

El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS: Ejemplo de cooperación basado en GNSS



William Martínez

Presidente de SIRGAS GT II Datum Geocéntrico
Instituto Geográfico Agustín Codazzi - Colombia



Claudio Brunini

Presidente de SIRGAS
Universidad Nacional de La Plata - Argentina



Laura Sánchez

Vicepresidente de SIRGAS
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Alemania

Hermann Drewes

Representante de la IAG y Consejero Científico de SIRGAS
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Alemania

María Virginia Mackern

Presidente de SIRGAS GT I Sistema de Referencia
Universidad Nacional del Cuyo - Argentina



**Sociedad Colombiana de Ingenieros
III Seminario de Geomática
Bogotá, D. C., octubre 27, 28 y 29 de 2010**



Significados de SIRGAS

Estructura

Definición

ITRS / ITRF

Realizaciones

Procesamiento

Datum Vertical

Velocidades

Series de tiempo

Densificaciones nacionales

Mapas ionosféricos para SIRGAS

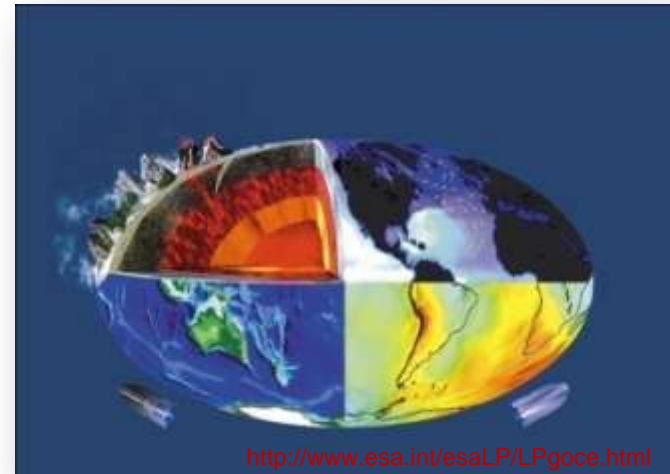
Fortalecimiento institucional (*Capacity building*)

Geodesia:

Como la ciencia de medir con precisión y entender tres propiedades fundamentales de la Tierra: su **forma** geométrica, su **orientación** en el espacio y su **campo de gravedad**; y los cambios de estas propiedades en el tiempo

(Precise Geodetic Infrastructure: National Requirements for a Shared Resource, 2010)

La ciencia que mide los cambios en el sistema Tierra.



Infraestructura Geodésica y Sistemas de Observación:

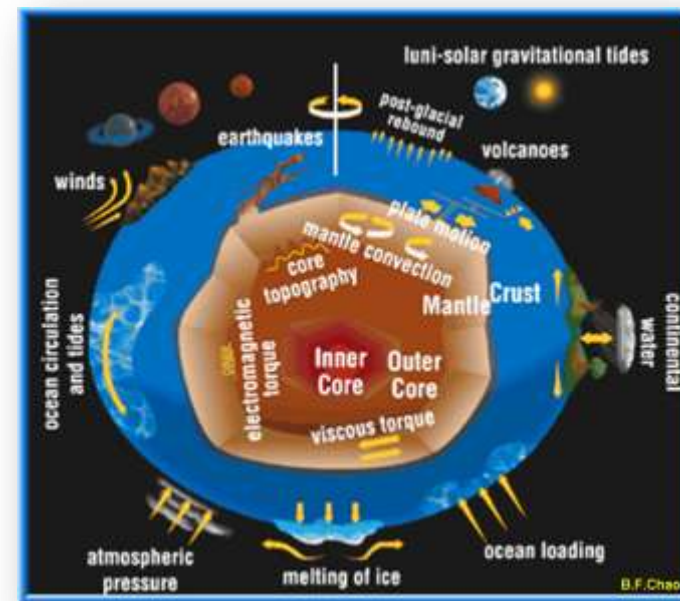
Como el conjunto de recursos humanos y técnicos dedicados a la definición, mantenimiento y modernización, en el largo plazo, de una red multipropósito continental, la cual es la densificación regional (realización) del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF). Los sistemas pueden establecerse como componentes de la infraestructura orientados al monitoreo y estudio de diferentes fenómenos que ocurren en el sistema Tierra.

- «Patrones globales de deformación tectónica;
- Patrones globales de cambio en las alturas;
- Deformación debida a la transferencia de masa entre la Tierra sólida, la atmósfera y la hidrosfera, incluyendo el hielo;
- Cuantificación del momento angular, intercambio y transferencia de masa»

(Drewes, 2005)



<http://ggos.gfz-potsdam.de/>



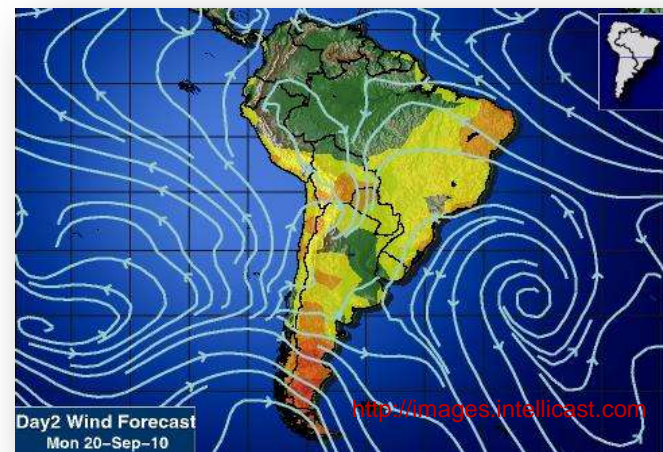
<http://www.agu.org/>



<http://www.radiosantafe.com>

- **Ciencias de la Tierra.** Como contribución de la ciencia y técnica geodésicas a la familia de las ciencias de la Tierra mediante la distribución de **datos**, prestación de **servicios** y generación de **información** que combinados con las provenientes de otras fuentes conducen a una mejor comprensión de la Tierra

- La geodesia **mide** diversos efectos de los procesos de **cambio geodinámico** y global, incluyendo el ciclo del agua.
- La comprensión de estos procesos requiere de series de tiempo muy precisas y estables de datos adquiridos a lo largo de muchos años.
- Las mediciones y órbitas satelitales deben ligarse a un marco de referencia terrestre (TRF) que soporte **precisiones milimétricas** y asegure su estabilidad en décadas.
- Los cambios deben monitorearse continuamente en el nivel de precisión de mm/año. (Brunini, 2005)



- **Ciencias de la Tierra.** Como contribución de la ciencia y técnica geodésicas a la familia de las ciencias de la Tierra mediante la distribución de **datos**, prestación de **servicios** y generación de **información** que combinadas con las provenientes de otras fuentes conducen a una mejor comprensión de la Tierra

SIRGAS and the earthquake of February 27, 2010 in Chile

L. Sánchez, W. Seemüller, H. Drewes
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)

On 27 February 2010, at 06:34 UTC (03:34 local time) an earthquake (magnitude 8.8) shook the western part of Chile. The epicentre was located at 35.846°S and 72.719°W in a depth of about 35 km. In order to estimate the impact of this earthquake in the SIRGAS Reference Frame, daily station positions between February 21 and March 6, 2010 were computed for selected continuously operating SIRGAS stations. This processing includes IGS05 stations located in Europe, North America, Africa, and Antarctica as reference points (Fig. 1).



The largest displacements occurred between latitudes 30°S to coast (Fig. 2). Results show that the station CONZ (Concepción, C 2,9 m in the south-west direction. In the week following the first movements of more than 10 cm were detected. Strong vertical Concepción, Santiago, Valparaiso and the province of Mendoza in the west of the Andes moved down, stations located in the east m

In summary, 43 SIRGAS-CON reference stations moved more than 10 cm in the south-west direction. In the week following the first movements of more than 10 cm were detected. Strong vertical Concepción, Santiago, Valparaiso and the province of Mendoza in the west of the Andes moved down, stations located in the east m

These computations were carried out by the SIRGAS Analysis Centre (DGFI) and are based on the observation data provided by the IGS (International GNSS Service, www.igs.org) and the Latin American Operation Centre (CONZ) contributing to the continuously operating network SIRGAS-CON (www.sirgas.org) through the Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). We deeply acknowledge this support.



Fig. 3. Vertical displacements estimated in the week after the earthquake of 2010-02-27 in Chile.

SIRGAS and the earthquake of April 4, 2010 in Baja California, Mexico

L. Sánchez, W. Seemüller, H. Drewes
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI)
Munich, May 5, 2010.

On April 04th, 2010, at 22:40 UTC (03:40 pm local time) an earthquake (magnitude 7.2) shook the north-western part of Mexico. The epicentre was located at 32.120°N and 115.303°W in a depth of about 10 km. In order to estimate the impact of this earthquake in the SIRGAS Reference Frame, daily station positions between March 31st and April 7th, 2010 were computed for selected continuously operating SIRGAS stations. Since the earthquake occurred in the NW limit of the geographical region covered by SIRGAS, this processing included 13 additional IGS stations located in North America. Results show a displacement of 23 cm in the SE direction of the reference station MEXI (Mexicali).

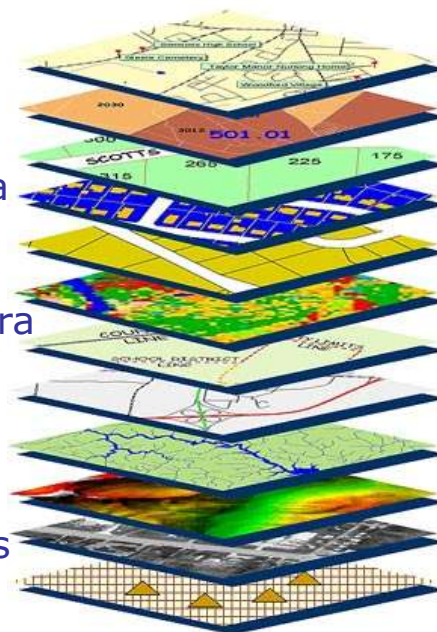


The closest SIRGAS stations located in the region present position changes less than 4 mm. Unfortunately, the station CIC1 (Ensenada), the nearest to the earthquake zone after MEXI, is out of operation and therefore, it has not been possible to estimate, if it is affected by the earthquake.

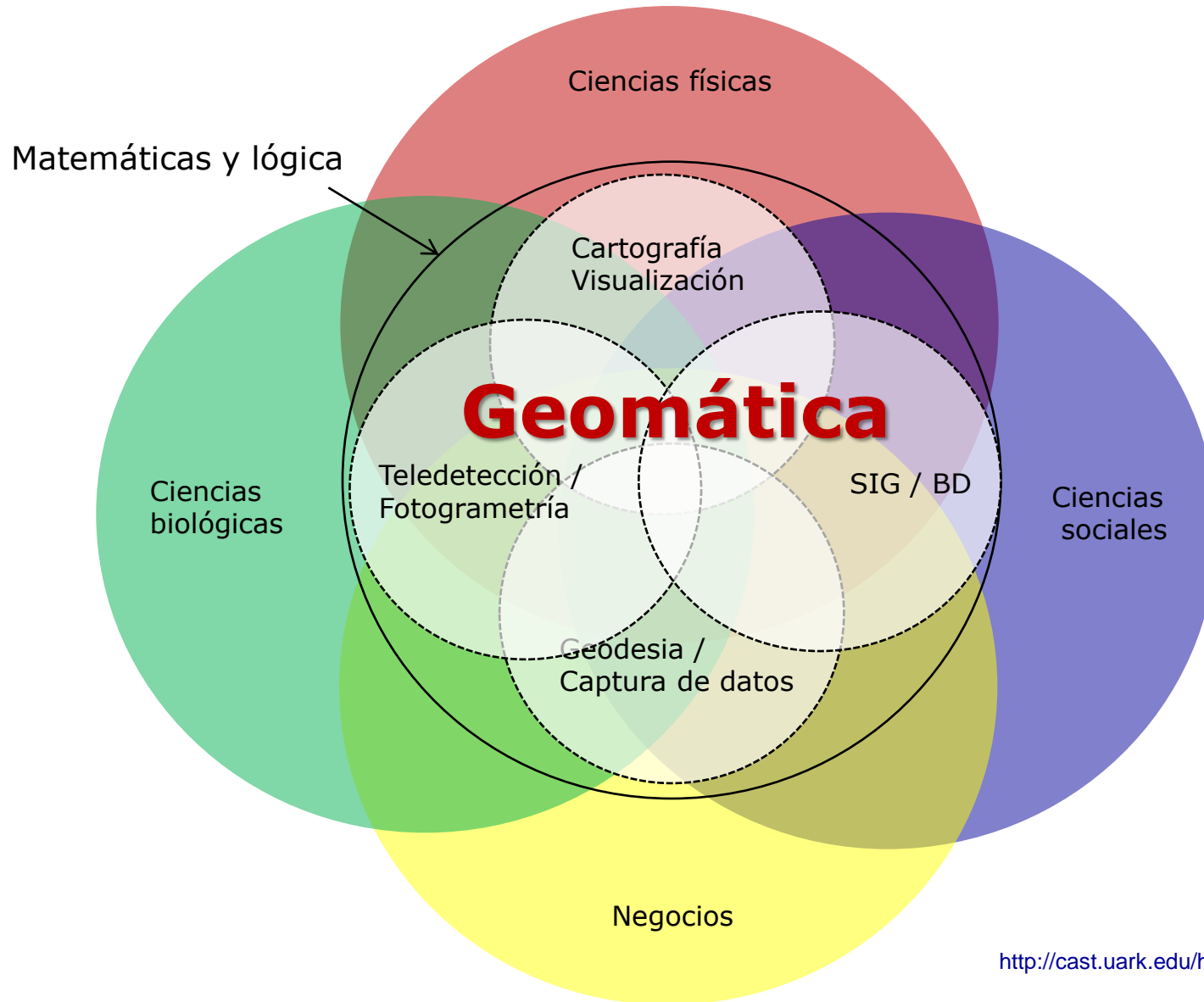
These computations were carried out by the SIRGAS Analysis Centre at DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) and are based on the observation data provided by the IGS (International GNSS Service, www.igs.org) and the Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) of Mexico (www.inegi.gob.mx), which contributes to the continuously operating network SIRGAS-CON (www.sirgas.org) through the Red Geodésica Nacional Activa (RGNA). We deeply acknowledge this support.

- **Beneficios sociales.** Como una **aplicación práctica** enfocada en la solución de problemas generados por los riesgos naturales, el cambio global y la dinámica social. Se relaciona con todos los elementos, variables y procesos que pueden localizarse mediante geoposicionamiento. Esto abarca, por demás, la mayoría de las actividades humanas y su relación con el ambiente.

Nombres
geográficos
Censo
Nomenclatura
Estructuras
Parcelas
Uso de la tierra
Límites
Transporte
Hidrografía
Elevaciones
Ortoimágenes
SIRGAS



SIRGAS
proporciona los
datos
fundamentales para
la Infraestructura de
Datos Geospaciales
de las Américas CP-
IDEA (Mackern,
2010)

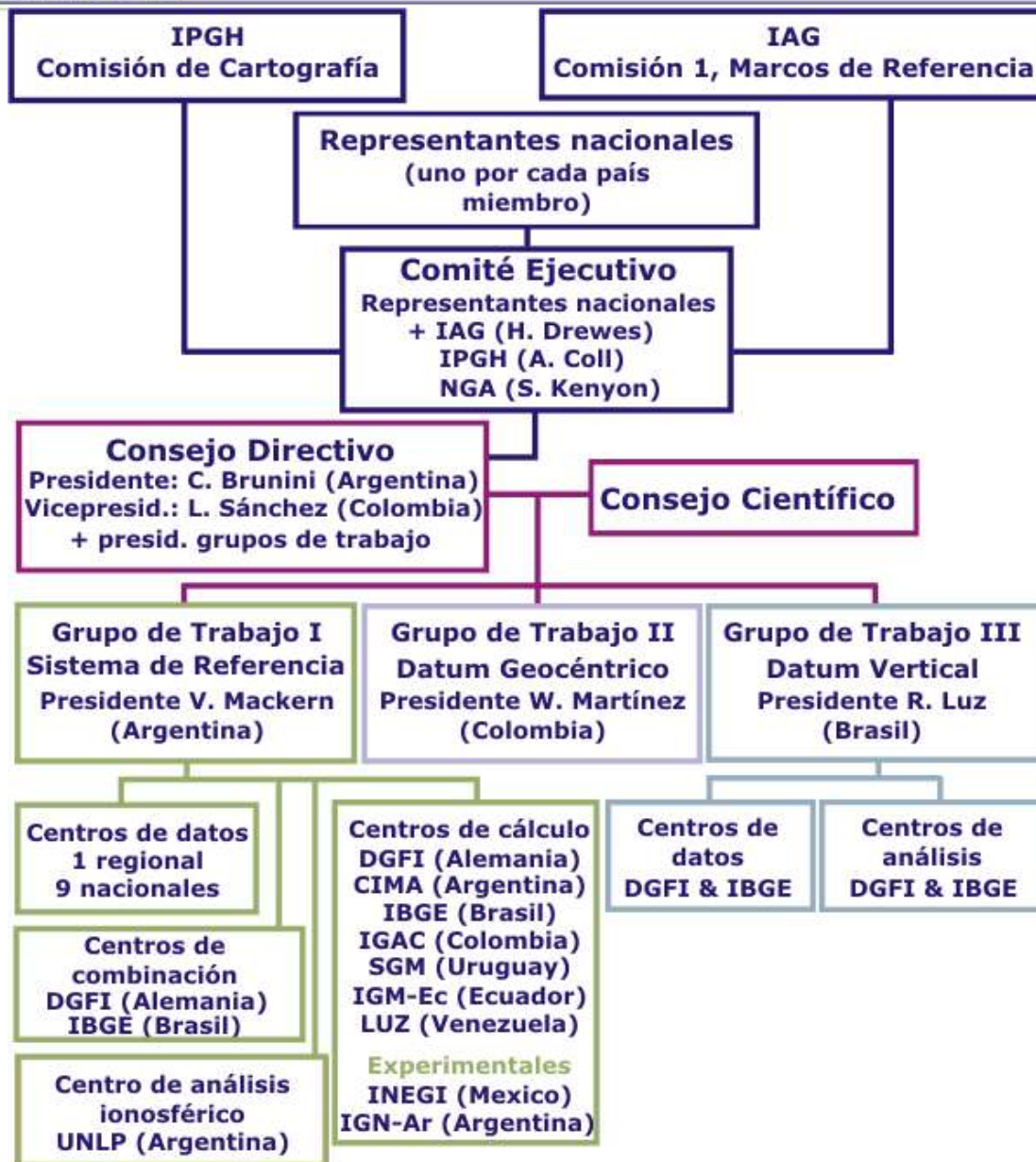


- Establecido en **1993**
- Patrocinado por la Asociación Internacional de Geodesia **IAG**, Instituto Panamericano de Geografía e Historia **IPGH** y la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial **NGA**, anterior NIMA - DMA.
- En aquella época, se centraron los esfuerzos en la **integración** de los sistemas nacionales de referencia en América del Sur.
- El posicionamiento basado en los **GNSS** se convirtió en la herramienta primaria de la Geodesia y permitió la definición de redes geodésicas globales (ITRF).

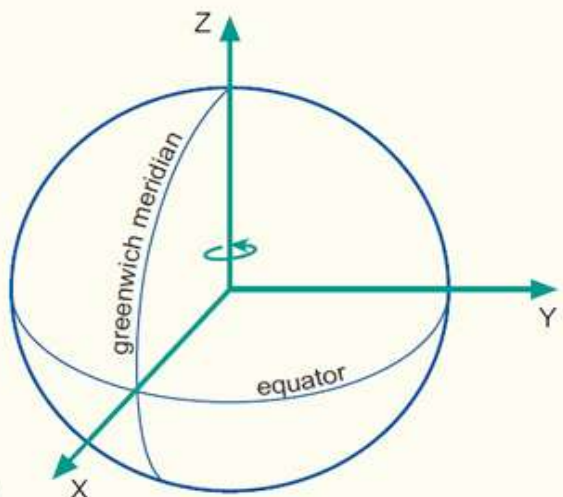


<http://www.horcis.com>

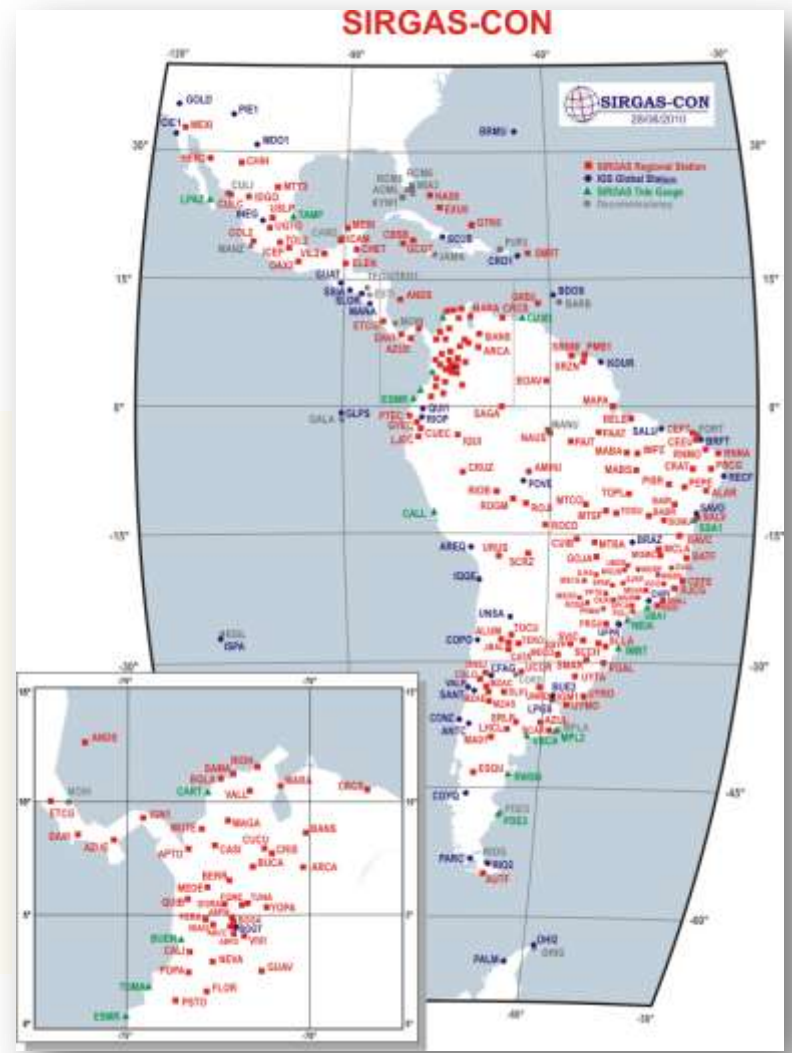




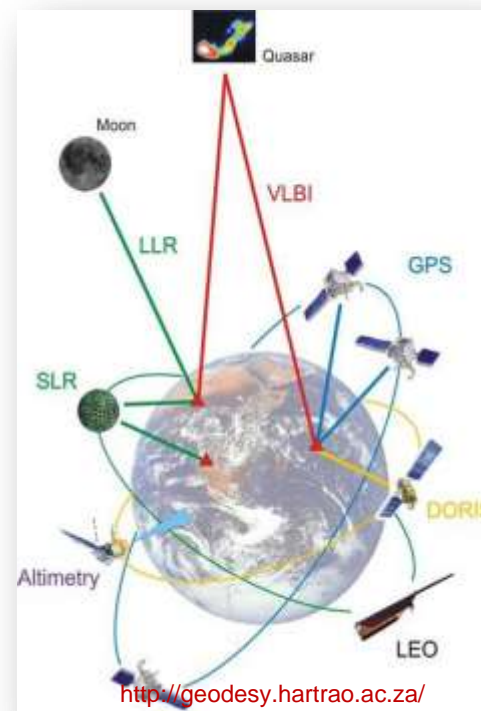
- SIRGAS como **sistema de referencia** se define como idéntico al Sistema Internacional de Referencia (ITRS) .
- SIRGAS como **marco de referencia** es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF)



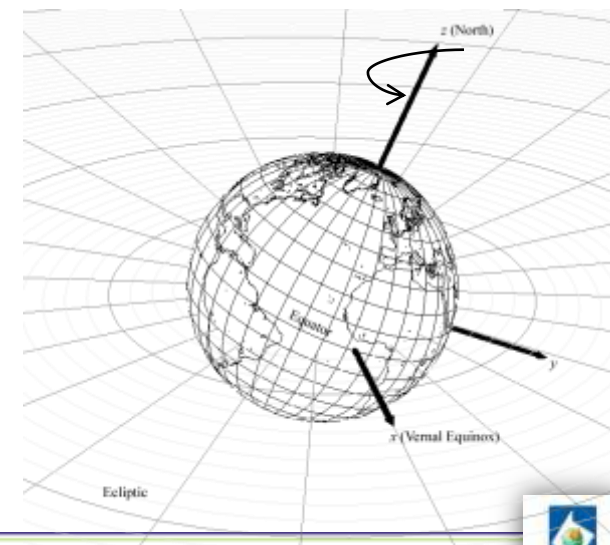
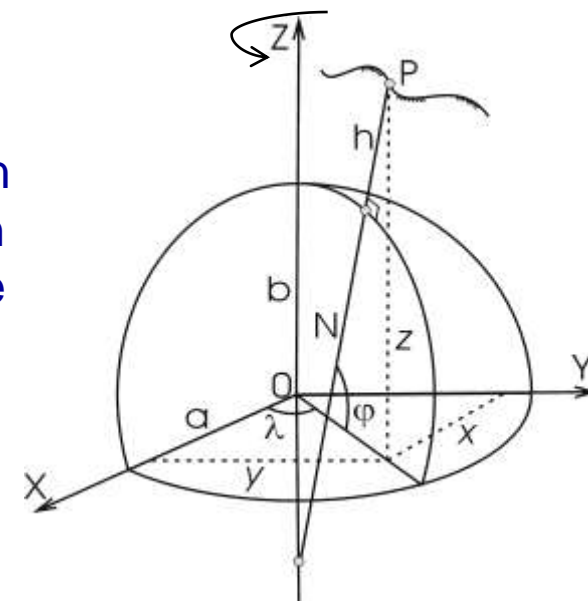
(a) The International Terrestrial Reference System (ITRS)
 (b) The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) visualized as a distributed set of ground control stations (represented by red points)



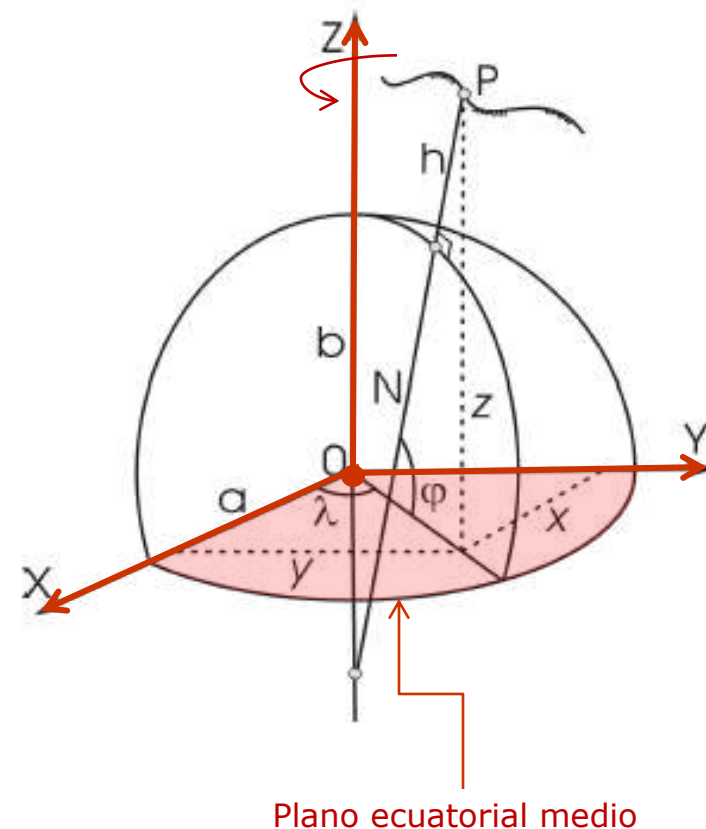
- El Sistema Internacional de Referencia Terrestre (**ITRS**) es un sistema espacial global de referencia que rota junto con la Tierra en su movimiento diurno en el espacio.
- El Servicio Internacional de la Rotación Terrestre y los Sistemas de Referencia (**IERS**) es el responsable de proporcionar referencias globales a las comunidades astronómica, geodésica y geofísica y supervisa la realización del ITRS
- Las realizaciones del ITRS son producidas por el Centro de Productos (ITRS-PC) bajo el nombre de Marco Internacional de Referencia Terrestre (**ITRF**)
- Las coordenadas del ITRF se obtienen mediante combinación de soluciones individuales calculadas por los centros de análisis del IERS utilizando técnicas de la Geodesia Espacial: GNSS, VLBI, SLR, LLR y DORIS. Estas emplean redes de estaciones distribuidas sobre el globo. IERS (2010)



- Para el caso terrestre, el sistema de coordenadas cartesianas tridimensionales se define como Sistema Internacional de referencia terrestre (**ITRS**, por sus siglas en inglés). El ITRS consiste en un conjunto de preceptos y convenciones junto con el modelado requerido para definir el origen, escala, orientación y evolución en el tiempo de un Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS).
- **Origen:** Centro de masas definido para la Tierra (**geocentro**), incluyendo los océanos y la atmósfera.
- **Escala:** La unidad de longitud es el metro (SI)
- **Orientación:** Dada por al orientación del (BIH) en 1984.b
- **Evolución en el tiempo:** La evolución en el tiempo de la orientación se asegura mediante el empleo de una condición de no rotación neta (no-net rotation), considerando los movimientos tectónicos horizontales sobre toda la Tierra.



- Sistema de coordenadas cartesianas espaciales X, Y, Z , fijo en la Tierra (rota con ella).
- El origen es el centro de masa del planeta (geocentro), incluyendo la atmósfera y la Hidrosfera.
- El eje Z apunta hacia el polo convencional terrestre medio y coincide con el eje de rotación
- El plano ecuatorial medio es perpendicular a Z y contiene los ejes X y Y .
- No dependen de la figura del elipsoide y son las empleadas inicialmente por los GNSS



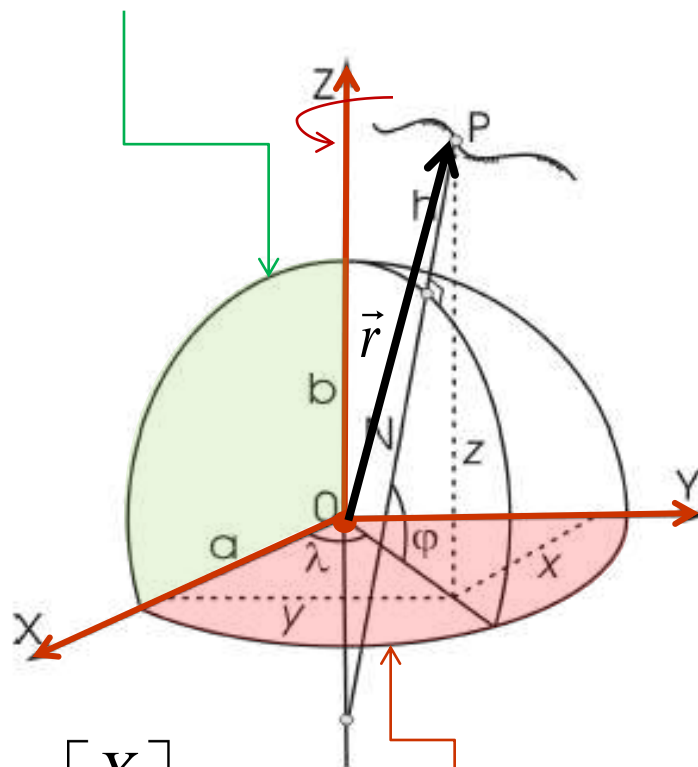
El plano XZ es generado por el plano convencional medio de Greenwich, el cual está comprendido por el eje medio de rotación y el meridiano cero de Greenwich, al cual se refiere el Tiempo Universal (UT).

Los ejes X y Z se realizan indirectamente mediante las coordenadas de estaciones fiduciaras.

El eje Y está orientado de manera que forma un sistema de mano derecha con X y Z.

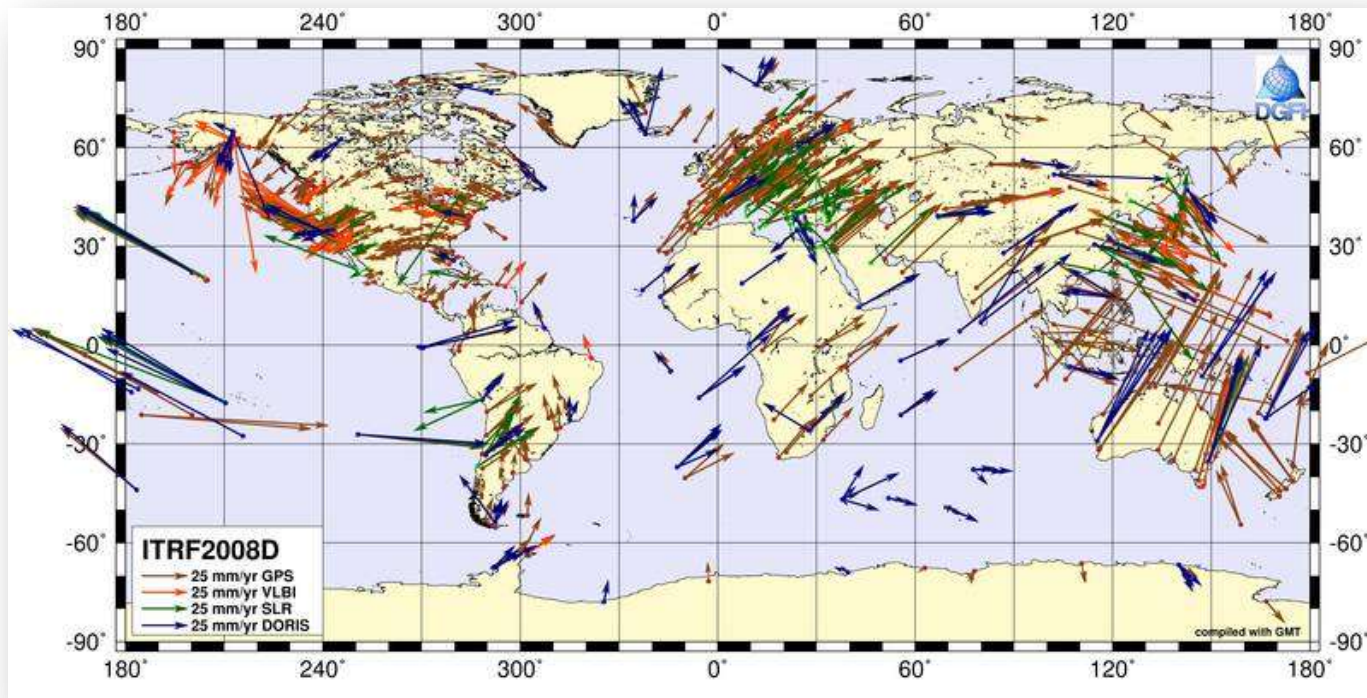
Las unidades de X, Y y Z corresponden con el Sistema Internacional (SI): **metros**.

Plano convencional medio de Greenwich




$$\vec{r} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$



Plano ecuatorial medio



- El marco de referencia proporciona un conjunto de coordenadas de puntos localizados sobre la superficie terrestre.
- Puede utilizarse para medir la tectónica de placas y subsidencia o carga regional o representar la Tierra cuando se mide su rotación en el espacio.
- Las realizaciones del ITRF (11 desde 1988) incluyen posiciones y velocidades de las estaciones y modelan los cambios seculares de la corteza terrestre. Por este motivo pueden emplearse para comparar observaciones de diferentes épocas.
- La continuidad de las soluciones se asegura mediante las Convenciones del IERS y el vínculo entre ellas son los parámetros de transformación.




ITRF Network Map

Search by DOMES number :

International Terrestrial Reference Frame

ITRF



Navigation Tools

ITRS and ITRF

ITRF NEWS

General concepts

ITRF Products

ITRF solutions

Transformation parameters

Domes Numbers

DOMES description

DOMES request

IERS Network

Network description

Local surveys

Site Information and Selection

Get ITRF coord.

Guidelines

Get coordinates

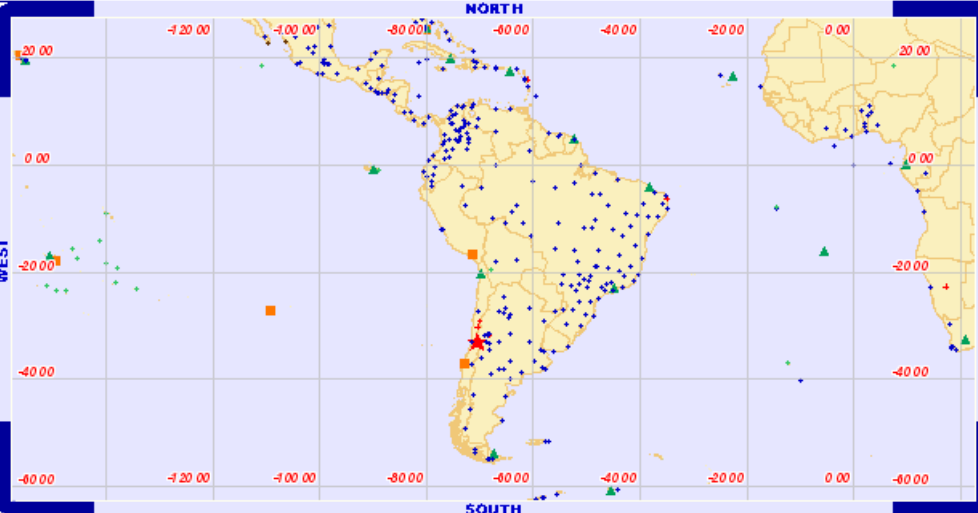
Selected points

ITRF Mailing list

FAQ

Links

Site map | About this site



NORTH

WEST EAST

SOUTH

ITRF Network

- ★ Four Techniques
- Three Techniques
- ▲ Two Techniques
- + GPS Sites Only
- + DORIS Sites Only
- + SLR Sites Only
- + VLBI Sites Only
- + Other points

Velocity Vector

2005

Horizontal

Vertical

uncertainty

Tectonic Plates

None

Latitude Longitude

(Decimal degrees)

By default, all points are displayed

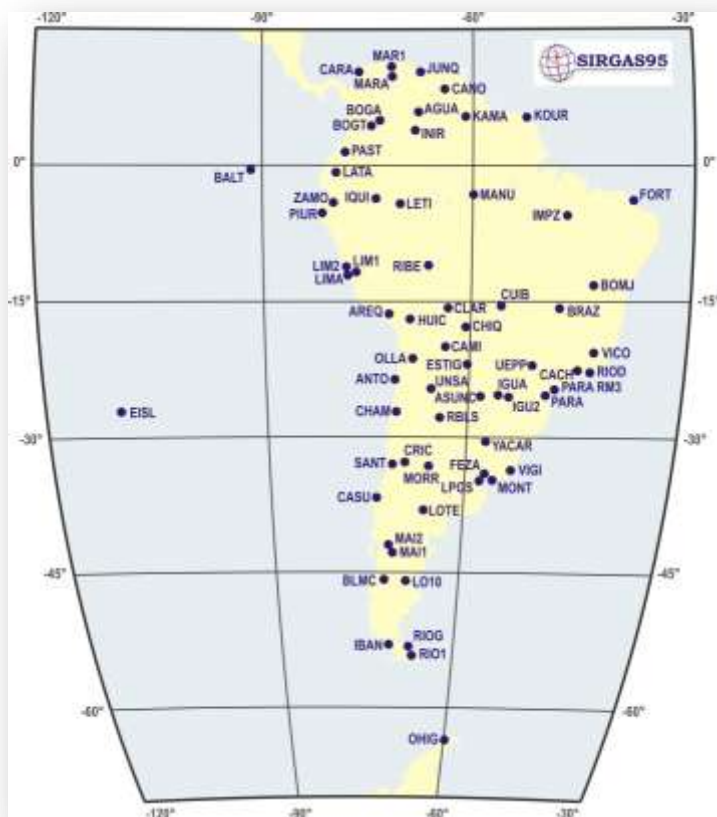
ITRF Solution:
 05
 00
 97
 96
 94
 Network :
 GPS
 DORIS
 SLR
 VLBI

And
 Or

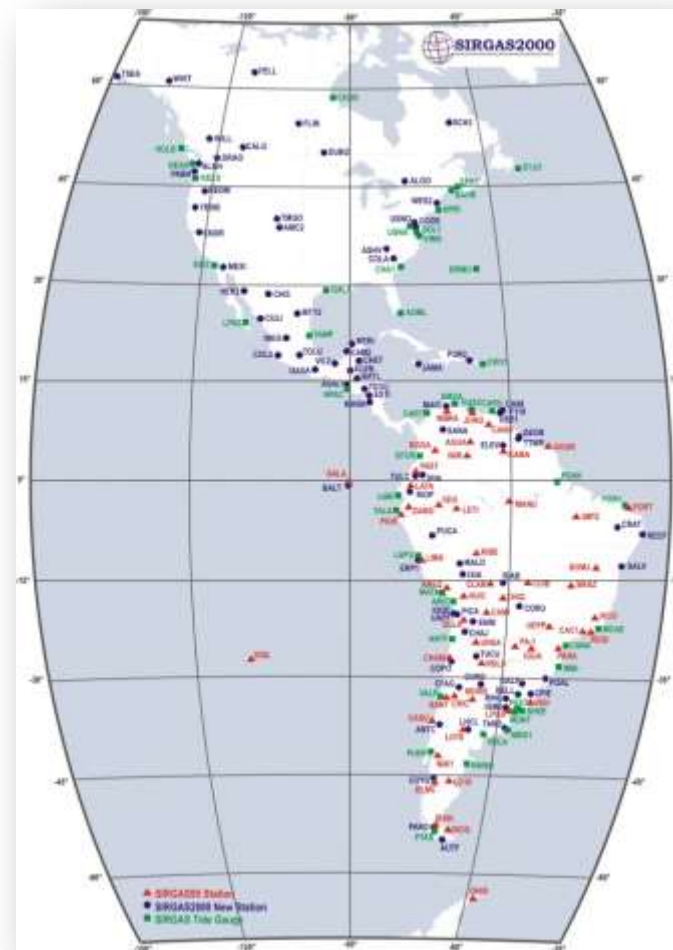
Point(s) selected	ITRF
DOMES Description	code 93 94 96 97 2000 2005 <input type="checkbox"/>
No point selected. Why select points?	

ITRF Website - September 2010 - IGN ©

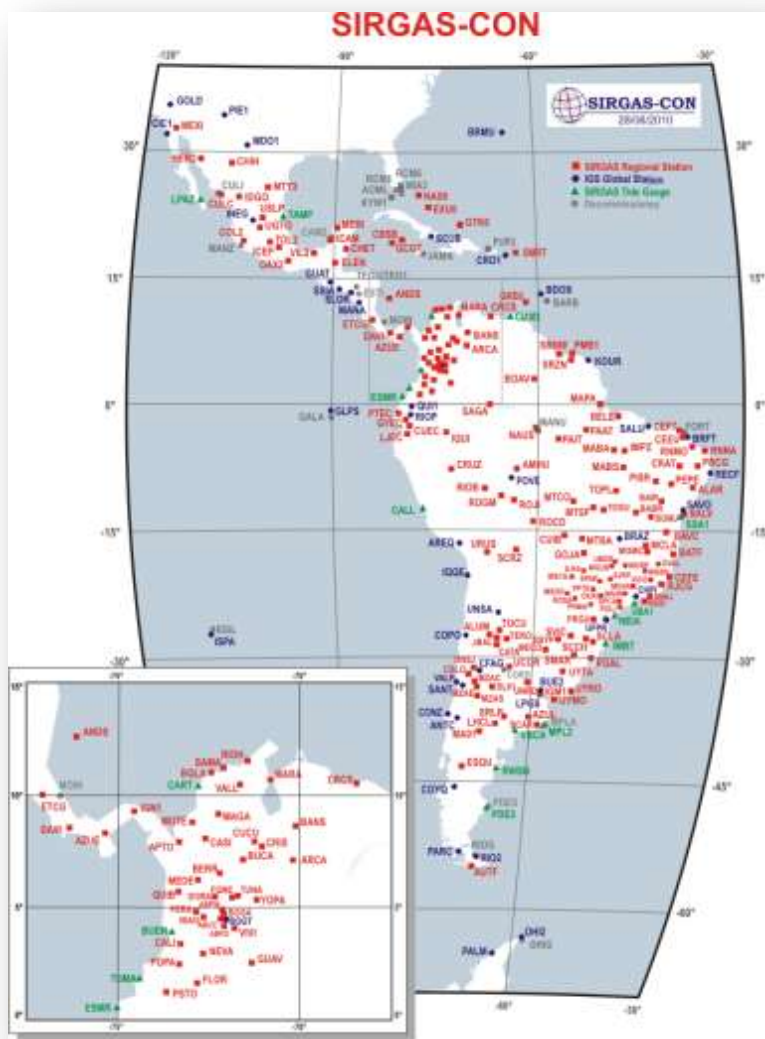
- **SIRGAS 1995:** Se refiere al ITRF94, época 1995.4. Red basada en GPS de alta precisión formada por 58 puntos distribuidos en América del Sur.



- **SIRGAS 2000:** La segunda realización incluye 184 estaciones GPS y se refiere al ITRF 2000, época 2000.4



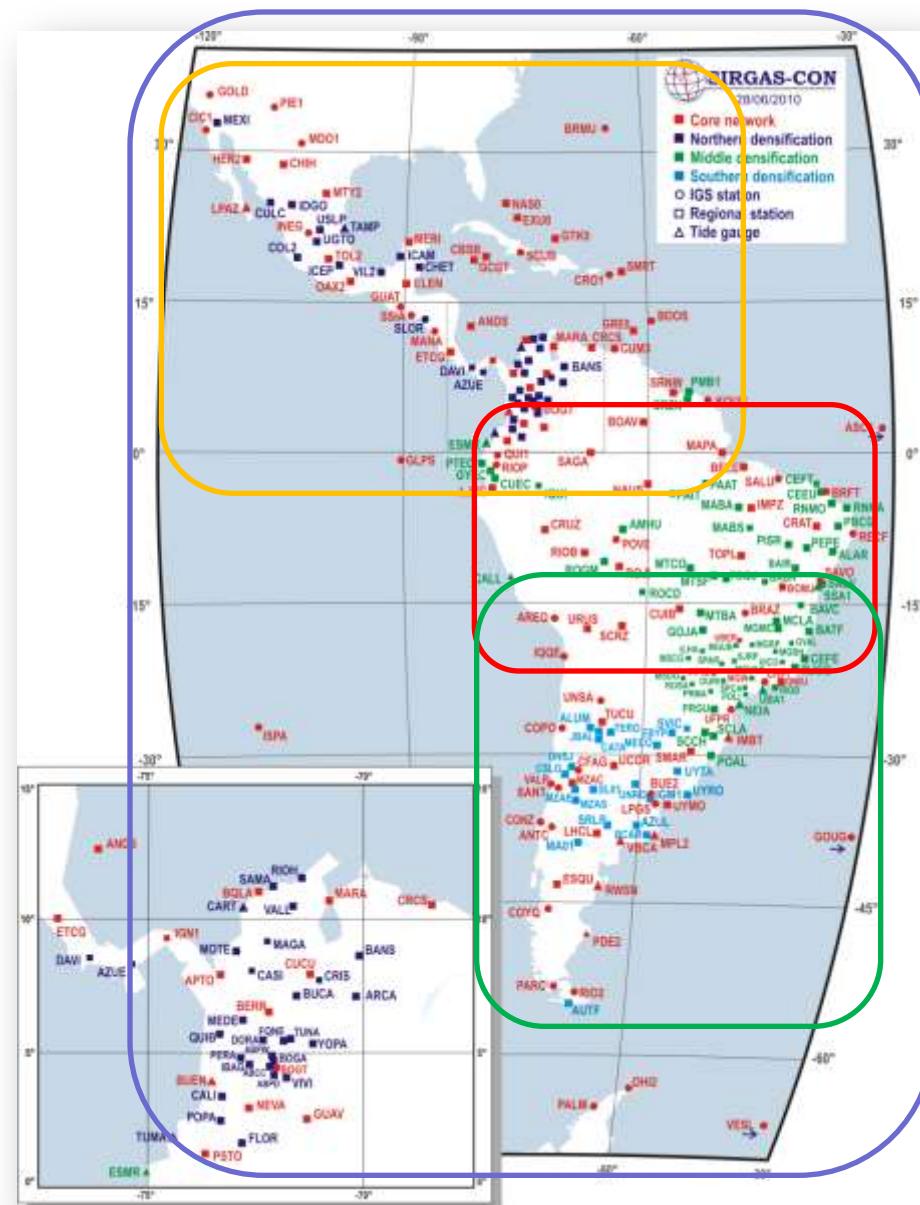
SIRGAS-CON: Red SIRGAS de Funcionamiento Continuo.



- Compuesta por **cerca de 230 sitios GNSS de operación continua**, de los cuales 48 pertenecen a la red global IGS
- Las coordenadas SIRGAS-CON son **calculadas semanalmente** por los centros de procesamiento y combinación.
- Las coordenadas finales y las velocidades son proporcionadas por el centro de análisis *IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS-RNAAC-SIR)* en el DGFI *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut*, Munich, Alemania
- Las soluciones multianuales proporcionan la cinemática de la red con precisiones mejores que **1 mm en posición** y **1 mm/año** en las velocidades.
- Las coordenadas de las soluciones multianuales se refieren a una época específica; e. g. la solución SIR09P01 se refiere a IGS05, época 2005.0.



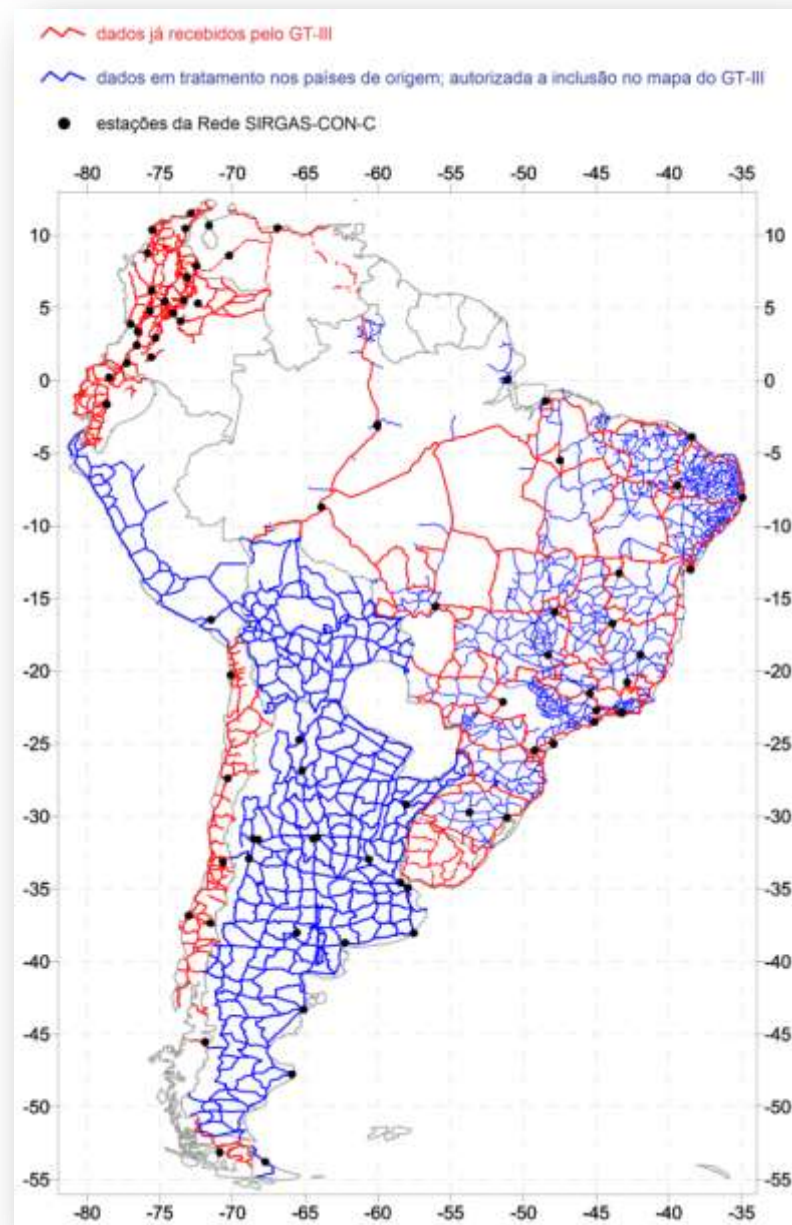
La meta es que cada país procese sus propias estaciones siguiendo las guías SIRGAS de procesamiento, las cuales están definidas de acuerdo con los estándares y convenciones del IERS y el IGS (Sánchez, 2009)





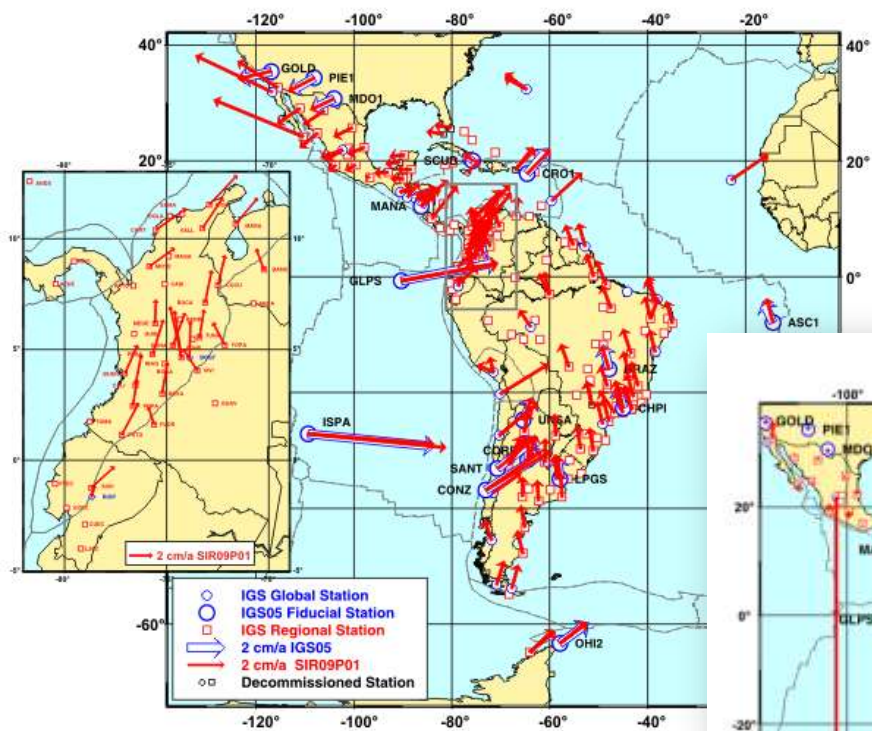
- La actividad principal actual de SIRGAS en cuanto a los sistemas verticales de referencia consiste en la elaboración del diagnóstico de los datum verticales:
 - i) el nivel de referencia de los datum verticales latinoamericanos corresponde al nivel medio del mar registrado en **diferentes mareógrafos** durante **diferentes períodos de tiempo**. Tales niveles varían en función de la posición geográfica y están asociados a diferentes épocas de referencia,
 - ii) las redes verticales han sido extendidas en los diferentes países mediante **nivelación geométrica** de alta precisión, pero, en general, los desniveles medidos **no** han sido corregidos por los **efectos del campo de gravedad**,
 - iii) estos sistemas no tienen en cuenta la variación de las alturas y del nivel de referencia con respecto al tiempo, es decir **son estáticos**, y por lo tanto,
 - iv) los sistemas de alturas existentes en América Latina presentan **discrepancias considerables** entre países vecinos, no permiten el intercambio consistente de información geográfica y no están en capacidad de ser la referencia integrada para la determinación de alturas a partir de técnicas GNSS en combinación con modelos geoidales de alta resolución (SIRGAS, 2010).

- La **realización geométrica** corresponde a las estaciones ocupadas durante la campaña GPS SIRGAS 2000
- La **componente física** del nuevo sistema de referencia vertical incluye: nivelaciones de primer orden, valores de gravedad, números geopotenciales, registros mareográficos y datos de altimetría satelital.



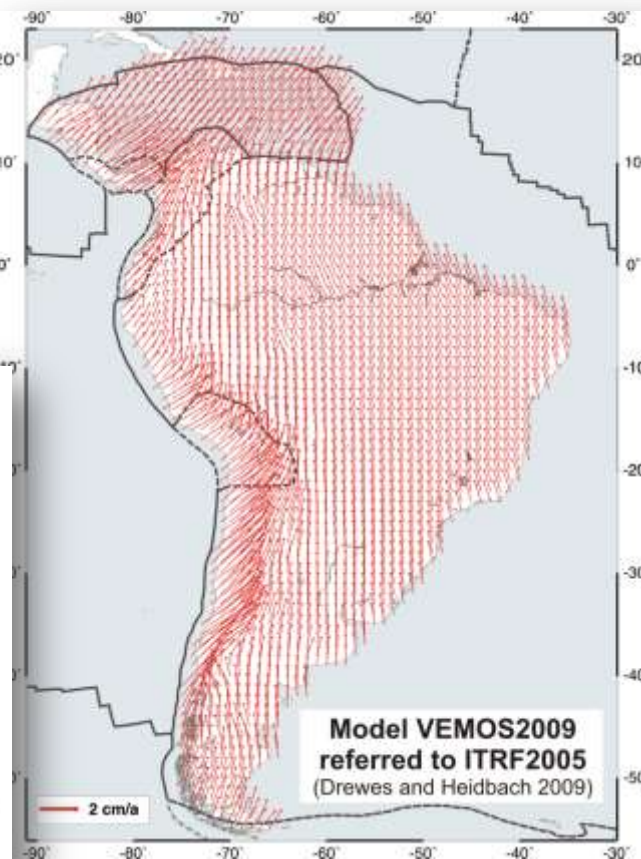
- El nuevo Sistema Vertical de Referencia para SIRGAS debe:
 - **i)** referirse a un **nivel unificado** de referencia global (W_0),
 - ii)** ser realizado (materializado) por **alturas físicas**. Es decir, derivadas de nivelación geodésica en combinación con reducciones de los efectos del campo de gravedad),
 - iii)** estar conectado al sistema de referencia geométrico SIRGAS, y
 - iv)** estar asociado a una época específica de referencia, es decir, debe considerar el cambio de las coordenadas verticales y de su nivel de referencia a través del tiempo.
- La recomendación oficial de SIRGAS sobre las alturas físicas es la introducción de **alturas normales**; sin embargo, dado que algunos países quieren adoptar **alturas ortométricas**, el nuevo sistema vertical de referencia para SIRGAS se define en términos de cantidades de potencial (W_0 como **nivel de referencia y números o cotas geopotenciales como coordenadas fundamentales**). De acuerdo con esto, en la realización del sistema cada país podrá introducir el tipo de alturas físicas que prefiera, junto con la superficie de referencia correspondiente: **geoide** para las alturas ortométricas o **cuasigeoide** para las alturas normales.

SIR9P01 horizontal velocities

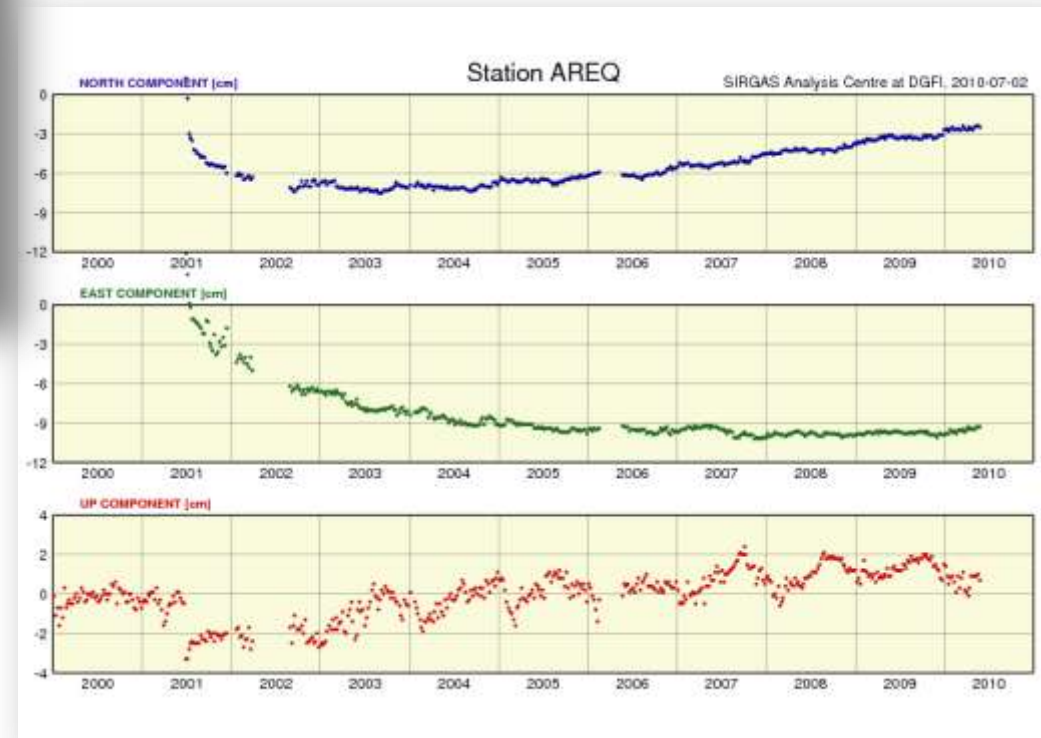


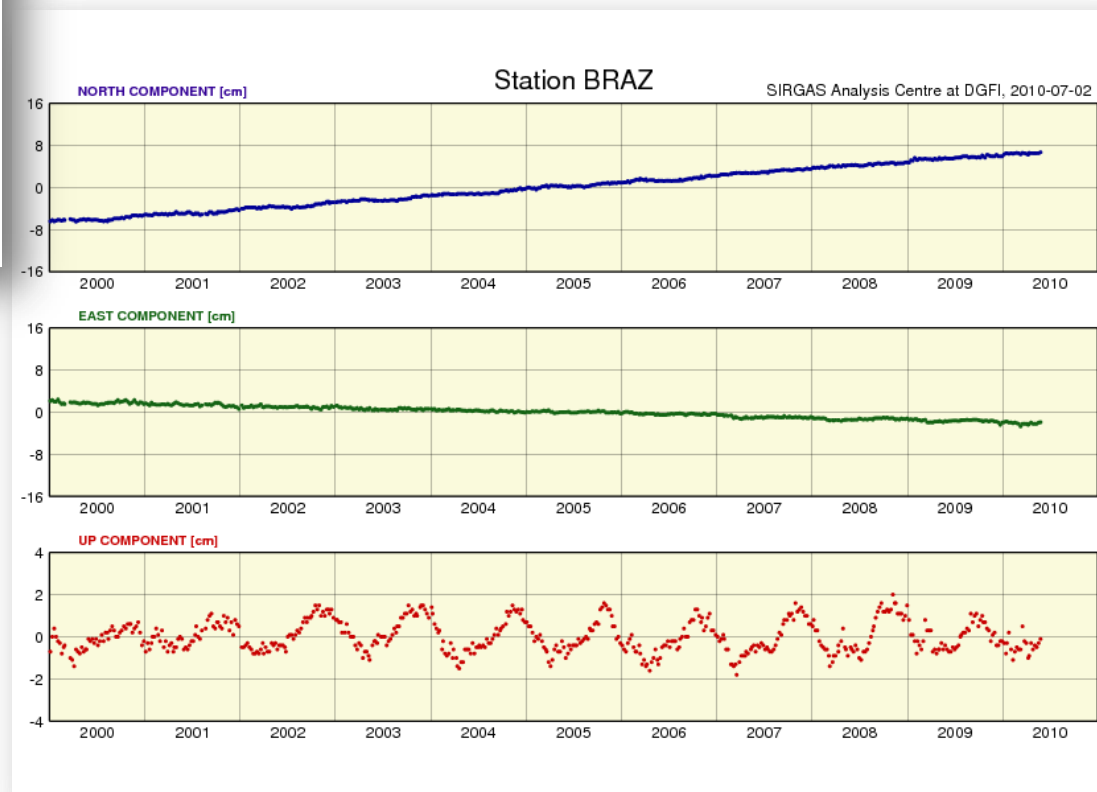
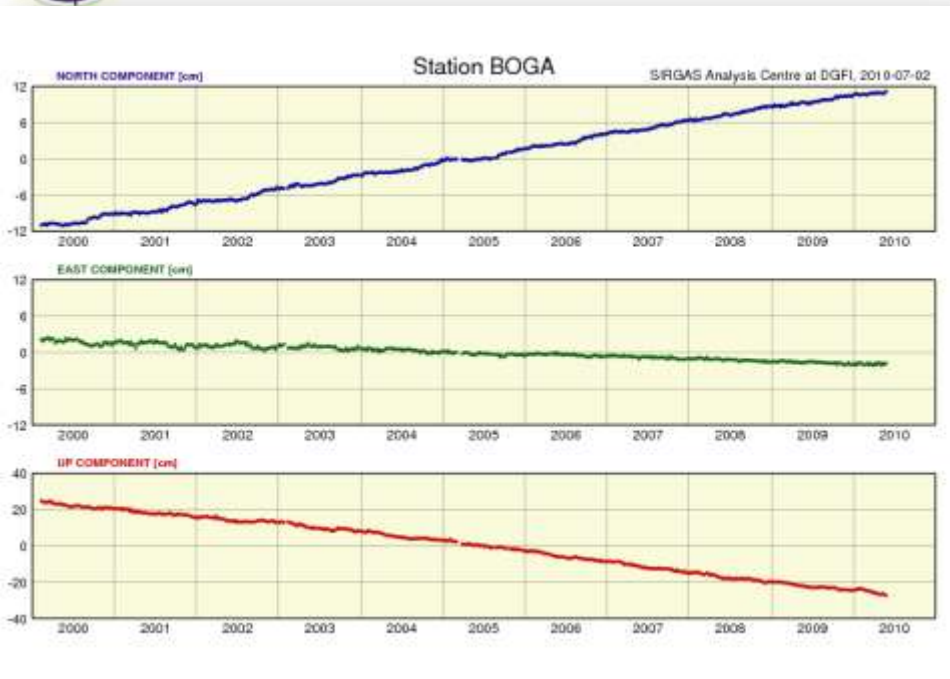
Modelo de velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009) referido al ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009).

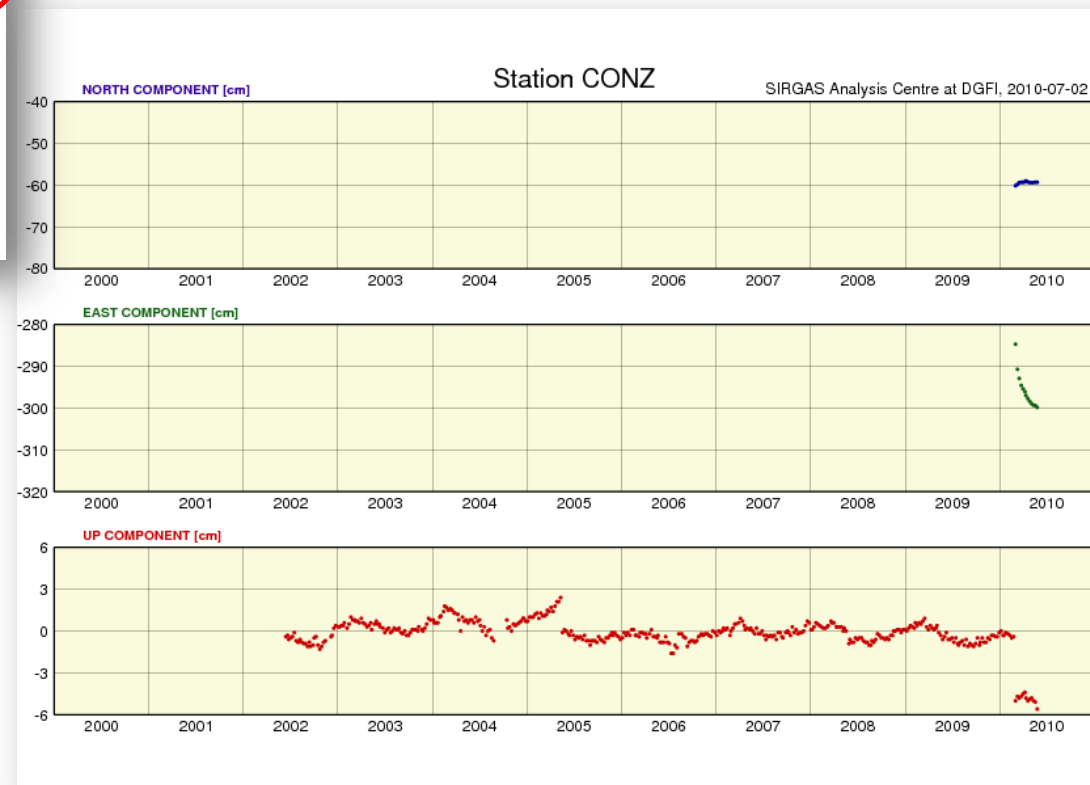
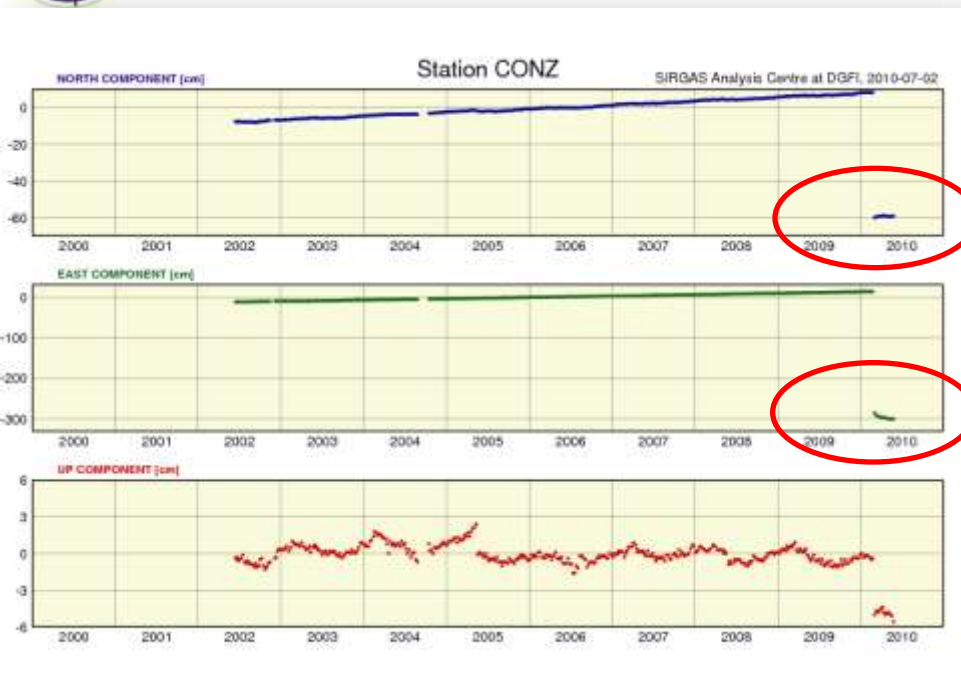
SIR9P01 vertical velocities

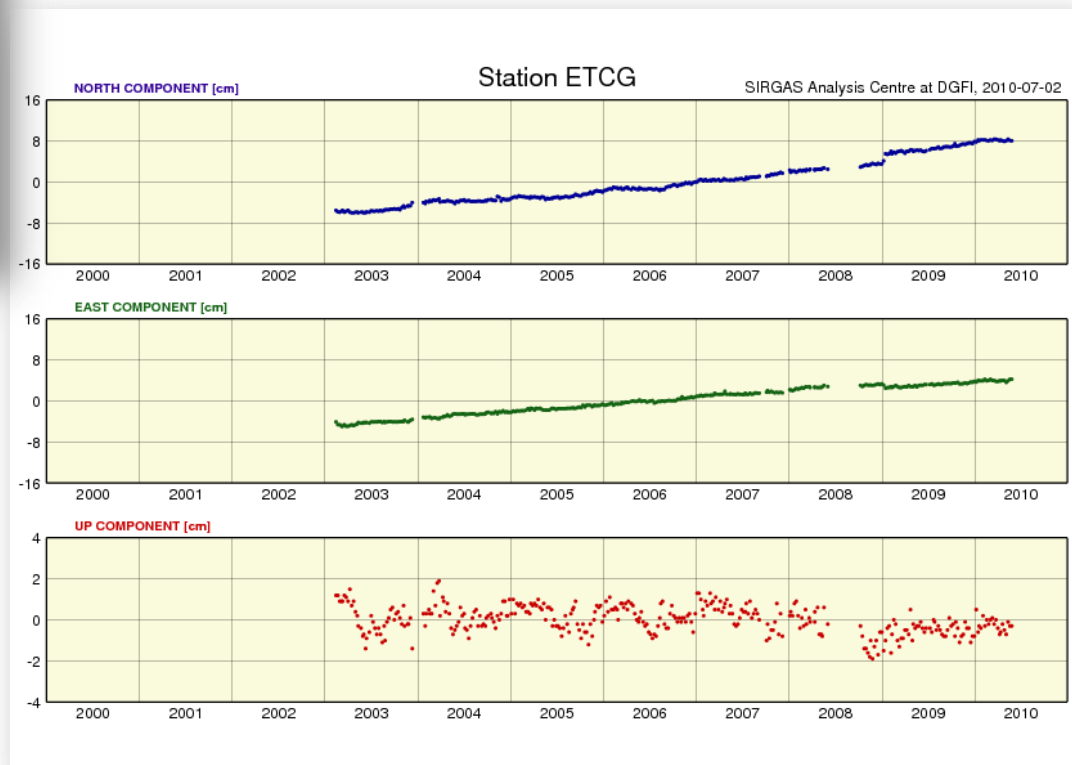
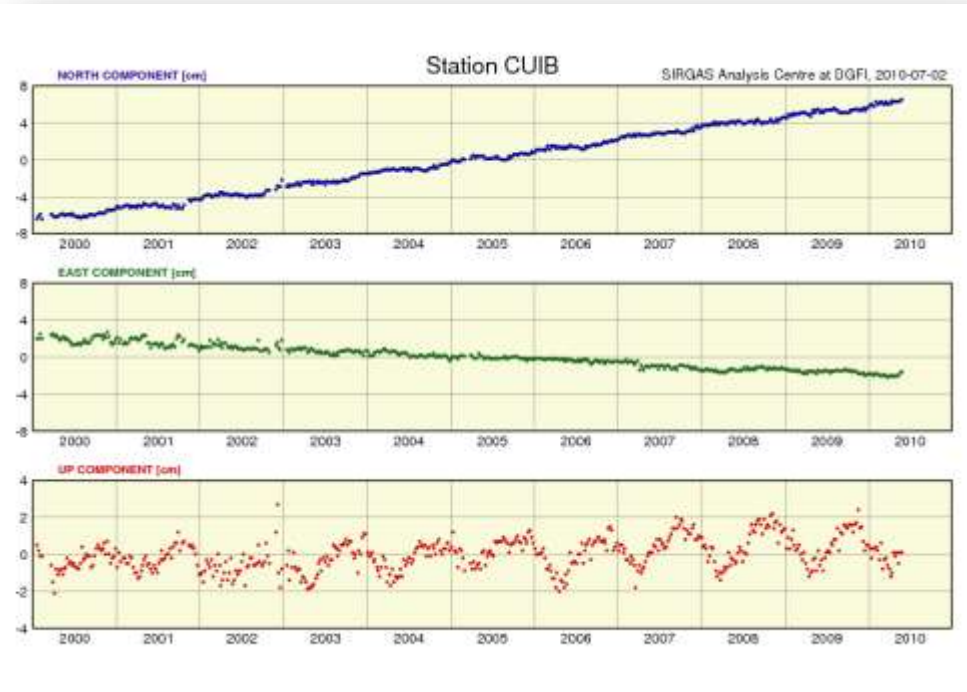


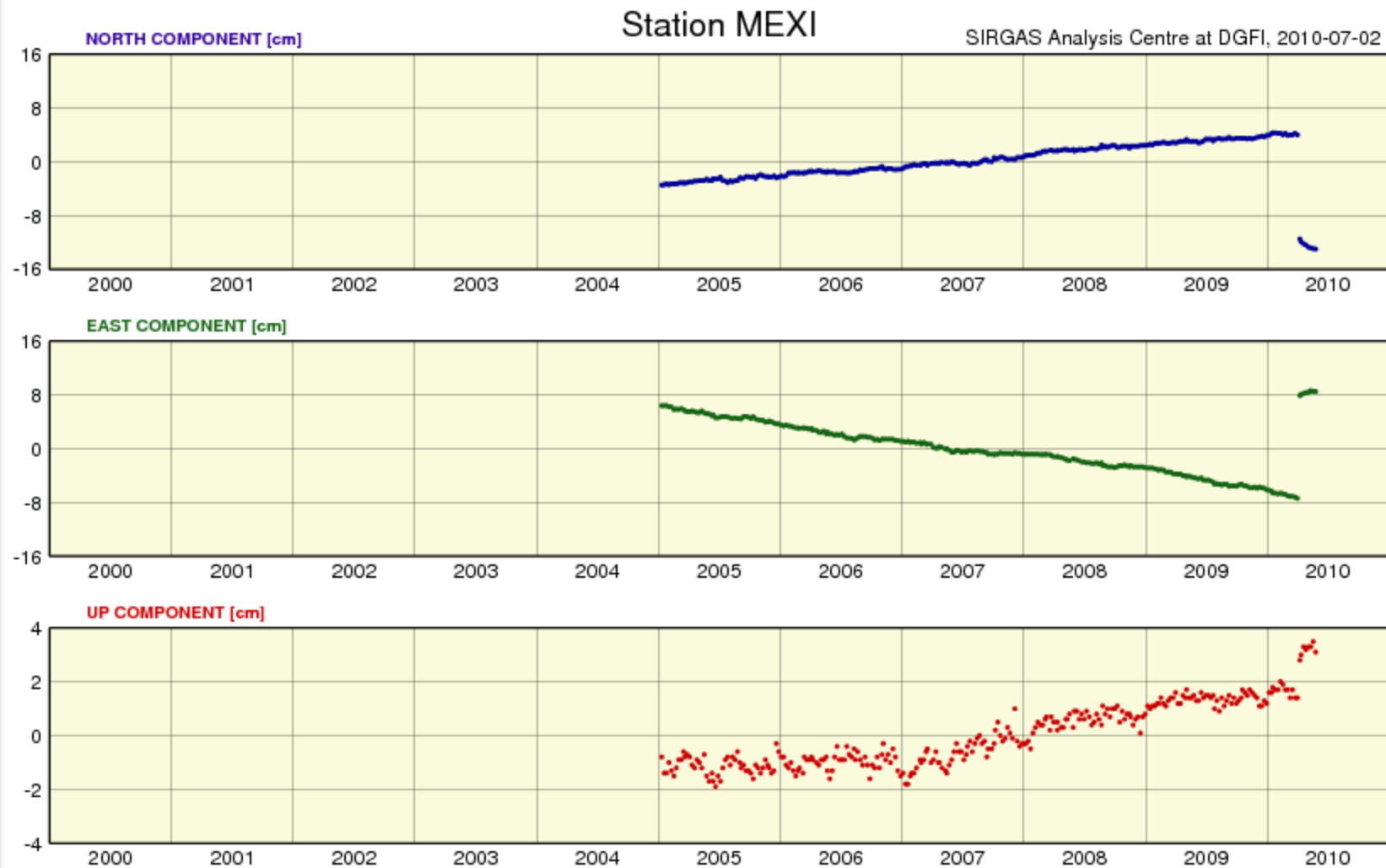
Solución de posiciones y velocidades SIR9P01 del IGS RNAAC SIR (Seemüller et al.)











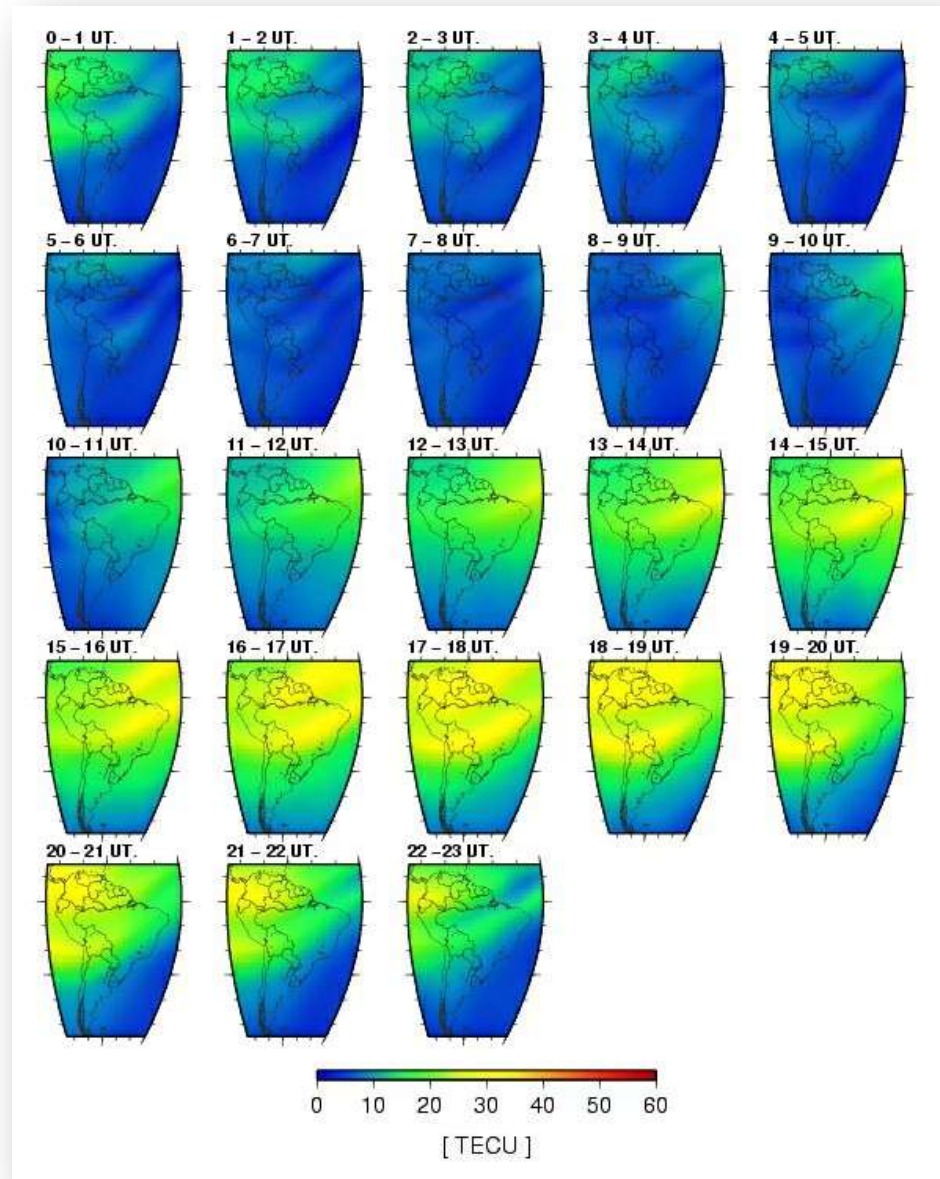
Actualmente, SIRGAS es el marco de referencia en **16 países** los cuales han implementado redes nacionales con un número creciente (230) estaciones GNSS continuas y 2800 estaciones pasivas.

Estrategia:

- i) establecimiento de una **red nacional GNSS de primer orden** (con estaciones continuas o pasivas)
- ii) determinación de **parámetros de transformación** entre los antiguos datum geodésicos y SIRGAS, y
- iii) **adopción de SIRGAS como marco oficial** en cada país.



- La ionosfera sobre América Central y del Sur presenta problemas de interés para los aerónomos.
- Desde julio de 2006 SIRGAS opera un **Centro de Análisis Ionosférico** bajo la responsabilidad de la Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Mapas horarios regionales del vTEC son calculados y entregados a la comunidad.
- Estos mapas han sido empleados para:
 - validación de la *International Reference Ionosphere (IRI)*;
 - mejora del posicionamiento con receptores GNSS de una frecuencia;
 - Estudios de factibilidad para la implementación de SBAS en la región (con el apoyo de la Organización de la Aviación Civil Internacional OACI).





SIRGAS Fortalecimiento institucional (*Capacity building*)

- SIRGAS adelanta importantes procesos de fortalecimiento institucional en las Américas:
- Se instalaron **ocho centros de análisis** durante los últimos cuatro años en instituciones latinoamericanas.
- Con las “**Escuelas SIRGAS en Sistemas de Referencia**” se proporciona la fundamentación teórica y con los “**Cursos de Entrenamiento para los Centros de Análisis**”, se desarrollan las habilidades prácticas.
- La próxima Escuela SIRGAS se llevará a cabo en Lima, Perú, entre noviembre 8 y 10 de 2010.

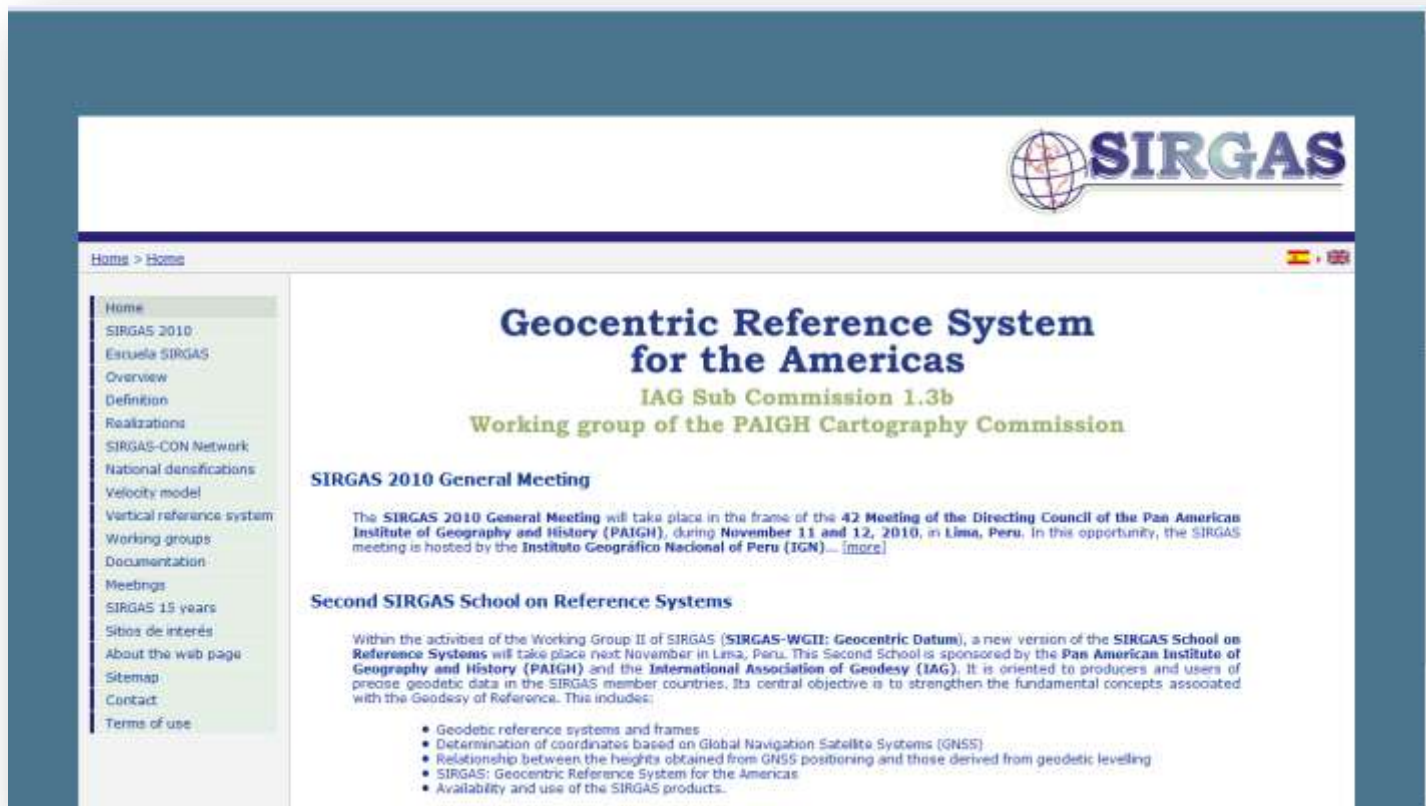


Segunda Escuela SIRGAS en SISTEMAS DE REFERENCIA

Noviembre 8 - 10 de 2010, Lima, Perú.

Con el apoyo de:





The screenshot shows the SIRGAS website interface. At the top right is the SIRGAS logo. Below it, there is a navigation bar with 'Home > Home' and flags for Spain and the UK. A left sidebar contains a menu with items like 'Home', 'SIRGAS 2010', 'Estructura SIRGAS', 'Overview', 'Definition', 'Realizations', 'SIRGAS-CON Network', 'National densifications', 'Velocity model', 'Vertical reference system', 'Working groups', 'Documentation', 'Meetings', 'SIRGAS 15 years', 'Sitios de interés', 'About the web page', 'Sitemap', 'Contact', and 'Terms of use'. The main content area features the title 'Geocentric Reference System for the Americas' in large blue font, followed by 'IAG Sub Commission 1.3b' and 'Working group of the PAIGH Cartography Commission' in green. Below this, there are two sections: 'SIRGAS 2010 General Meeting' and 'Second SIRGAS School on Reference Systems'. The 'SIRGAS 2010 General Meeting' section includes a paragraph about the meeting in Lima, Peru, and a link to more information. The 'Second SIRGAS School on Reference Systems' section includes a paragraph about the school and a bulleted list of topics to be covered.

Geocentric Reference System for the Americas

IAG Sub Commission 1.3b
Working group of the PAIGH Cartography Commission

SIRGAS 2010 General Meeting

The **SIRGAS 2010 General Meeting** will take place in the frame of the **42 Meeting of the Directing Council of the Pan American Institute of Geography and History (PAIGH)**, during **November 11 and 12, 2010**, in **Lima, Peru**. In this opportunity, the SIRGAS meeting is hosted by the **Instituto Geográfico Nacional of Peru (IGN)**... [\[more\]](#)

Second SIRGAS School on Reference Systems

Within the activities of the Working Group II of SIRGAS (**SIRGAS-WGII: Geocentric Datum**), a new version of the **SIRGAS School on Reference Systems** will take place next November in Lima, Peru. This Second School is sponsored by the **Pan American Institute of Geography and History (PAIGH)** and the **International Association of Geodesy (IAG)**. It is oriented to producers and users of precise geodetic data in the SIRGAS member countries. Its central objective is to strengthen the fundamental concepts associated with the Geodesy of Reference. This includes:

- Geodetic reference systems and frames
- Determination of coordinates based on Global Navigation Satellite Systems (GNSS)
- Relationship between the heights obtained from GNSS positioning and those derived from geodetic levelling
- SIRGAS: Geocentric Reference System for the Americas
- Availability and use of the SIRGAS products.

Muchas gracias.