

El desarrollo de SIRGAS en 25 años y retos de la ciencia y de la humanidad en el futuro

The development of SIRGAS over 25 years and prospective challenges of science and humanity

Hermann Drewes

Technische Universität München (TUM)

Motivación: Solo quien conoce la historia, tiene un futuro.

(Wilhelm von Humboldt, 1767-1835)

Actividades internacionales precedentes a SIRGAS

A partir del año 1988 se efectuaron varias campañas GPS para estudiar la geodinámica en América del Sur, p.ej. *“Central And South America” (CASA)*, *“South America – Nazca Plate Motion Project” (SNAPP)*, *“Central Andes Project” (CAP)*, *„South America Geodynamic Activities” (SAGA)* y hubo cooperaciones en GPS entre varios países europeos y suramericanos.

En 1989 se firmó un convenio de cooperación entre IAG e IPGH, en Europa se instaló el Marco de Referencia EUREF.

En 1990, el Grupo de Trabajo *„Integración de redes geodésicas”* del IPGH recomendó la redefinición del datum suramericano.

En 1991 se efectuó en la Asamblea General de la IAG un Simposio *„Recent Geodetic and Gravimetric Research in Latin America”* publicando las discrepancias de los sistemas de referencia actual en América Latina, p.ej. Bogotá, Campo Inchauspe, Chúa, PSAD56, SAD69 (*IAG Symposia, Vol. 111*).

La planificación de la unificación del datum suramericano

Del 24 de noviembre al 3 de diciembre de 1992 se efectuó en Maracaibo, Venezuela, la „*Conferencia Internacional de Cartografía y Geodesia*“ con una discusión en foro sobre la „*Integración de las redes geodésicas en América del Sur*“.

A principios de 1993, el DGFI Alemania (*H. Drewes*), como uno de los organizadores de CASA e intermediario de SAGA (en Argentina y Chile), propuso unificar las campañas geodinámicas por GPS ejecutadas en América del Sur (carta al Presidente de IAG, *Prof. W. Torge*, y al Presidente de la Comisión X de IAG „*Continental Networks*“, *Dr. K. Poder*).

Con una carta del 15 de junio de 1993, *H. Drewes* invitó a todos los países a participar en este proyecto de unificación de las redes geodinámicas. Todos los países respondieron, proponiendo el comienzo en 1994 o 1995.

W. Torge, Presidente de IAG, convocó una conferencia „*Unified South American Datum*“ durante la Asamblea Científica de la IAG en Beijing, China, el 10 de agosto de 1993.

La conferencia “Unificación del datum suramericano” 1993

En la reunión en Beijing se propusieron dos métodos diferentes para la unificación del datum: *M. Kumar* (DMA): conectar las redes existentes por GPS; *H. Drewes* (DGFI): establecer un marco continental nuevo por GPS. El acuerdo fue: Convocar una conferencia IAG/IPGH/DMA al respecto.

Resultados de la conferencia en **Asunción, Paraguay, 4-7 de octubre de 1993:**

- Definir un **S**istema de **R**referencia **G**eocéntrico para **A**mérica del **S**ur,
- Establecer y mantener un marco del SIRGAS,
- Definir y establecer un datum geocéntrico,
- Formar dos Grupos de Trabajo:
 - GT I “Sistema de referencia”: Establecer un marco de referencia por GPS integrando los proyectos geodinámicos existentes más estaciones nuevas y ajustarlo en el datum del ITRF. Presidente: *Melvin Hoyer*, Venezuela.
 - GT II “Datum geocéntrico”: Conectar estaciones de las redes nacionales de triangulación por GPS y efectuar un ajuste común (como NAD83). Presidente: *Walter Subiza*, Uruguay.

Conferencia “Unificación del datum suramericano” 1993



Discusión de la realización de SIRGAS

Reunión de GT I y GT II, La Plata, Argentina, 24-28 de octubre de 1994

Sesión de apertura



Discusión del procesamiento



¿Como establecer la red continental?

- Procesar todas las mediciones GPS en directo como una red integral usando software científico.
- Conexión de redes nacionales existentes por GPS y ajustarlo por vectores 3D usando GeoLab.

Decisión:

- GTI medirá una red continental y la procesará con software(s) científico(s).
- GTII procesará las conexiones de las redes existentes en un ajuste común (aprox. 800 estaciones).

Planificación del marco continental SIRGAS

Selección de las estaciones continentales y plan de observación (GT I)

- Propuesta según la capacidad de los programas de análisis GPS: 50 estaciones distribuidas sobre los países según su superficie. (Las Guyanas: 1 ... Brasil: 10)
- Ocupar las estaciones IGS existentes (el IGS se instaló oficialmente en 1994, pero hubo un proyecto de prueba desde 1992)
- Los países propusieron un total de 58 estaciones, que fueron aceptadas con algunos cambios en la posición geográfica por proximidad de estaciones.
- El plan de la observación tenía que organizar precisamente la ocupación de las estaciones, porque no hubo suficientes receptores para ocupar todas las estaciones simultáneamente y hubo 4 tipos con antenas diferentes sin calibración. Hubo que ocupar varias estaciones con receptores diferentes.

Selección de las estaciones de conexión (GT II)

- El Grupo de Trabajo II nunca ejecutó mediciones de conexión sino asumió la red continental como suficiente para conectar las redes nacionales.

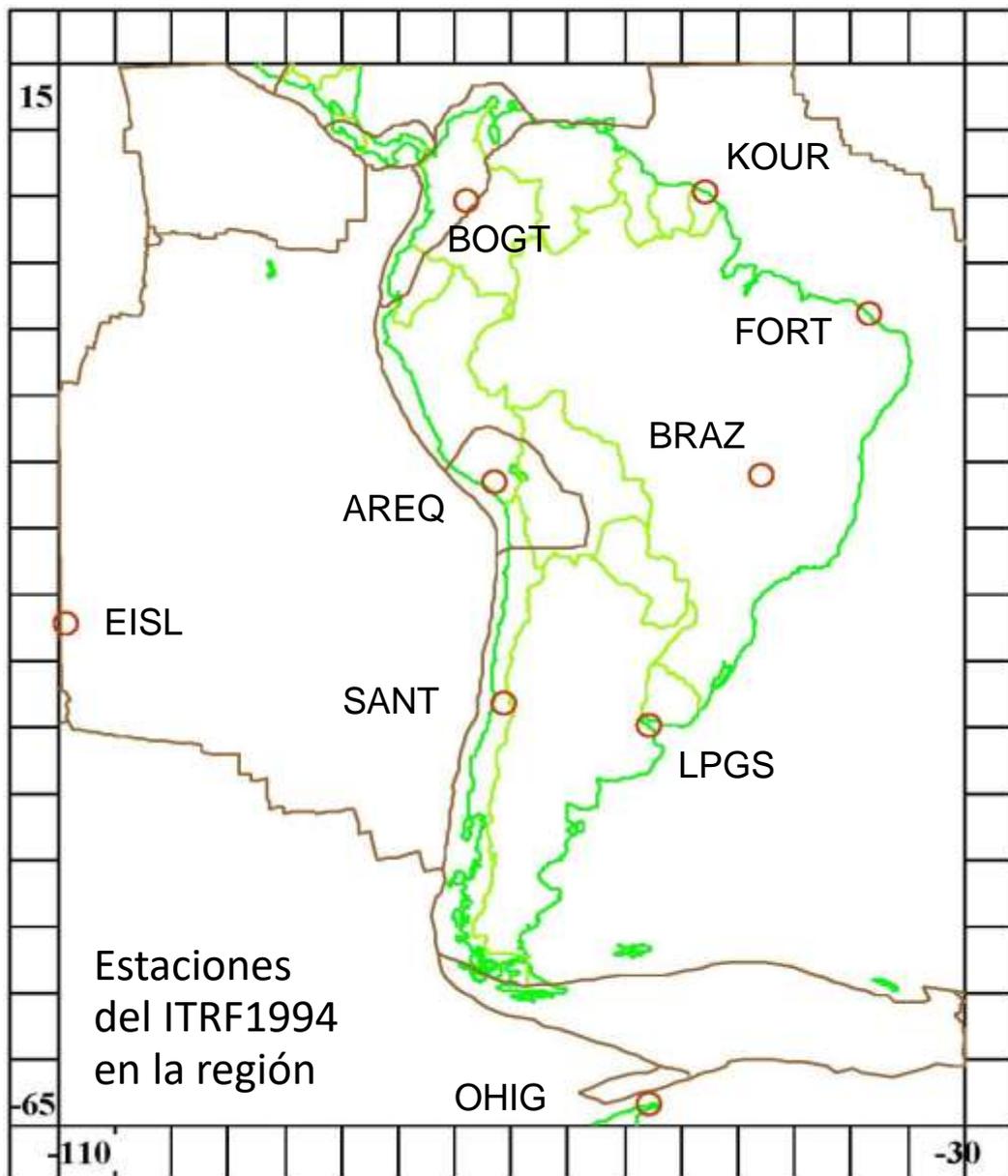
La primera realización del marco de referencia SIRGAS 1995



- Se ejecutó una campaña de prueba en 1994 en el marco de un proyecto del IGS, quien empezó su actividad en 1994.
- La campaña SIRGAS 1995 se ejecutó por 10 días de mayo 26, 0:00 UT hasta junio 4, 24:00 UT.
- Se midieron 58 estaciones (algunos con excentros) con cuatro tipos de receptores: Ashtech, Leica, Rogue, Trimble.
- Participaron 25 instituciones suramericanas y alemanas.

← Marco SIRGAS 1995 con los 4 tipos de receptores empleados

El procesamiento de las observaciones SIRGAS 1995



- Dos centros de cálculo analizaron los datos y ajustaron la red:
 - DGFI, Munich, Alemania, usando el Bernese 3.4,
 - DMA, Washington, EEUU, usando GIPSY-OASIS II.
- Las órbitas se tomaron del IGS.
- DGFI calculó 4 redes individuales según los tipos de receptores con 9 estaciones fijadas en el ITRF 1994.
- NIMA calculó según el modelo de “coordenadas absolutas” y las transformó al ITRF93.

Análisis de los resultados y solución final

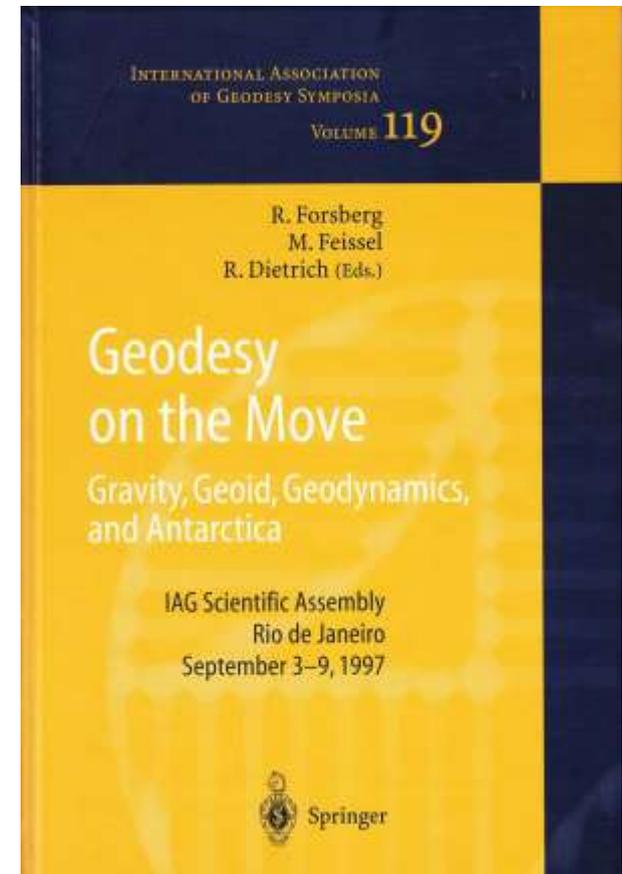
Reunión del GT I, Isla Margarita, 8-11 de abril de 1997

Presentación de los resultados de DGFI y NIMA

- **Problema:** Centros de fase (Ashtech, Leica, Rogue, Trimble)
DGFI: Bernese permitió corregirlo, NIMA: GIPSY no lo permitió
- **Resolución:** Separar la red de NIMA según el tipo de receptor y transformar (Helmert) las cuatro redes a la solución del DGFI.
- La referencia geocéntrica se realizó fijando las coordenadas de 9 estaciones en el ITRF1994.
- Las soluciones de DGFI y DMA se transformaron a la solución final según los tipos de receptores.
- La precisión se extiende de ± 3 mm hasta ± 6 mm para X, Y, Z en el sistema geocéntrico.
- Los resultados se publicaron en el “SIRGAS Relatorio Final” / SIRGAS Final Report, IBGE, Brasil.

El triunfo de SIRGAS en la Asamblea Científica de IAG 1997

- SIRGAS se incluyó primera vez en la estructura IAG en el período 1995-1999 en la Sección I “Posicionamiento” (The Geodesist’s Handbook 1996)
- La IAG efectúa cada cuatro años (en la mitad entre dos Asambleas General de IUGG) su Asamblea Científica, que se organizó en 1997 en Rio de Janeiro.
- Hubo 12 presentaciones de 27 autores sobre SIRGAS, que se publicaron en la serie de los simposios IAG, Vol. 119 (Acuña, Arciniegas, Barbato, Beattie, Brunini, Costa, Drewes, Duarte, Fagard, Fortes, Hernandez, Hoyer, Kaniuth, Kumar, Maturana, Moirano, Pereira, Rodino, Rovera, Seeber, Seemueller, Slater, Stuber, Subiza, Torchetti, Tremel, Vargas, Vergara).
- SIRGAS fue un tema central de la asamblea.



La extensión del sistema de referencia a las alturas físicas 1998



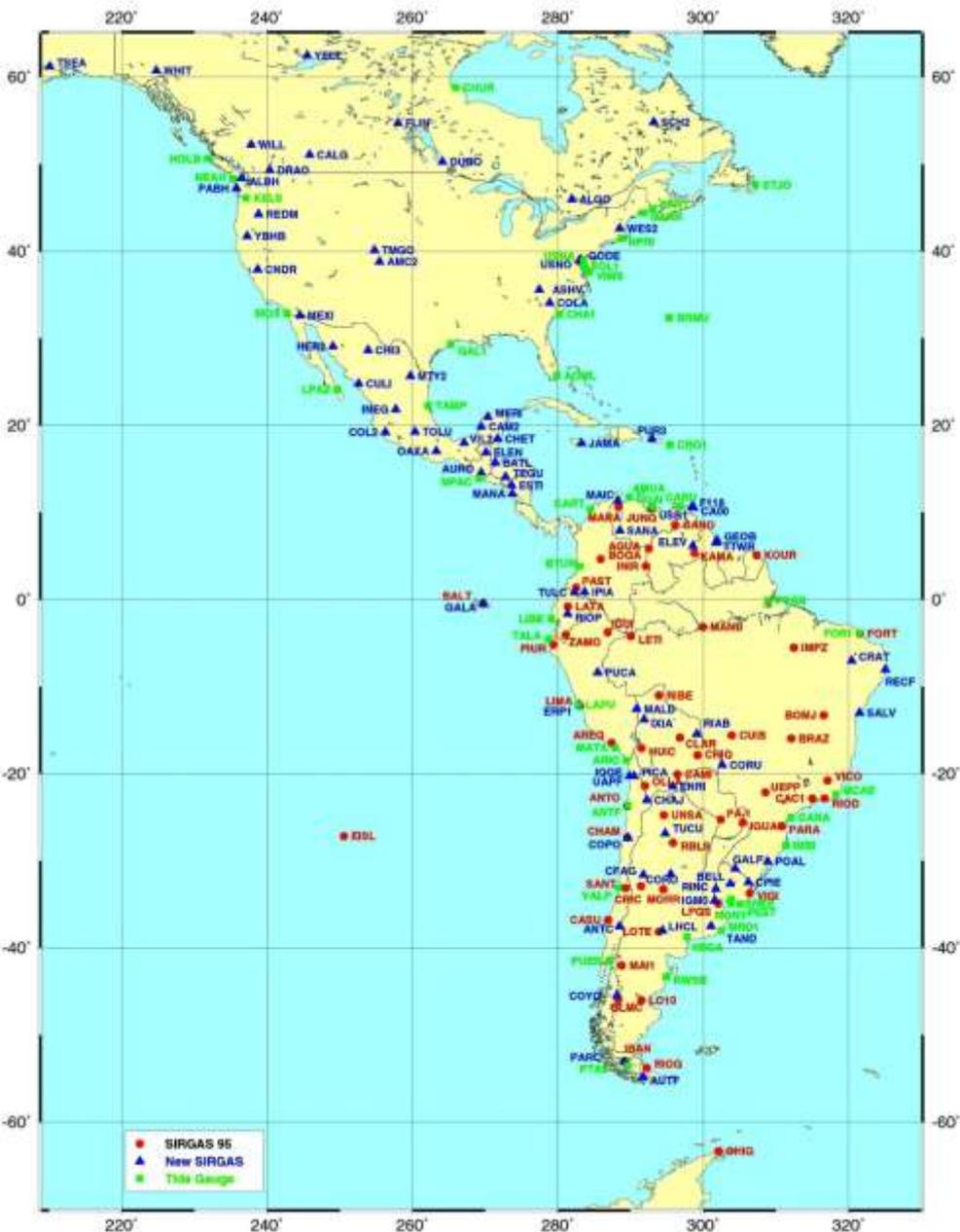
- En agosto de 1998 se realizó la primera reunión del Grupo de Trabajo III “Datum vertical”.
- Hubo discusiones generales sobre sistemas de alturas (ortométricas, normales, dinámicas, elipsoidales), la inclusión de las nivelaciones existentes, el sistema vertical y su datum (punto de referencia, nivel del mar, mareógrafos, ...)

Recomendación inicial: introducir alturas normales

Recomendación de 2000: ajustar las redes en números geopotenciales, con la opción de derivar alturas normales, ortométricas o cualquier otro tipo por decisión de cada país.

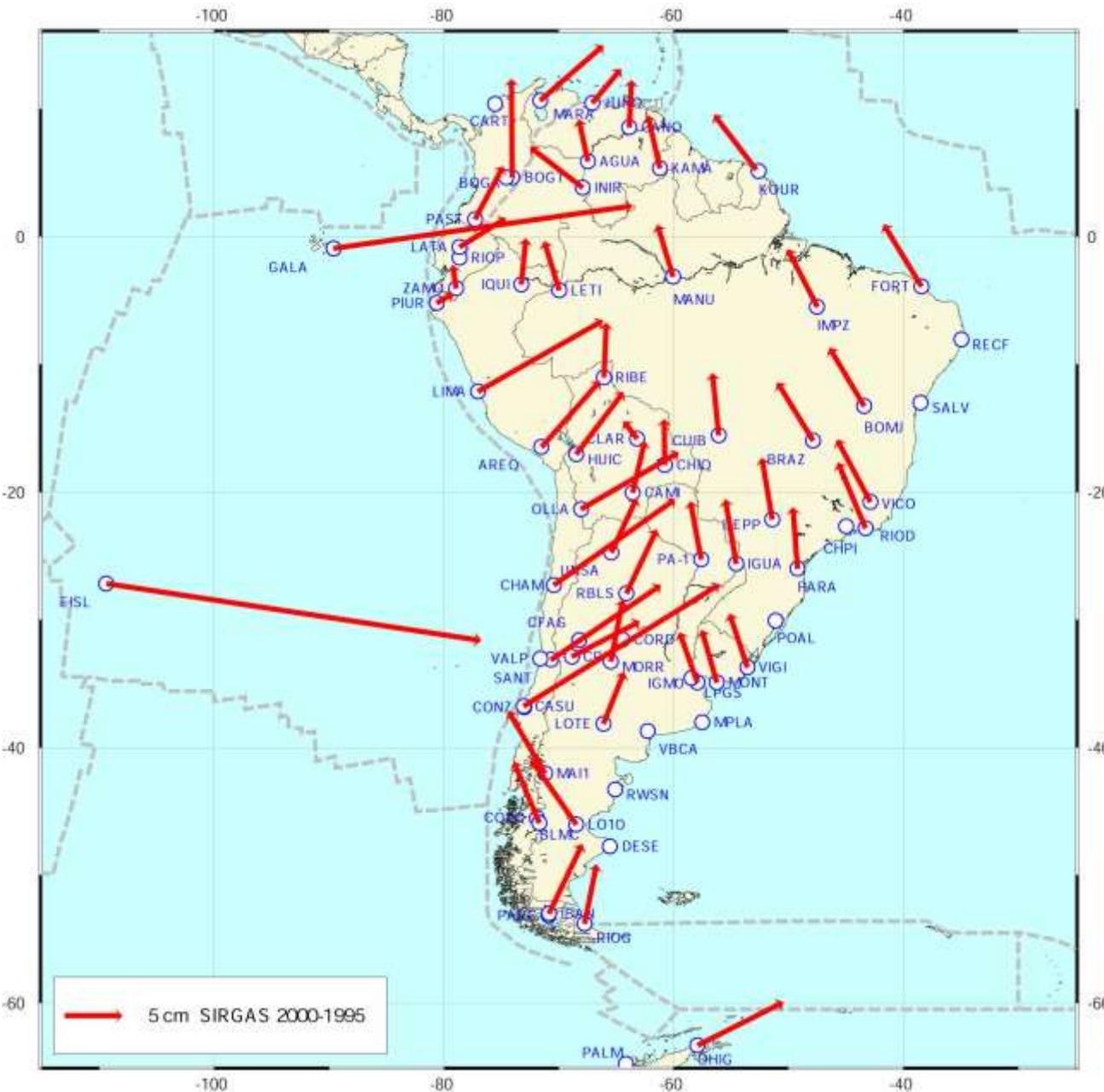
Se solicitó a los países el reajuste de las redes de nivelación con gravedad.

Repetición SIRGAS 2000 y expansión a las Américas



- La campaña 1995 se repitió en 2000 en la misma época del año (10 de mayo hasta 19 de mayo).
- El marco fue extendido hacia El Caribe, América Central y América del Norte.
- El procesamiento de los datos y ajuste de la red se hizo en tres centros: DGFI, BEK (Alemania), IBGE (Brasil).
- La precisión de las coordenadas de 184 estaciones resultó en un promedio de ± 1.3 mm para X y Z y ± 2.5 mm en Y (~ la altura).
- El nombre se cambió a **Sistema de Referencia Geocéntrico para las AméricaS** (resolución ONU de 2001).

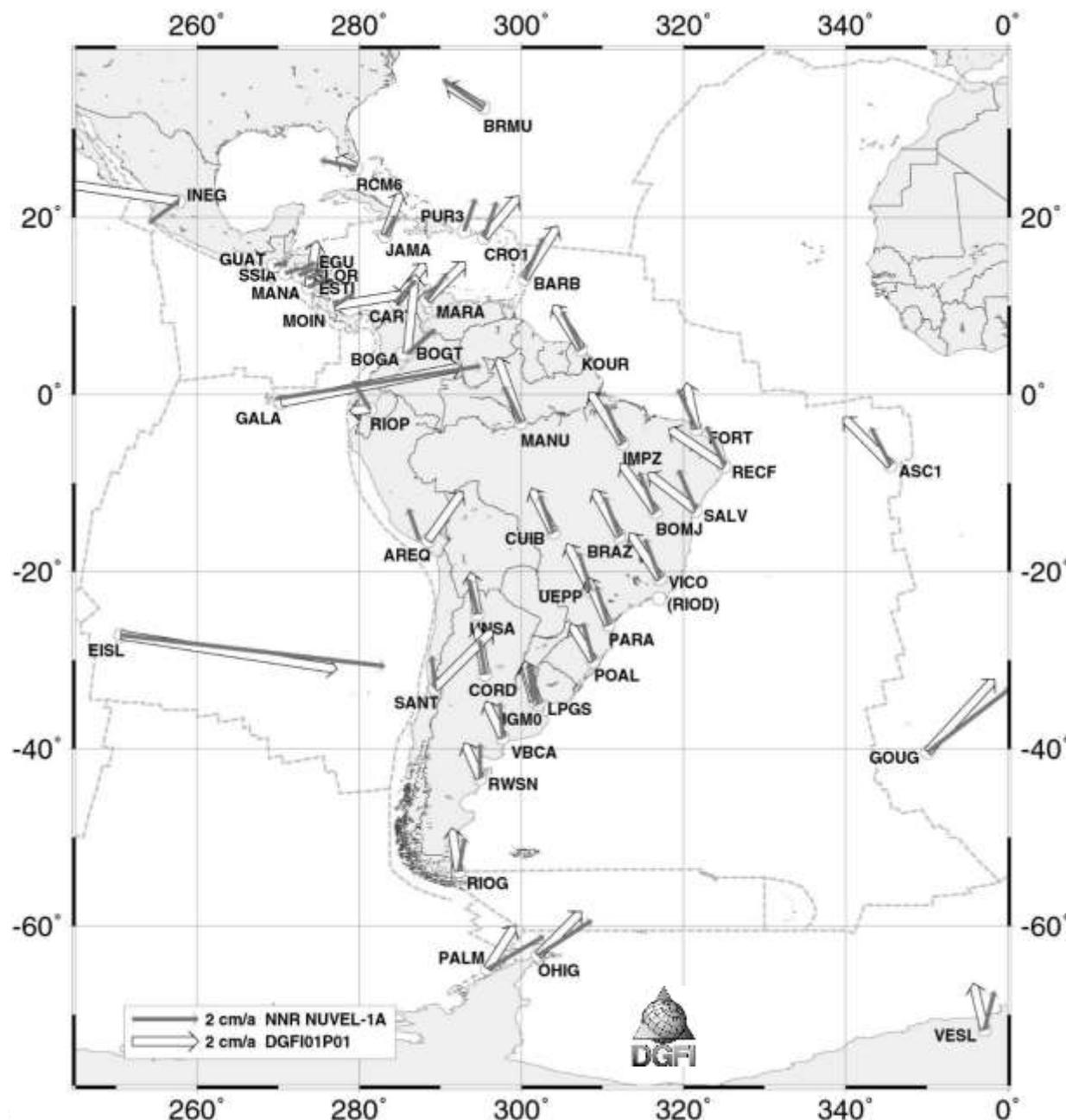
Comparación SIRGAS 2000 – SIRGAS 1995



La diferencia de coordenadas SIRGAS 2000 – SIRGAS 1995 muestra primera vez la zona de deformación andina y de la Patagonia con respecto a la placa América del Sur.

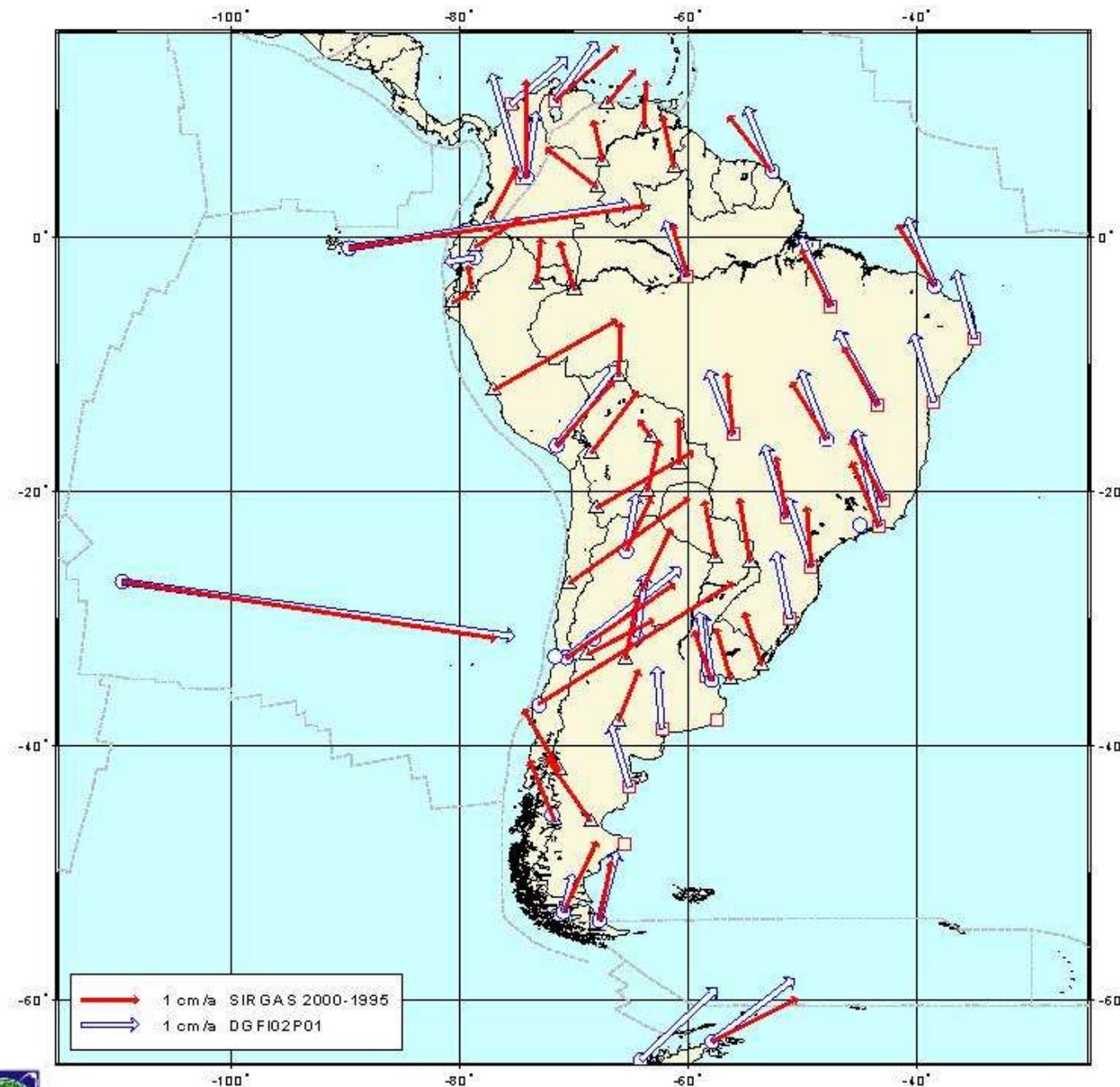
La exactitud de las diferencias es sorprendentemente buena ($\sim \pm 5$ mm, i.e. ~ 1 mm/a) y fue confirmada después con los primeros cálculos de soluciones multianuales con velocidades.

Primeras soluciones SIRGAS multianuales (DGFI00P01, DGFI01P01)



- La primera solución SIRGAS multianual se calculó en DGFI, Munich, como IGS RNAAC SIR en el año 2000 para incluirlo en el ITRF2000 (3 estaciones fiduciales CRO1, FORT, SANT).
- La primera solución publicada es DGFI01P01 con posiciones y velocidades de 47 estaciones en el ITRF2000 (Seemueller W. et al. 2002).
- Muestra las diferencias con respecto al modelo geofísico
- Siguió con soluciones anuales cada año hasta hoy.

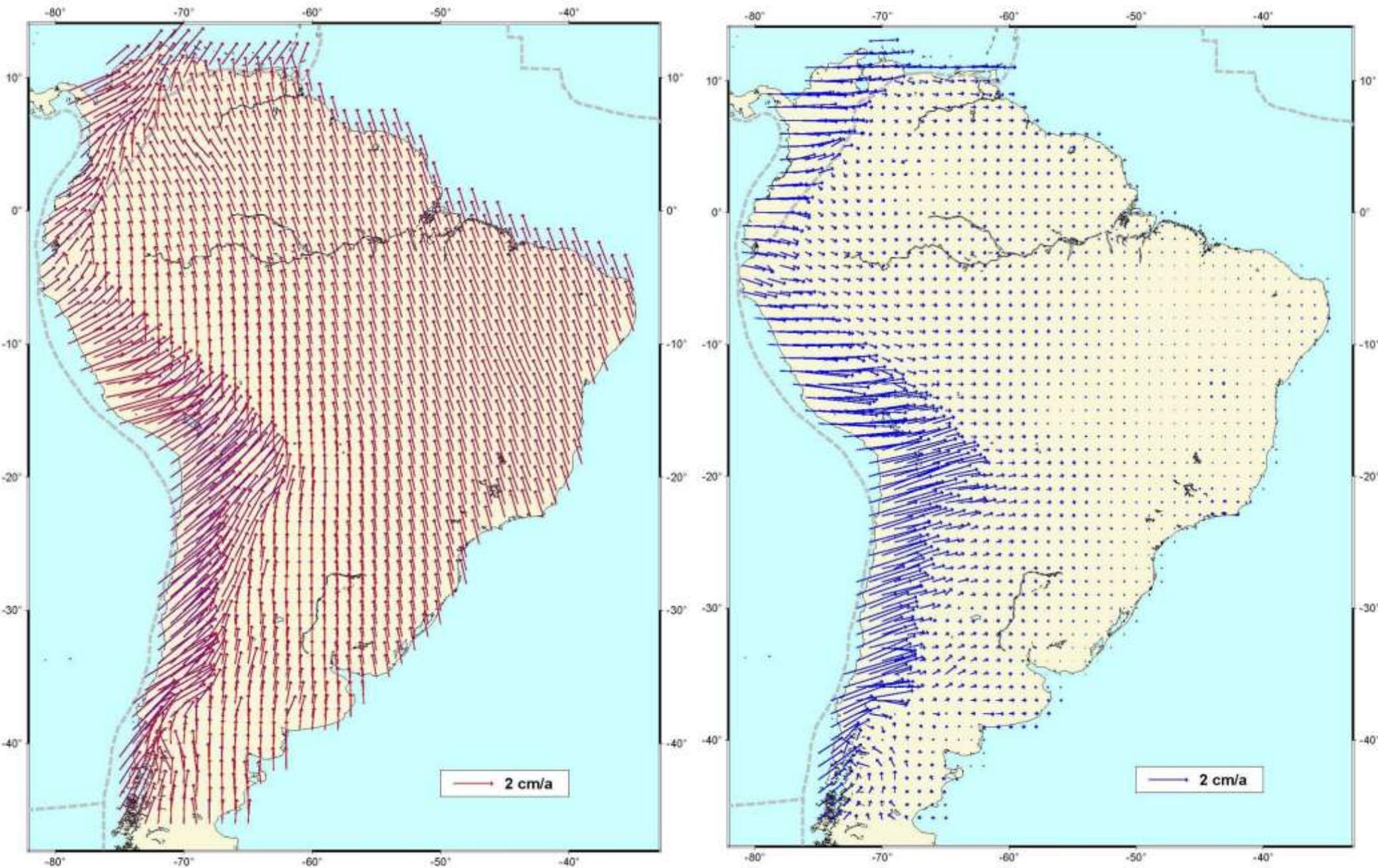
Comparación SIRGAS2000-1995 y DGFI02P01)



Hay un acuerdo en el orden de ± 2.6 mm/a en X y Z, ± 3.0 mm/a en Y (\sim altura h).

El modelo DGFI02P01 forma la base para el primer modelo de velocidades „América del Sur“ (VEMOS2003) junto con proyectos geodinámicos (CASA, SNAPP, CAP, SAGA).

Primer modelo de velocidades para America del Sur



VEMOS2003, Drewes, H., O. Heidbach (2005)

H. Drewes: El desarrollo de SIRGAS en 25 años – SIRGAS Symposium, Aguascalientes, México, 2018-10-12

La expansión política a las Américas en 2001

SEVENTH UNITED NATIONS REGIONAL CARTOGRAPHIC
CONFERENCE FOR THE AMERICAS
New York, 22-26 January 2001

Resolution on Fundamental Data, Their Collection and Management

Resolution on SIRGAS

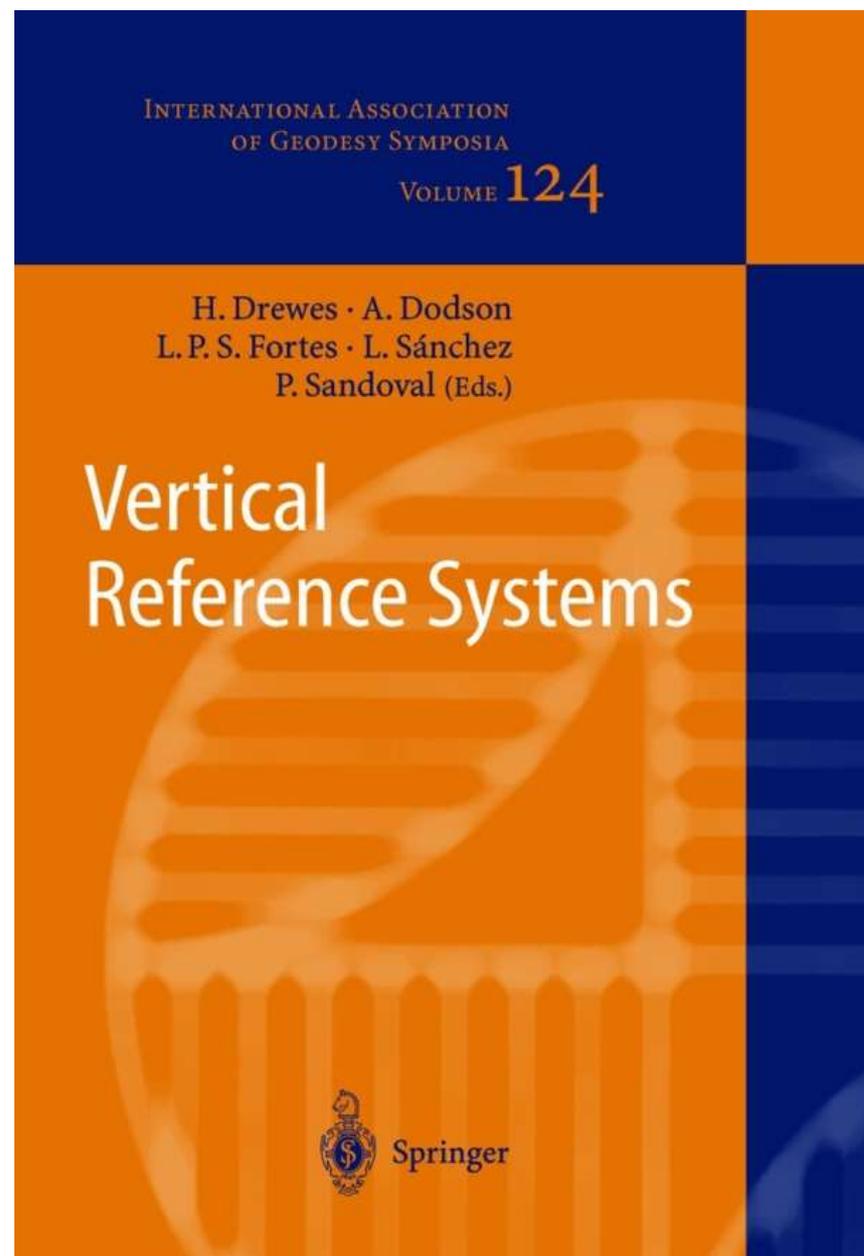
The conference

- **Recognizing** the importance of high quality tri-dimensional position data referred to a unique global geodetic reference system for spatial data infrastructure;
- **Noting** that there are large differences between existing national geodetic datums;
- **Considering** the achievements obtained by the South American Geocentric Reference System (SIRGAS) Project with respect to a unified geodetic datum;
- **Bearing in mind** that the SIRGAS reference frame is based on the International Terrestrial Reference Frame (ITRF), and noting that the World Geodetic System of 1984 (WGS84) is practically identical to ITRF;
- **Also bearing in mind** that SIRGAS is supporting the participating countries in terms of knowledge transfer and training;
- **Recommends** that member countries of the Americas integrate their national geodetic reference systems into a reference system compatible with SIRGAS;
- **Also recommends** that member countries of the Americas provide to SIRGAS gravity data for computation of the geoid as the reference surface of the vertical (height) system;
- **Further recommends** that member countries of the Americas correct their leveling by gravimetric observations in order to compute geopotential numbers and connect the leveling networks with neighboring countries, making all these information available to SIRGAS.

- La séptima Conferencia Cartográfica Regional de las Américas de la Naciones Unidas (7th UN RCCA) expidió en enero de 2001 una ***resolución de datos fundamentales, su colección y gestión*** recomendando, que los países de las Américas se integren en SIRGAS.
- Como consecuencia, SIRGAS se abrió a los países de El Caribe, América Central y América del Norte.

Simposio de Sistemas Verticales, Cartagena 2001

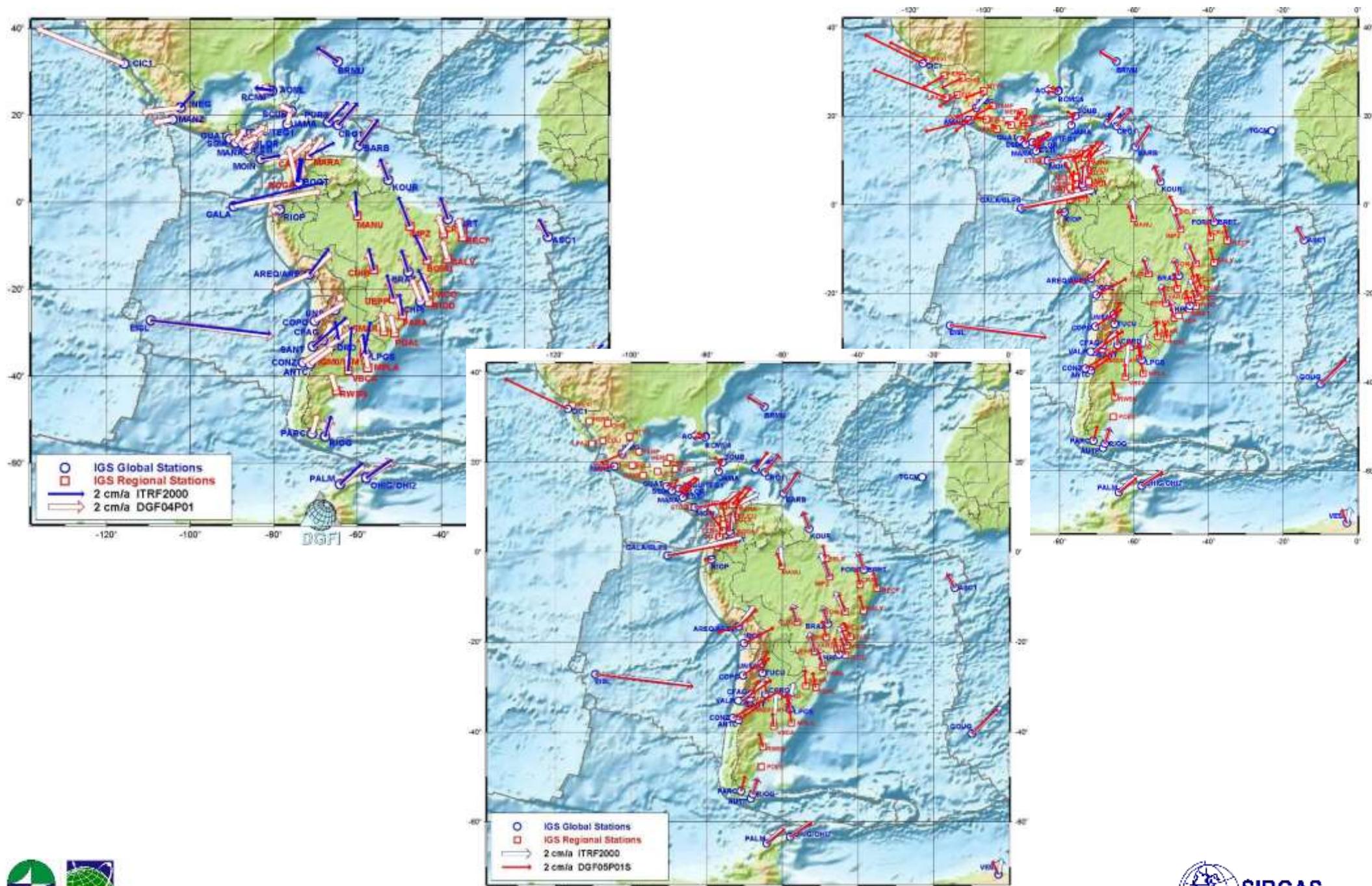
- El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) organizó el Simposio IAG “Vertical Reference Systems”, Cartagena, Colombia 21-23 de febrero de 2001.
- Se realizó junto con la Fédération Internationale de Géomètres (FIG).
- Se publicaron 65 artículos, 27 de SIRGAS.



Reunión SIRGAS, Aguascalientes, México, 2004-12-09 ... 10



Desarrollo de las soluciones multi-anales 2004 – 2006

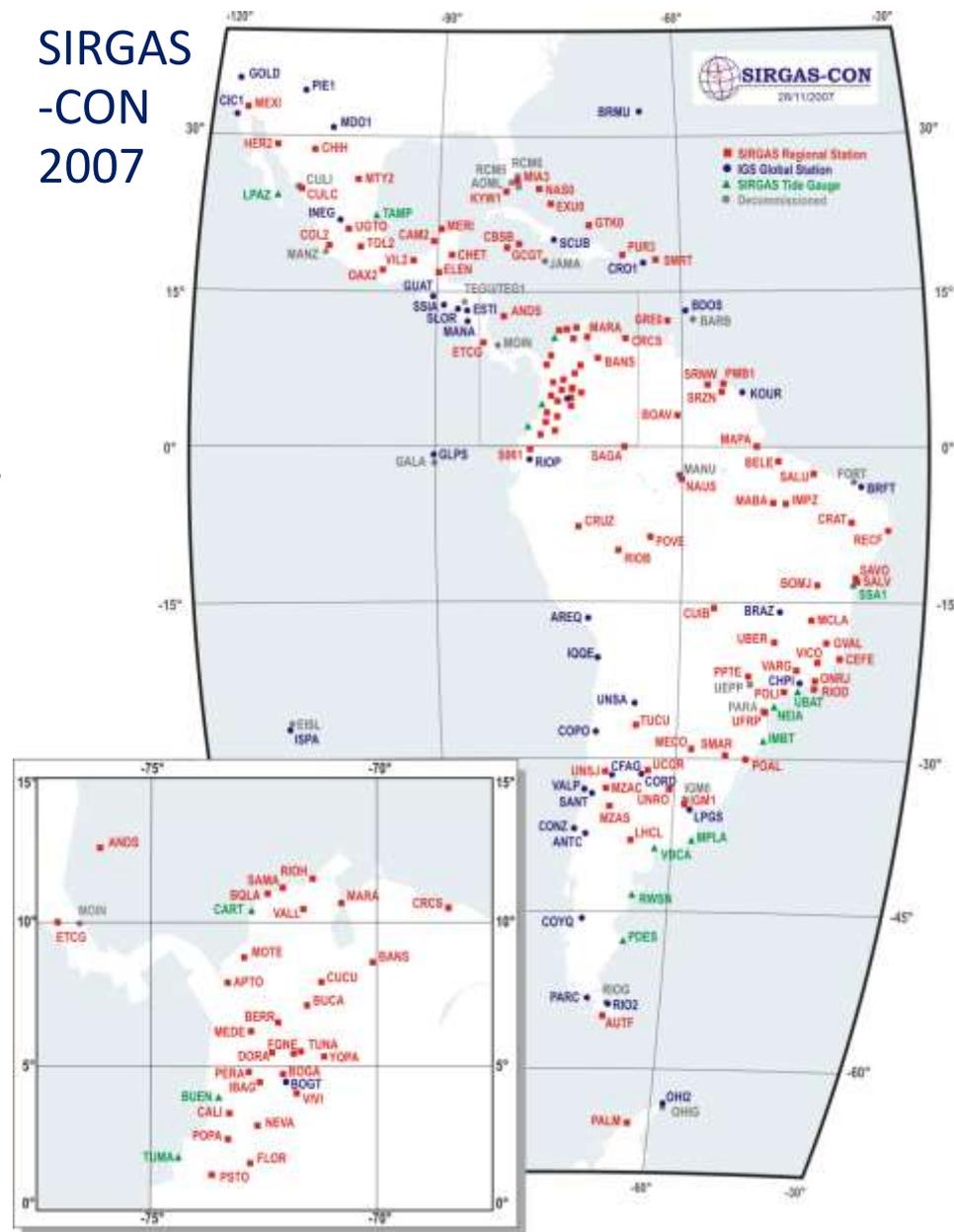


Reunión SIRGAS, Bogotá, Colombia, 2007-06-07 ... 08

- Primer cambio del Presidente y Vicepresidente (Claudio Brunini, Laura Sánchez), y presidentes de los Grupos de Trabajo (William Martínez, Tomás Marino, Sonia Costa)
- Nueva estructura: Comité, Consejo, GT, Centros de análisis y de combinación



SIRGAS
-CON
2007



Reuniones, escuelas y talleres SIRGAS

En vez de las reuniones SIRGAS (de los consejos directivos y ejecutivos) se efectuaron simposios SIRGAS.



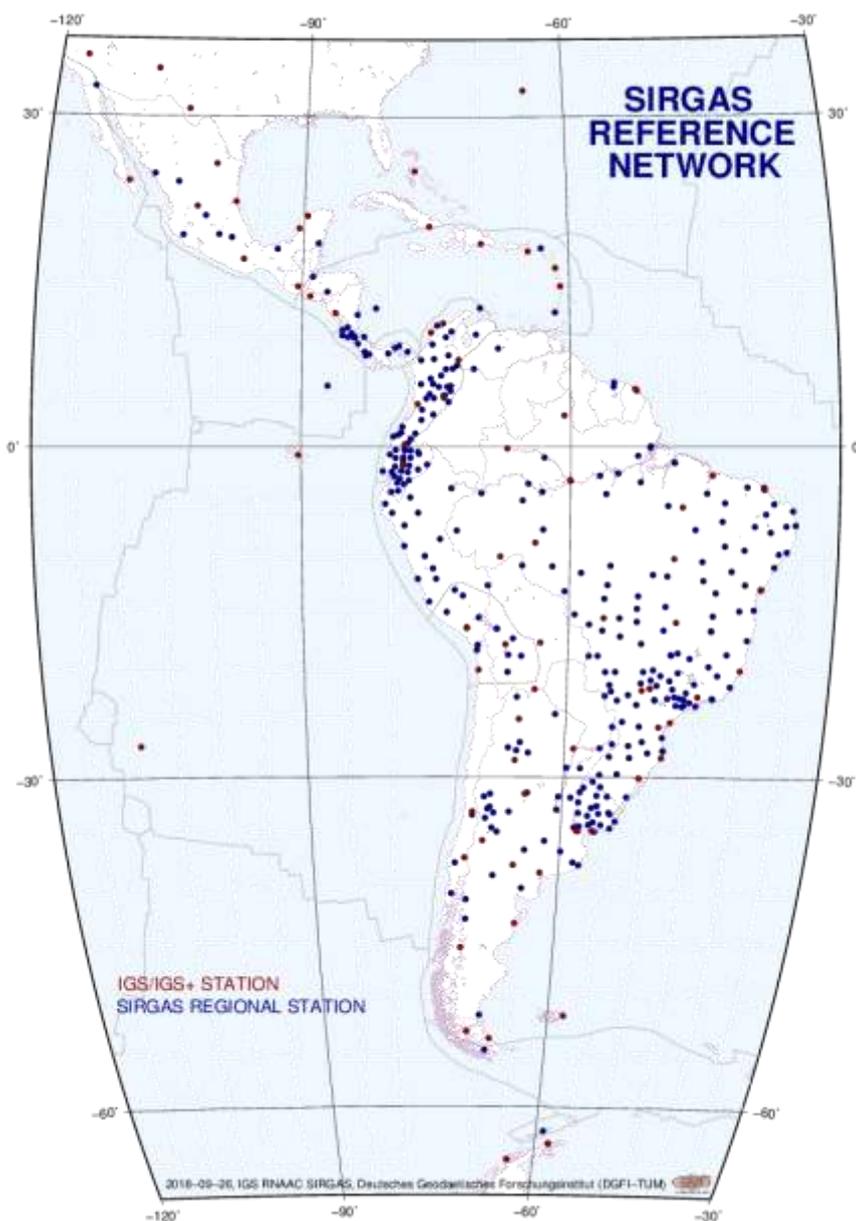
Escuelas SIRGAS desde 2009

1. Bogotá, Colombia, 2009-07-13...17 “Sistema de Referencia Geodésico”
2. Lima, Perú, 2010-11-8...11 “Sistema de Referencia Geodésico”
3. Heredia, Costa Rica, 2011-08-3...5 “Sistema de Referencia Geodésico”
4. Concepción, Chile, 2012-10-24...26 “Posicionamiento GNSS en Tiempo Real”
5. Panamá, Panamá, 2013-10-21...23 “School on Reference Systems, Crustal Deformation and Ionosphere Monitoring” (dentro de un proyecto IUGG)
6. La Paz, Bolivia, 2014-11-20...23 “Sistema de Referencia Vertical”
7. Santo Domingo, República Dominicana, 2015-11-18...19 “Sistema de Referencia” (dentro de un proyecto IUGG)

Talleres de Trabajo SIRGAS GTIII

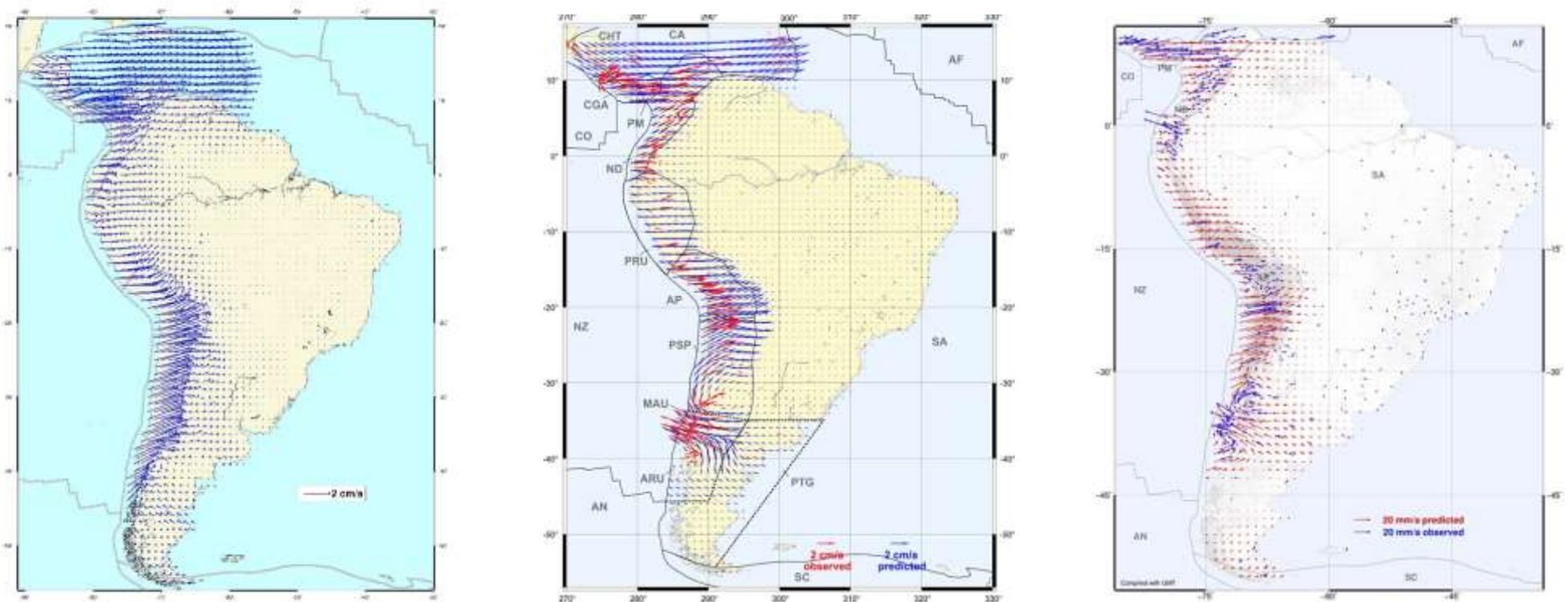
1. Santiago, Chile, 1998-08-11...13 “Taller del SIRGAS GTIII”
2. Rio de Janeiro, Brasil, 2012-12-03...09, “Taller del SIRGAS-GTIII”
3. Curitiba, Brasil, 2015-07-13...17 “Sistema Vertical de Referencia”
4. Quito, Ecuador, 2016-11-21...25 “Sistema Vertical de Referencia”
5. Heredia, Costa Rica, 2017-11-06...10 “Taller SIRGAS GTIII”

Retos del futuro



- La calidad del marco SIRGAS es suficiente para muchas aplicaciones.
- La cobertura geográfica no es suficiente para posicionamiento preciso, en particular en caso de deformaciones irregulares. Hay que cerrar los huecos geográficos.
- La precisión de las coordenadas semanales cumple con la mayoría de los requerimientos actuales.
- Para observar el cambio global del clima (atmósfera, hidrosfera, océanos) hay que garantizar la geocentricidad y la propagación en el tiempo.

Retos del futuro (2)



La interpolación o extrapolación de coordenadas de una época de referencia a otra época con velocidades constantes es un problema para estaciones que no son de referencia, por la deformación irregular en toda la región occidental del continente.

Retos del futuro (3)

- El uso de coordenadas de las soluciones semanales es preferible en aplicaciones prácticas en zonas de deformación irregular.
- Para alta precisión (estudio del cambio global) existe el problema, que las coordenadas no son estrictamente geocéntricas por variaciones temporales, que cambian el origen geocéntrico en ITRF.

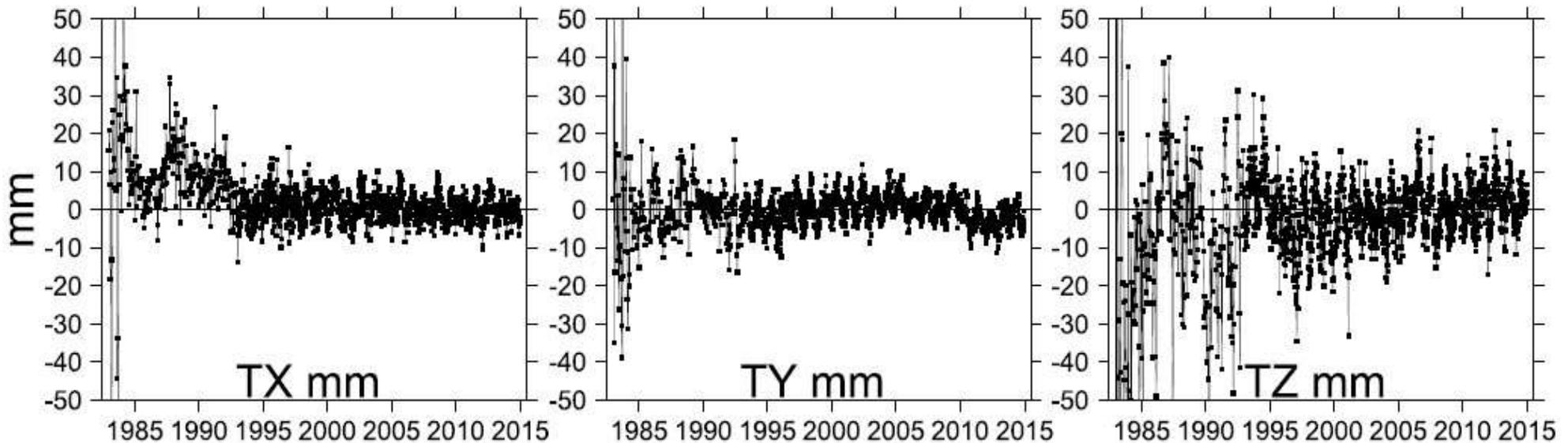


Figure 7. Time series of SLR geocenter components with respect to ITRF2014, in mm. (Altamimi 2016)

- SIRGAS debe pensar en calcular soluciones en combinación con SLR.

