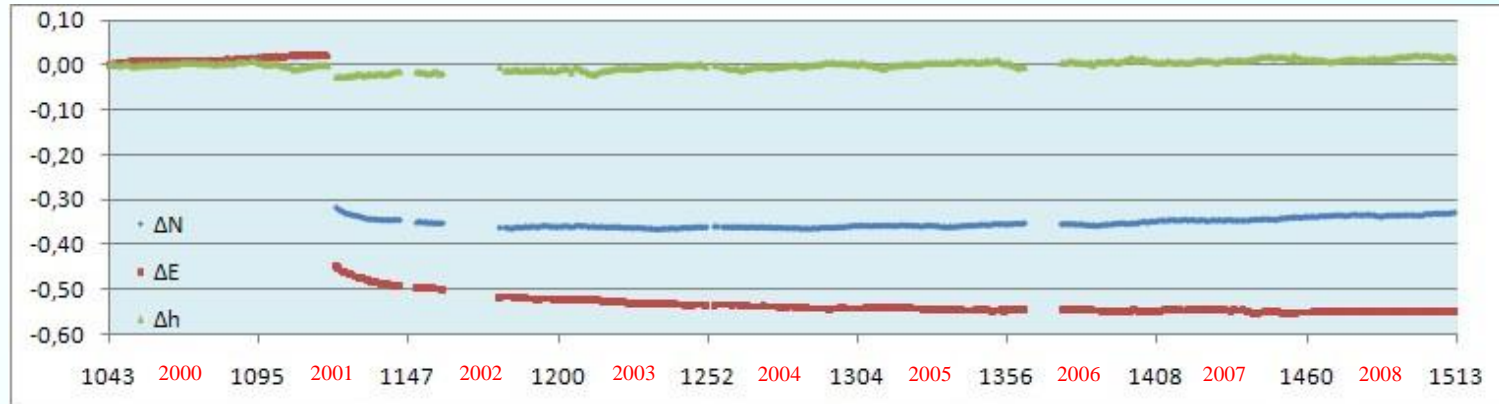
Resultado: Una solución final por decisión del „Product Center“ (IGN) adoptada en mayo de 2010.

Datos de entrada: X, Y, Z, X_P, Y_P, UT1 / LOD

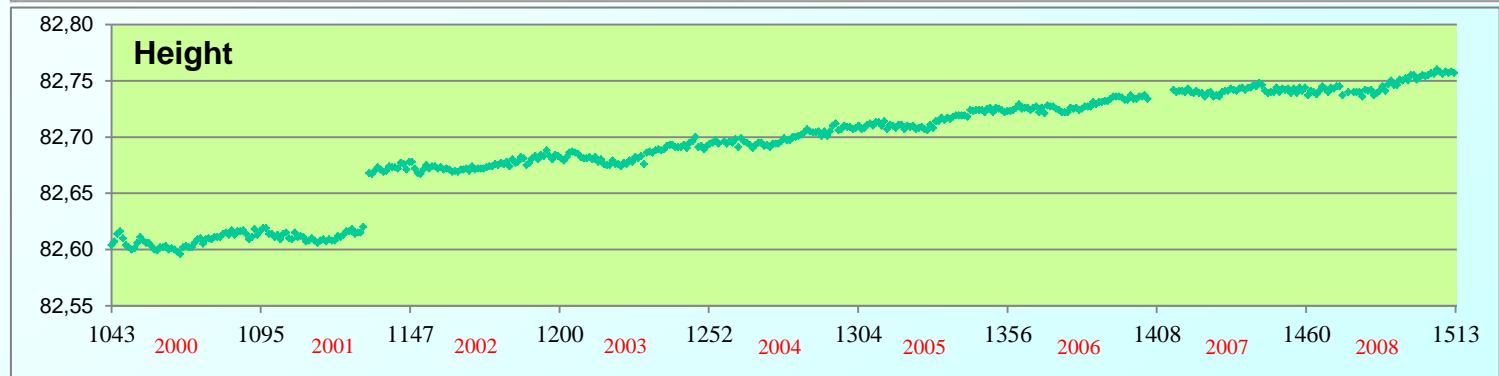
Técnica	Servicio Centro de análisis	Datos: Épocas, series semanales	Intervalo
GPS	IGS AC NRC Ottawa	Soluciones semanales (LOD)	1997 - 2008
SLR	ILRS CC ASI Matera	Soluciones semanales (LOD)	1983 - 2008
VLBI	IVS CC GIUB Bonn	Sesiones 24 h, ecu. normales libres	1980 - 2008
DORIS	IDS CC CLS Toulouse	Soluciones semanales (LOD)	1993 - 2008
Total	~1500 ocupaciones ~ 920 puntos 578 estaciones	~4500 Soluciones con EOP diarias (UT1 solo de VLBI)	1980 - 2008

Análisis de las series

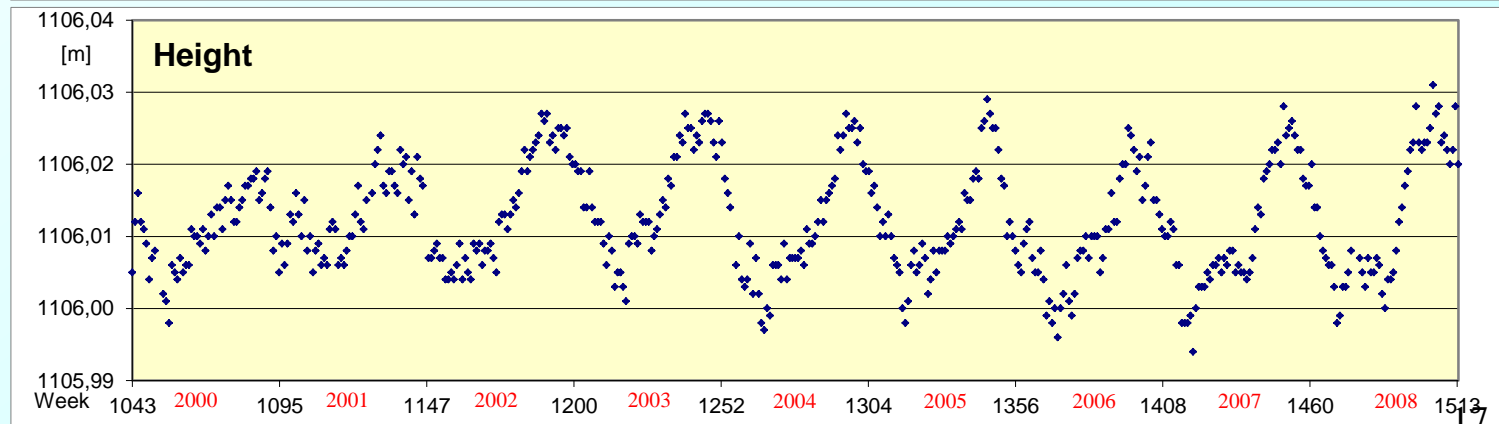
Ejemplo:
terremoto
Arequipa,
Peru 2001



Ejemplo:
cambio de
la antena,
Høfn 2001



Ejemplo:
Variación
anual
Brasilia



Análisis de las ecuaciones normales

- Las ecuaciones normales no deben tener condiciones del datum (ecuaciones normales „libres”, defecto de datum 7).
- Un datum fijado en diferentes semanas refiere las coordenadas a diferentes orígenes, orientaciones y escalas, las cuales no se pueden combinar.
- Se analizaron todos los datos de entrada al respecto. Resultado:
 - GPS (IGS) no tiene defecto (todos los parámetros fijos),
 - SLR (ILRS) tiene defecto 3 (3 traslaciones y escala fija),
 - VLBI (IVS) defecto 6 (escala fija),
 - DORIS (IDS) no tiene defecto (todos los parámetros fijos).
- Si el defecto no es siete, hay que “liberar” el datum, es decir hay que introducir columnas y filas en las ecuaciones normales para los parámetros del datum que se quieren libres (ver más tarde).

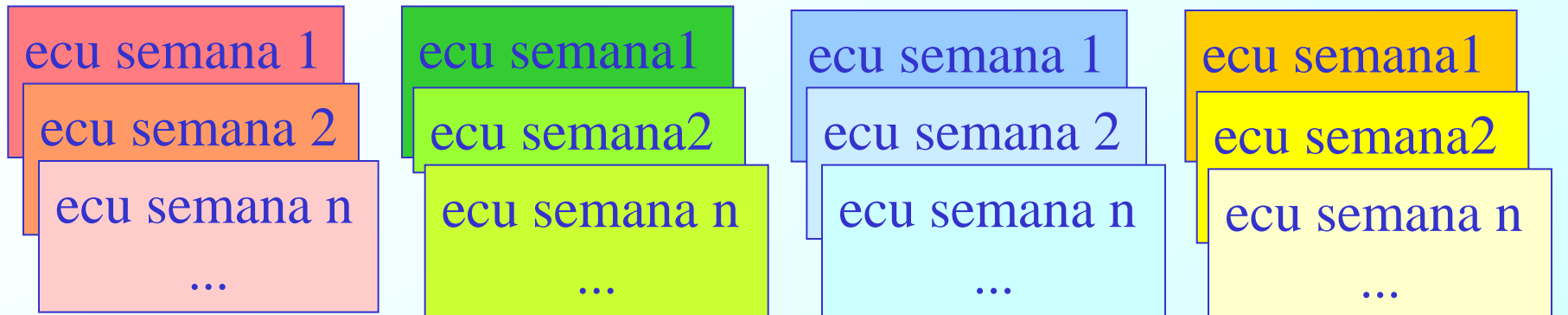
Método de combinación

GPS

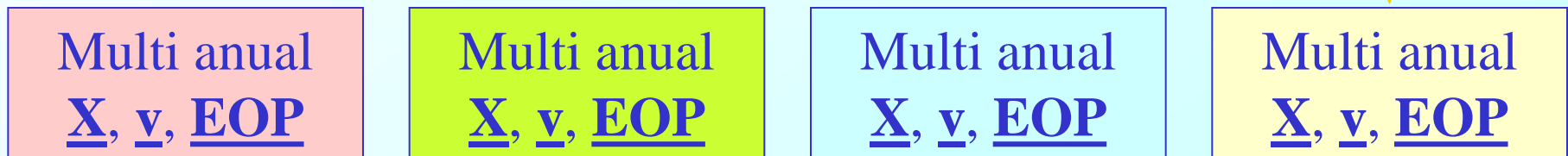
SLR

VLBI

DORIS



Acumulación de ecuaciones normales de los series



Acumulación de ecu. Normales, conexiones locales, fijar el datum

ITRF2008: posiciones, velocidades y EOP

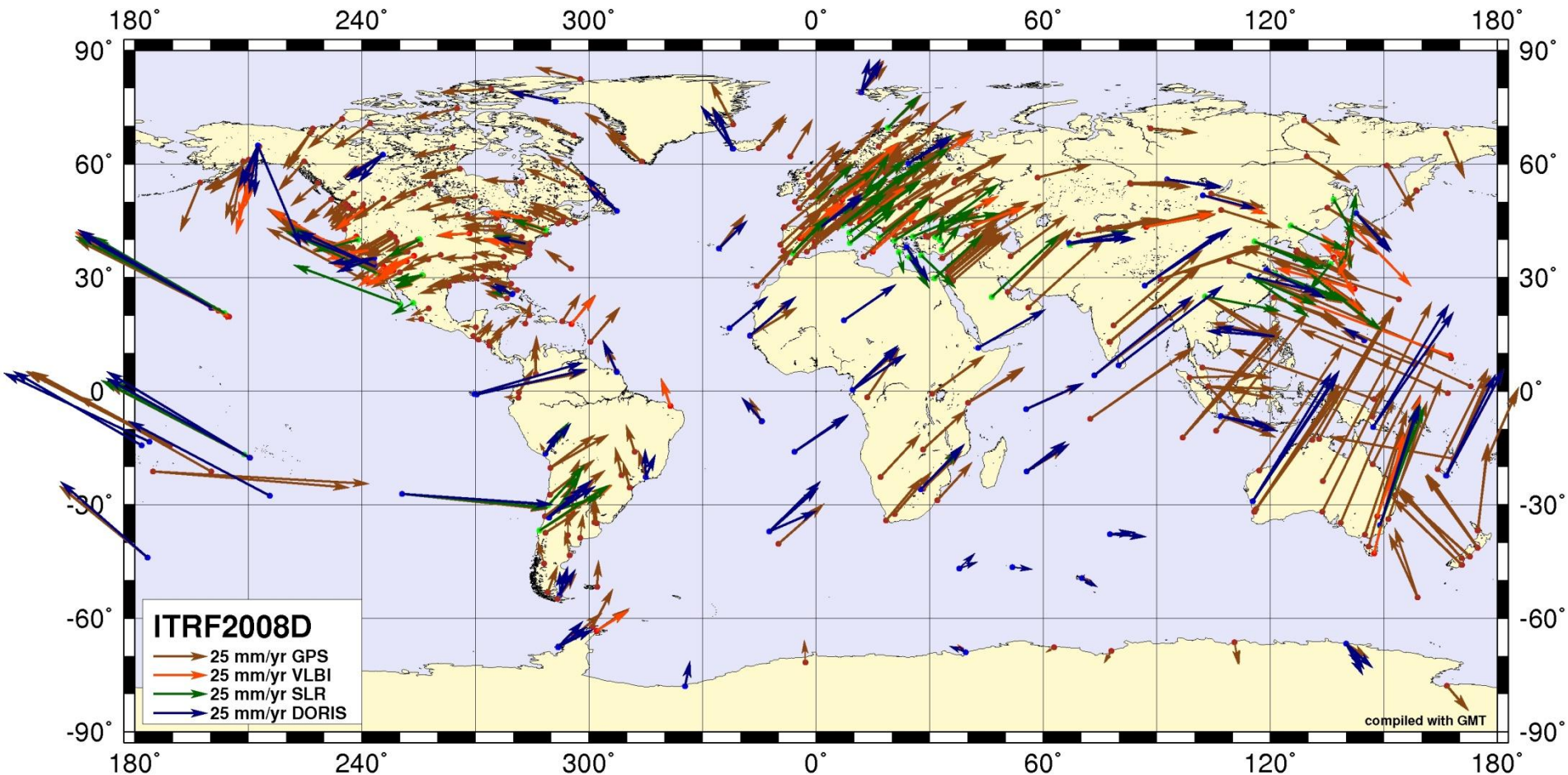
Conexiones locales („local ties“)

- Para combinar las diferentes técnicas se necesitan conexiones (diferencias de coordenadas) entre sus puntos de referencia.
- Conseguirlas es difícil, porque la definición y realización de los puntos de referencia (centros de fase, etc.) no es fácil.
- La confiabilidad de las mediciones locales se presenta en
 - comparación con las diferencias de coordenadas estimadas
 - comparación de las velocidades de las técnicas diferentes
 - comparación de los EOP de las técnicas diferentes (global tie)
- Se compararon los parámetros obtenidos según estos criterios utilizando diferentes estaciones de colocación y se escogió la selección de conexiones locales que resultó en las discrepancias mínimas (con el criterio EOP solo en DGFI).

Introducción del datum

- Las „soluciones“ de entrada deberían ser ecuaciones normales libres de datum. Pero en realidad no tienen el defecto de rango 7, sino, parcialmente, se fijan algunos parámetros.
- En la combinación se introducen los parámetros que faltan.
- El datum del ITRF2008 se fija en la época 2005.0 por medio de
 - 3 traslaciones por SLR: origen de coordenadas = geocentro,
 - 3 rotaciones por ITRF2005: orientación en el BIH1984,
 - 1 escala por SLR y VLBI: velocidad de la luz c ,
 - 3 velocidades de traslación por SLR (origen = geocentro),
 - 3 velocidades de rotación (con EOP) por condición NNR:
Modelo geofísico NNR NUVEL-1a (IGN),
Modelo geodésico APKIM (DGFI);
 - 1 deriva de la escala por SLR y VLBI (IGN, ver arriba).

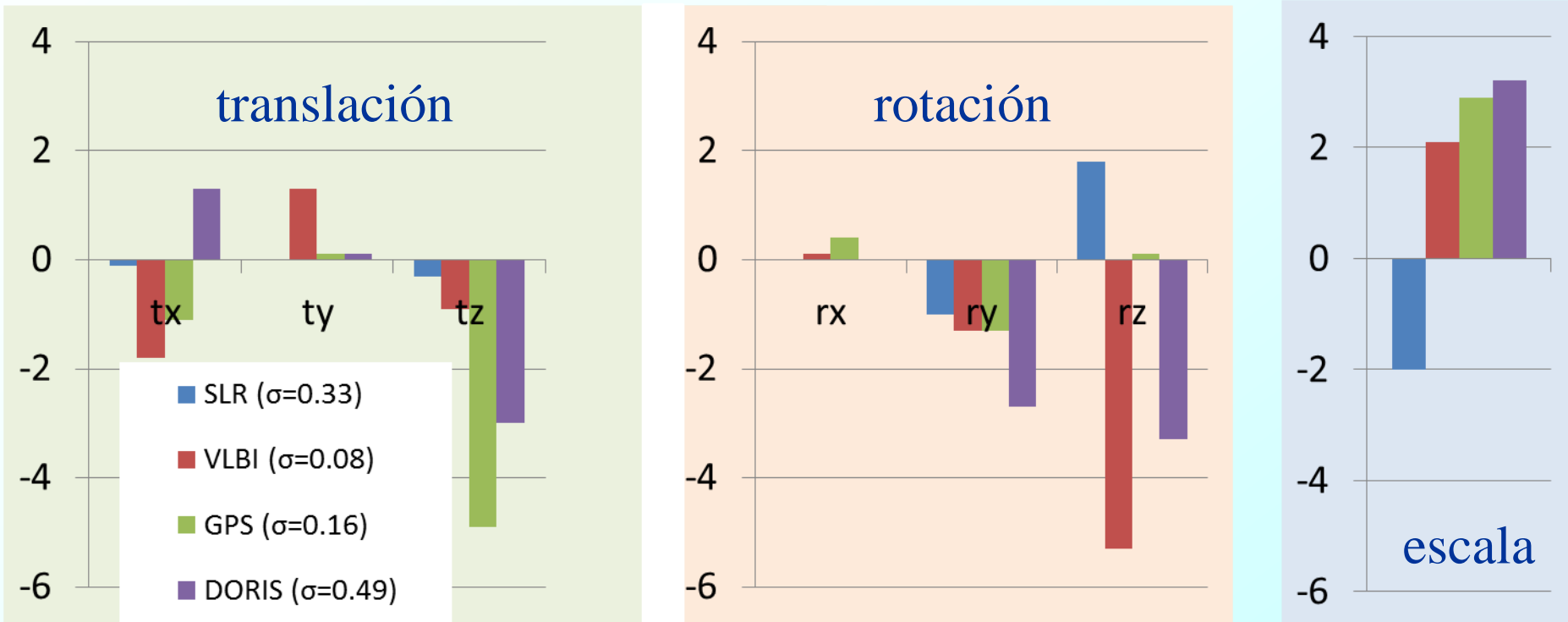
Velocidades del ITRF2008



Diferentes velocidades en el mismo sitio para diferentes períodos!

Precisión del ITRF2008

Comparación de ITRF2008 IGN y DGFI en época 2000.0 [mm]



Diferencias del datum llegan a **5.2 mm** (GPS: tz; VLBI: rz).
Diferencias entre las técnicas parcialmente mayor (rz y escala)!
Consistencia de soluciones no es mejor que 5-7 mm (tz, rz, escala)

Comparación ITRF2005 - ITRF2008

SLR(ITRF05-S)	dtx	dyt	dtz	drx	dry	drz	dsc	RMS
pos [mm]	0.4	-1.4	1.8	-1.1	2.0	2.5	1.9	2.6
vel [mm/a]	0.2	-0.2	0.4	-0.1	0.4	0.6	0.3	0.8

VLBI	dtx	dyt	dtz	drx	dry	drz	dsc	RMS
pos [mm]	-0.6	4.3	-0.4	0.5	1.6	-3.4	-2.9	1.8
vel [mm/a]	-0.8	0.0	-0.1	-0.1	0.5	0.1	0.4	0.3

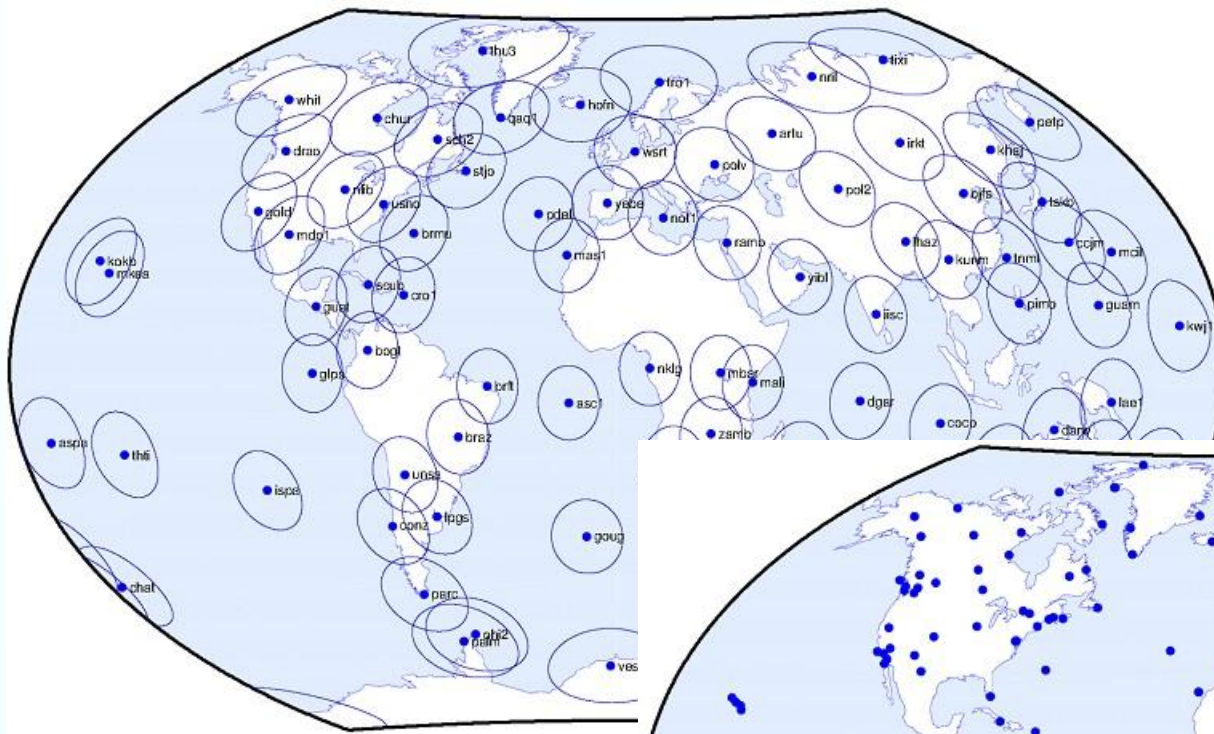
GPS (IGS05)	dtx	dyt	dtz	drx	dry	drz	dsc	RMS
pos [mm]	1.8	0.7	6.0	0.0	1.3	-0.3	-7.4	3.0
vel [mm/a]	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.3	0.4

DORIS	dtx	dyt	dtz	drx	dry	drz	dsc	RMS
pos [mm]	0.8	1.3	2.1	2.5	-1.1	4.5	-7.3	5.9
vel [mm/a]	-0.4	0.5	0.0	0.5	-0.4	-0.2	-1.2	1.0

Aplicación del ITRF en la práctica

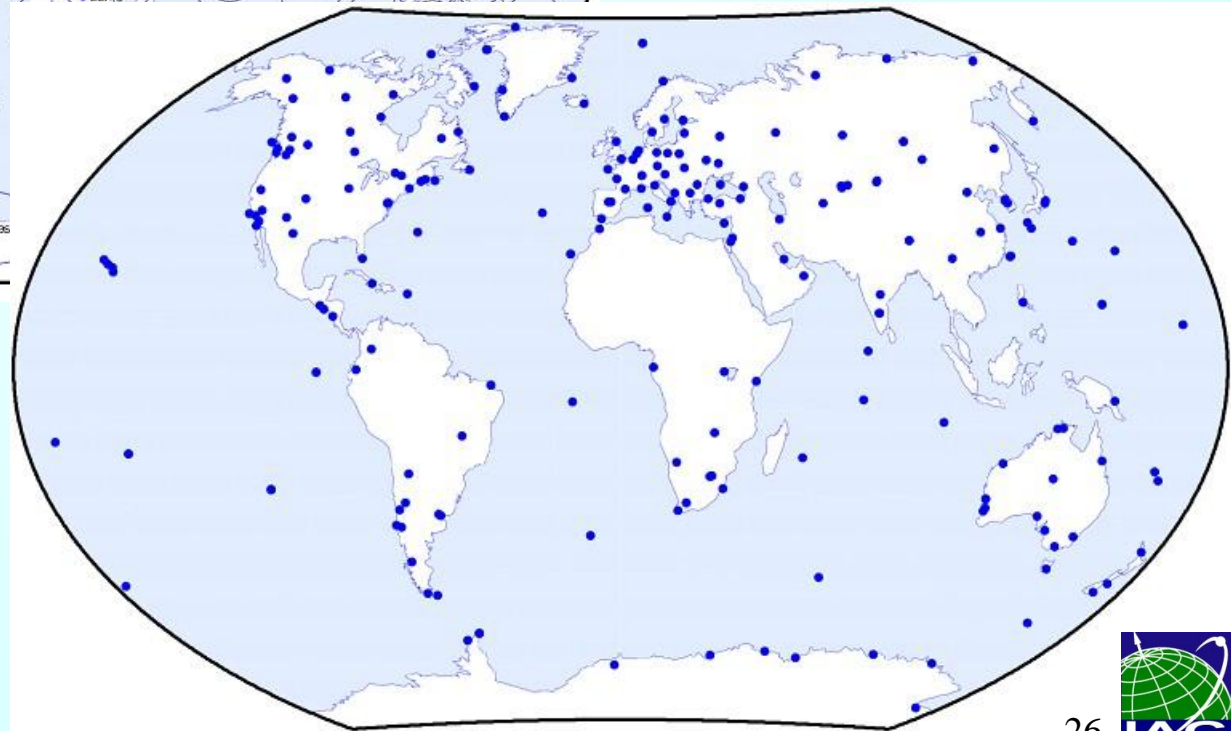
- El ITRF resulta de una combinación de las diferentes técnicas espaciales (SLR, VLBI, GPS, DORIS).
- Las ~400 estaciones del ITRF no tienen distribución homogénea, globalmente.
- Para garantizar el acceso al ITRF, se densifica la red de estaciones por GPS, que es la técnica más económica.
- El IAG servicio IGS instaló una jerarquía de redes a ese fin:
 - Red de núcleo (core net) para realizar el marco de referencia;
 - Red completa, que sirve para el cálculo de las órbitas satelitales;
 - Redes regionales, que sirven para densificación (p. ej. SIRGAS).
- Las redes regionales se deben densificar por redes nacionales para facilitar el acceso al ITRF.
- Las redes IGS no son completamente idénticas con el ITRF!

Aplicación del ITRF como IGS08



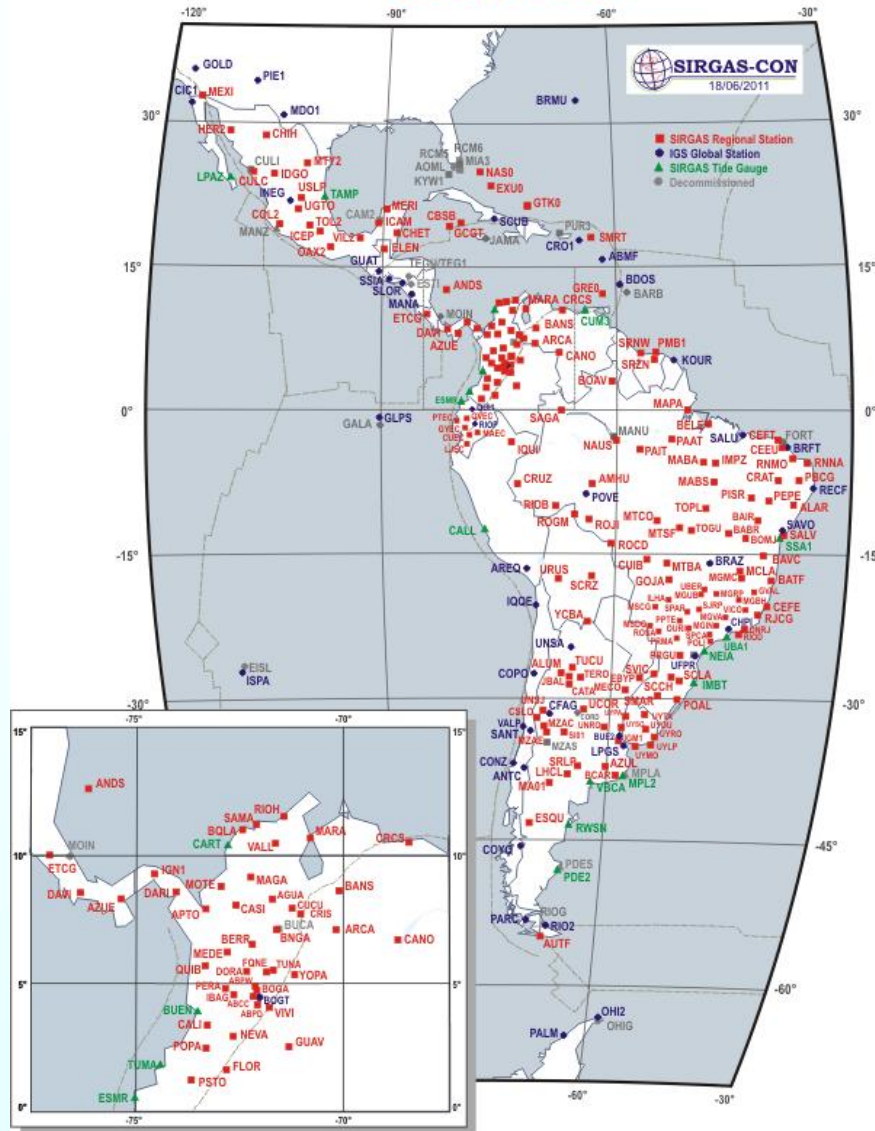
IGS08 Core Network:
91 estaciones primarias
realizan el marco de
referencia del IGS

IGS08 Full Network:
232 estaciones que
sirven para el cálculo
de las órbitas satelitales
precisas del IGS



Densificación del ITRF / IGS08 por SIRGAS

SIRGAS-CON



SIR11P01 (Sánchez 2011)



Uso del ITRF2008 o IGS08, respectivamente

- Se dan coordenadas de puntos de medición en estaciones globales y sus variaciones lineales en el tiempo (velocidades) en formato SINEX.
- Los puntos tienen identificación detallada: CO PT DO TE DE SO

CO = código del sitio (4 caracteres), p.ej. AREQ

PT = código del punto en el observatorio, p.ej. A

DO = identificación del punto: iinnrjjj (p.ej. 42202M003)

iii = número del país, p.ej. Costa Rica = 406, nn = número del punto,

r = referencia (monumento, intersección), jjj = no. de ocupación

TE = técnica de observación: D = DORIS, L = SLR, P = GPS, R = VLBI

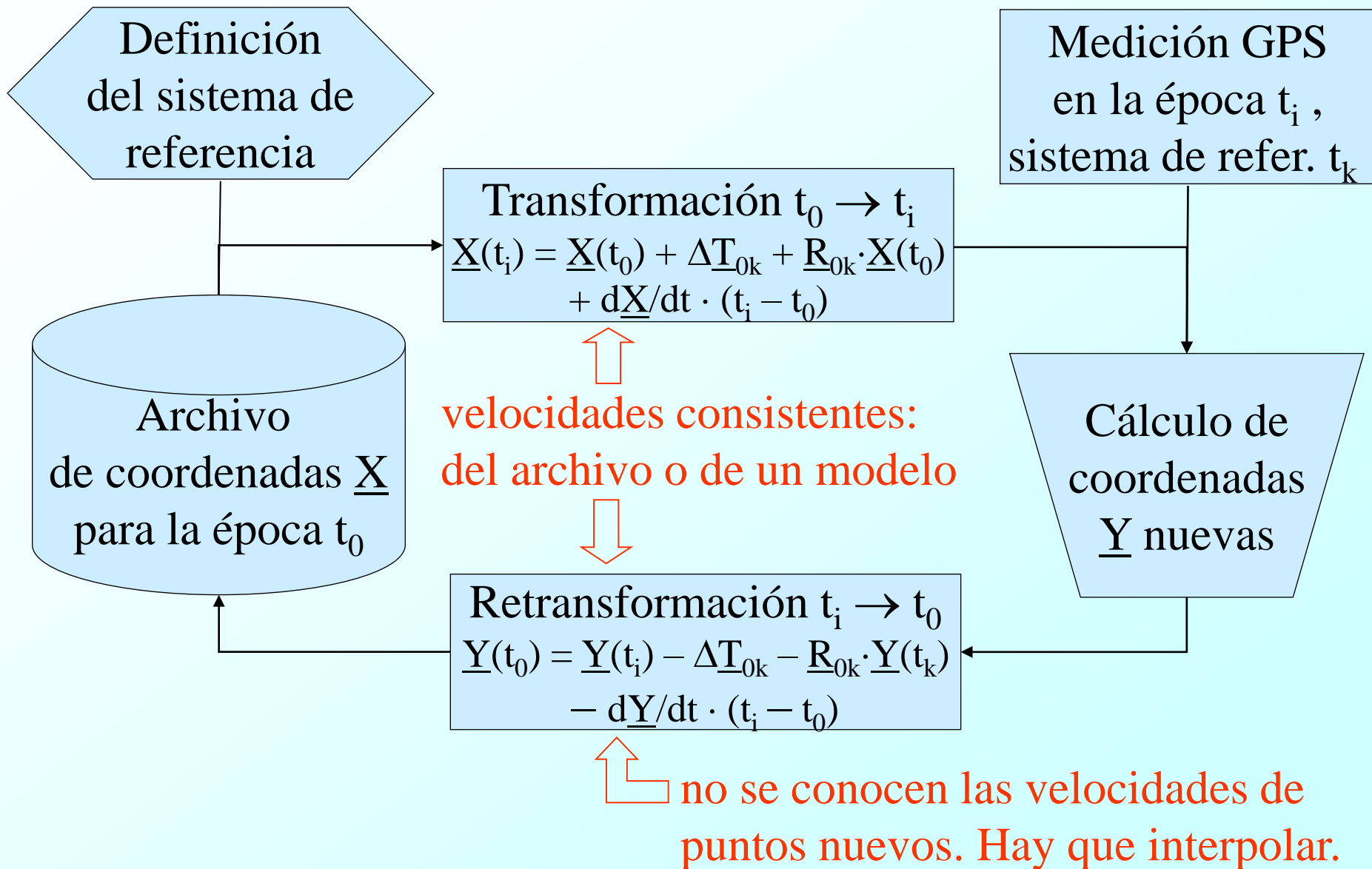
DE = descripción de la estación (21 caracteres), p.ej. Arequipa TLRS-3

SO = número de solución de coordenadas para el punto, p.ej. 0001,

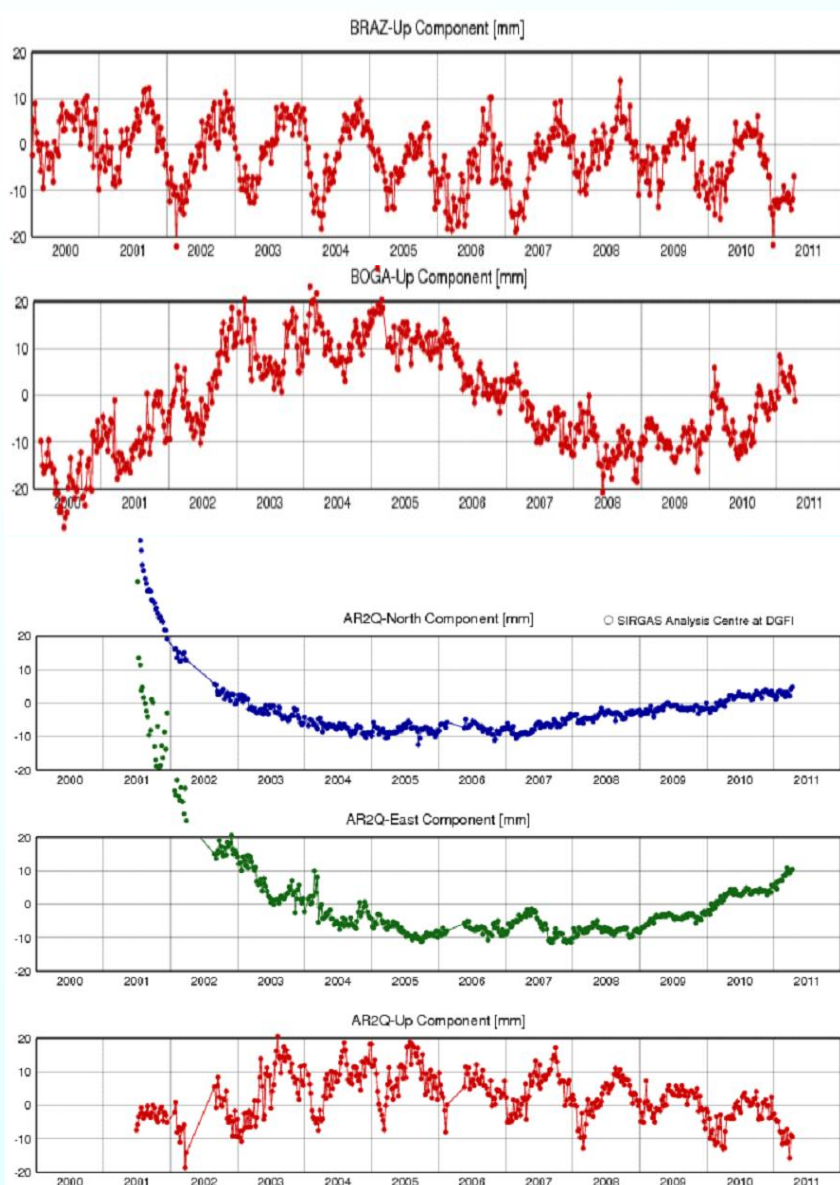
en una sección del SINEX se define el período de ocupación.

- Hay que verificar cuidadosamente que se tomen las coordenadas y velocidades válidas para el período requerido.
- Las coordenadas de la época de medición se calculan de la época de referencia y las velocidades.

Uso del ITRF2008 o IGS08, respectivamente



Problemas con la variación temporal



Las variaciones no son lineales en muchas estaciones:

- variaciones temporales (anual) (Brasilia: lluvia - sequía)
- variaciones a largo plazo (Bogotá: agua subterránea?)
- variaciones posísmicas (Arequipa 2001: irregular 2010)

La realización de los marcos de referencia por coordenadas de época y velocidades constantes no es adecuado. Hay que buscar un método alternativo.