Estado del marco de referencia SIRGAS: desarrollos recientes y nuevos desafíos

Escuela Regional de la La Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata

Sonia Costa & Diego Piñón

Agenda

Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS)

- ✓¿Quiénes somos?
- ✓¿Cuál es nuestra misión?
- ✓Países que integran SIRGAS
- ✓Red SIRGAS-CON
- ✓Centros de Análisis SIRGAS
- ✓Productos SIRGAS
- ✓Observatorios Geodesicos
- ✓Grupo de Trabajo II – SIRGAS a nivel nacional
- ✓Grupo de Trabajo III – Sistema de Referencia de Alturas
- ✓Actividades científicas y de capacitación

Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (cont.)

¿Quiénes somos?

- ✓ SIRGAS es una organización sin fines de lucro basada en la contribución voluntaria de organizaciones científicas y las agencias nacionales geodésicas, cartográficas o geográficas de los países miembros.

- ✓ SIRGAS fue establecido en 1993 con el propósito de reemplazar (o modernizar) los datum geodésicos clásicos (bidimensional) con un marco de referencia geocéntrico (tridimensional) unificado llamado **SIRGAS: Sistema de Referencia Geodésico para las Américas.**

- ✓ Este propósito fue extendido en 1998 para abarcar igualmente la determinación de un sistema vertical de referencia asociado al campo de gravedad terrestre.

- ✓ SIRGAS es una componente de la Comisión 1 (Reference Frames) de la IAG, a través de la Subcomisión 1.3 (Regional Reference Frames) y es responsable del Marco de Referencia Regional para Sur y Centro América (1.3b Regional Reference Frame for South and Central America). Igualmente, SIRGAS se desempeña como un grupo de trabajo de la Comisión de Cartografía del IPGH.

- ✓ Todas las actividades científicas desarrolladas por SIRGAS siguen las recomendaciones de la Asociación Internacional de Geodésia - AIG

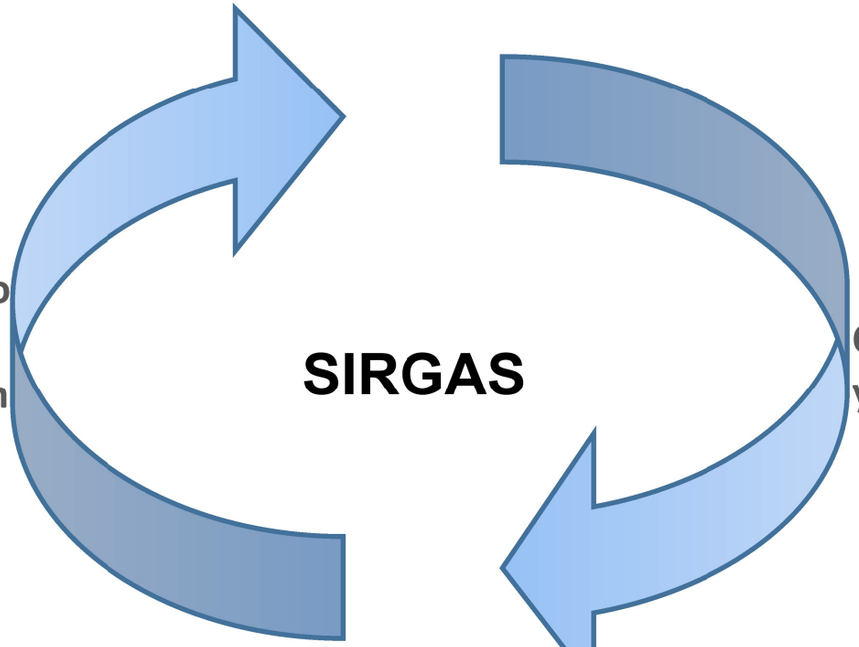
¿Cuál es nuestra misión?

Los objetivos principales son (nuevo estatuto de SIRGAS):

- ✔ Establecer y mantener un marco de referencia geocéntrico continental (red de estaciones con coordenadas geocéntricas [X, Y, Z] de alta precisión y su variación con el tiempo [Vx, Vy, Vz])
- ✔ Densificación del marco de referencia continental en los países de la región SIRGAS, así como la promoción y apoyo en su utilización práctica y científica;
- ✔ Definir, materializar y mantener un sistema de referencia vertical unificado mediante alturas físicas y geométricas consistentes a nivel global;
- ✔ Desarrollar y actualizar un modelo de geoide gravimétrico de cobertura continental;
- ✔ Establecer y mantener una red continental de gravedad absoluta;

¿Cuál es nuestra misión?

Los objetivos específicos:



- Fomentar, entre los Estados Miembros, de homogeneidad de los conocimientos científicos y técnicos involucrados en el ámbito de SIRGAS, incluyendo la actualización profesional y la formación de recursos humanos mediante campañas de difusión y capacitación que permitan socializar el uso de SIRGAS y de los marcos nacionales de referencia que lo densifican;
- Fomentar el intercambio de datos geodésicos en beneficio de la ciencia y de la Geodesia Global y Regional.

Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (cont.)

Estructura organizativa

Chair Sc 1.3.b IAG
(Reference Frames for South and Central America)

Chair Sc 2.4.b IAG
(Gravity and Geoid in South America)

Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (cont.)

Países que integran SIRGAS

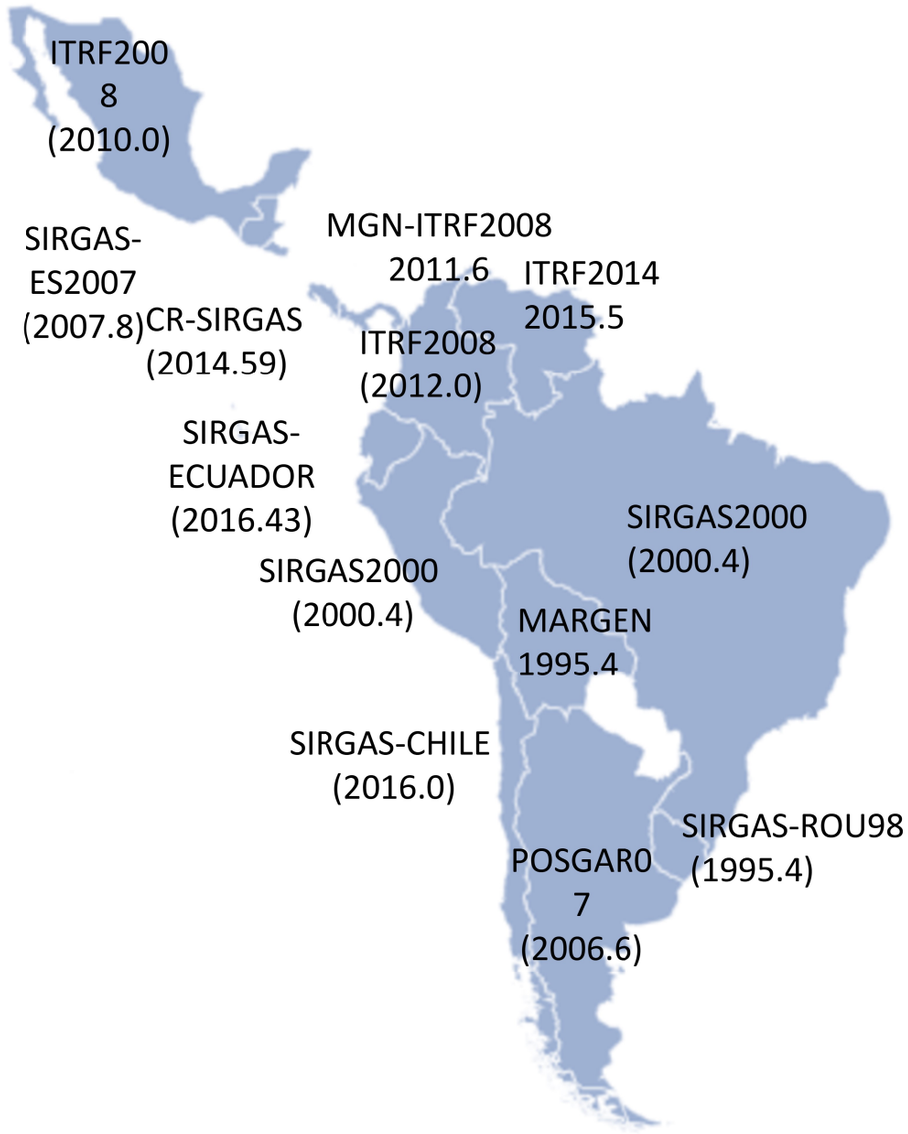
- Argentina
- Bolivia
- Brasil
- Canadá (*nuevo miembro*)
- Chile
- Colombia
- Costa Rica
- República Dominicana
- Ecuador
- El Salvador
- Estados Unidos
- Guatemala
- Guyana
- Guyana Francesa
- Honduras
- México
- Nicaragua
- Panamá
- Paraguay
- Perú
- Uruguay
- Venezuela

SIRGAS está integrado por 23 estados miembros

SIRGAS fue adoptado en 15 países

Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (cont.)

aíses que que adoptaran marco de referencia eocéntrico



Red SIRGAS-CON

Densifica el ITRF en America Latina y el Caribe.

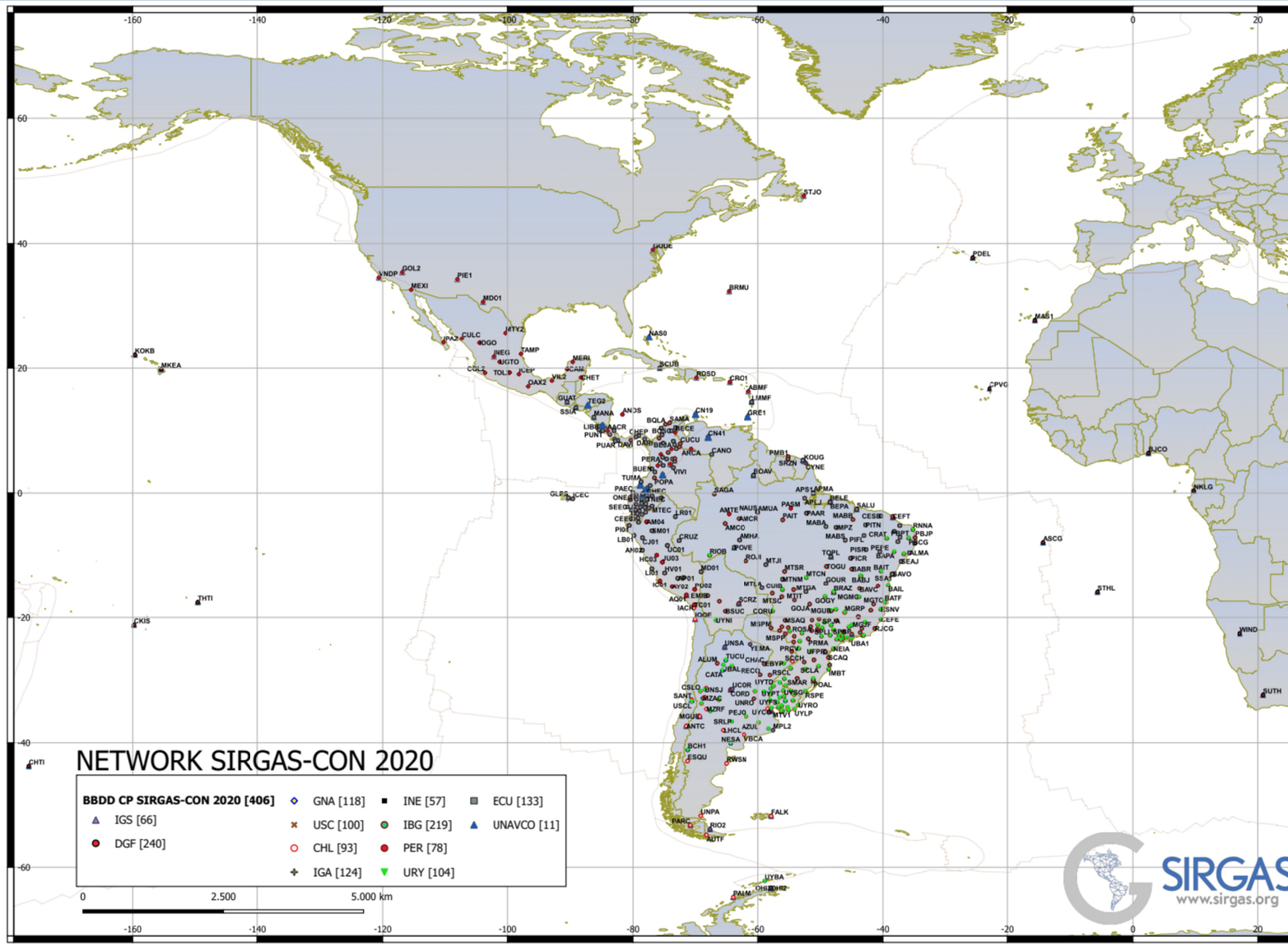
SIRGAS
www.sirgas.org

Redes GNSS de Operación Continua

Centros de datos GNSS

rgentina	RAMSAC
olivia	MARGEN
asil	RBMC
nadá	CACS
ile	IGS, CSN, CAPES
olombia	MAGNA-ECO
osta Rica	RGNA-CR
uador	REGME
tados Unidos	NGS-CORS
éxico	RGNA
namá	Panama-CORS
erú	REGPMOC
ruguay	REGNA-ROU
S	

408 estaciones GNSS



Esquema de procesamiento de datos GNSS

El marco de referencia SIRGAS comprende:

- ✓ una red de referencia continental (SIRGAS-C) como principal densificación del ITRF en la región; y
- ✓ densificaciones nacionales (SIRGAS-N) del marco de referencia continental.

El marco de referencia SIRGAS garantiza:

- ✓ accesibilidad al sistema de referencia global a nivel regional, nacional y local; y
- ✓ total coherencia con el sistema de referencia de las órbitas combinadas de los satélites (GNSS).

www.sirgas.org

Centros de Análisis SIRGAS

Esquema de procesamiento de datos GNSS (cont.)

DGFI-TUM
(Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut – TUM)
→ desde **junio-1996** en condición de IGS RNAAC SIR

IBGE
(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
→ desde **agosto-2008**

IGAC
(Instituto Geográfico Agustín Codazzi)
→ desde **agosto-2008**

IGM
(Instituto Geografico Militar)
→ desde **enero-2010**

IGN
(Instituto Geográfico Nacional)
→ desde **enero-2011**

INEGI
(Instituto Nacional de Estadística y Geografía)
→ desde **enero-2011**

IGM
(Instituto Geográfico Militar)
→ desde **enero-2013**

USCH
(Universidad de Santiago de Chile)
→ desde **mayo-2019**

8 instituciones Americanas
1 institución europeia (DGFI-TUM)

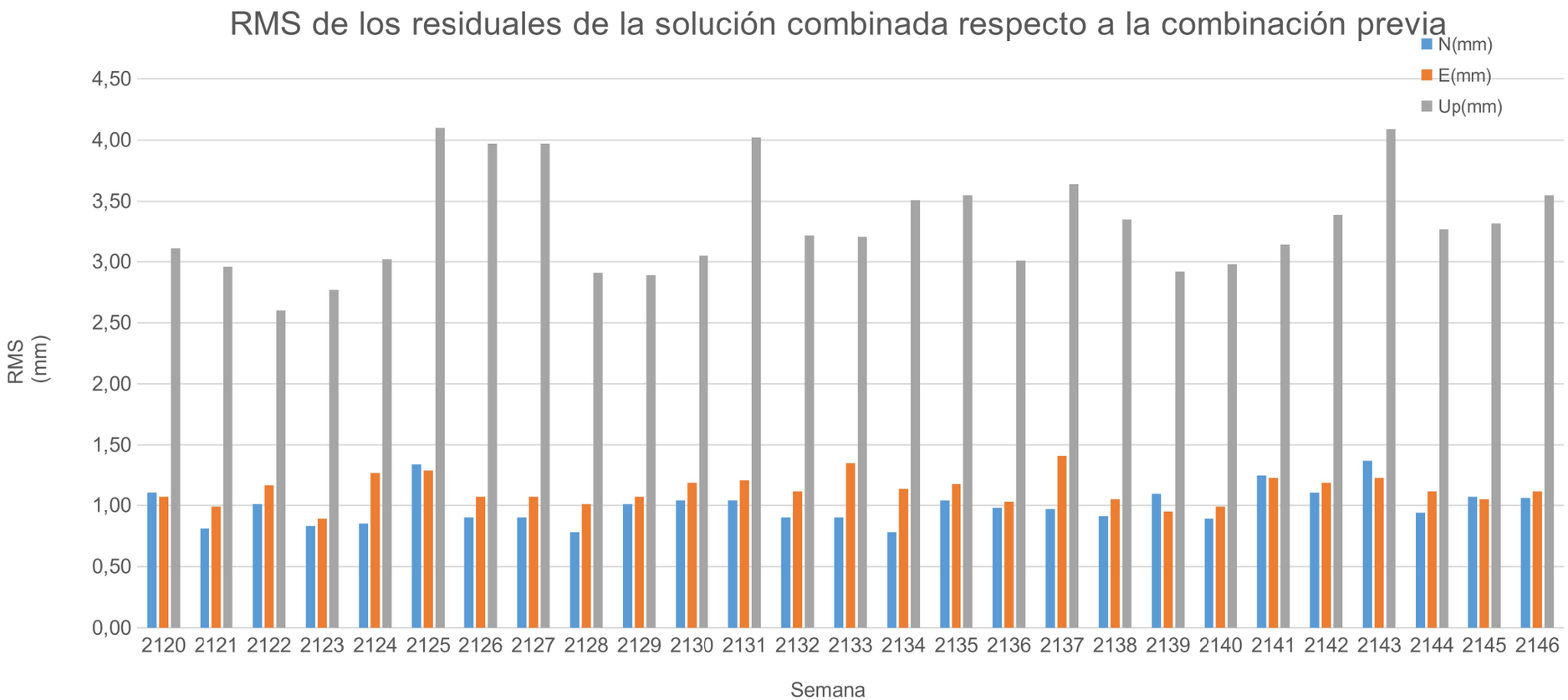
- Cada estación SIRGAS es calculada por tres centros de procesamiento;

Las soluciones individuales son combinadas por los Centros Combinados SIRGAS: IBGE (Brasil) y DGFI-TUM (Alemania);

Software para procesamiento GNSS:

- Argentina y México
  - GAMIT / GLOB K 10.71
- Brasil, Chile (2), Colombia, Ecuador, Uruguay
  - Bernese GNSS 5.2

Consistencia interna de soluciones semanales

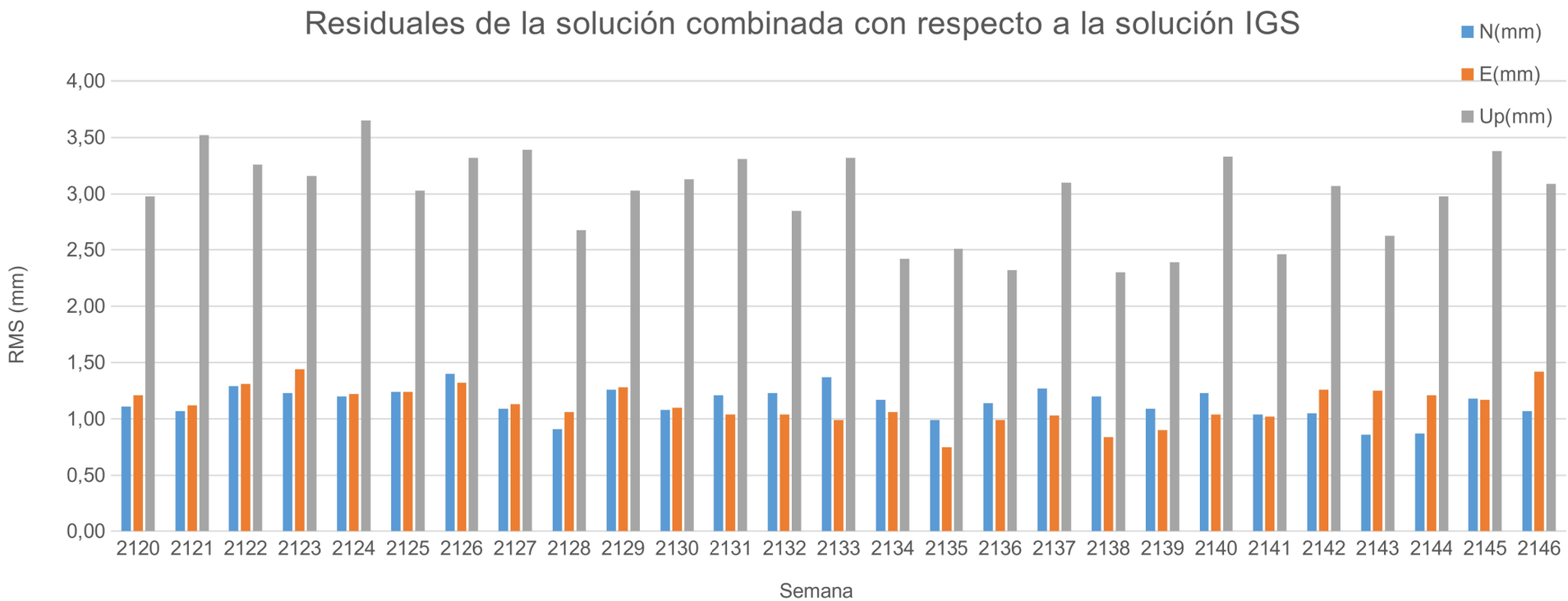


Calidad de las soluciones

± 1 mm [N,E]

± 3 mm [U]

Consistencia externa de soluciones semanales



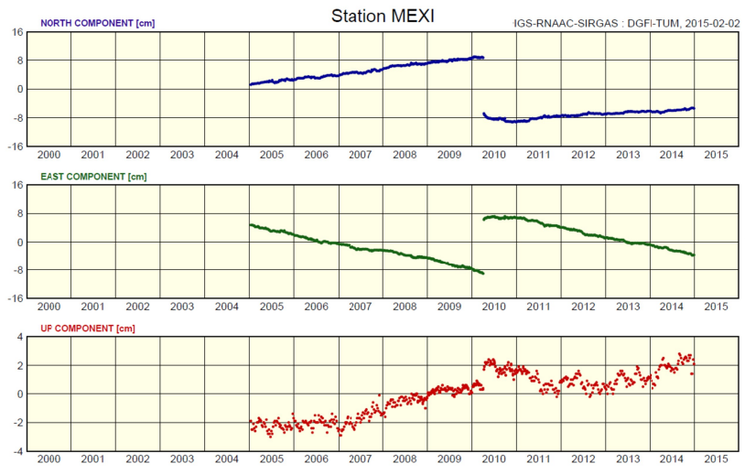
Calidad de las soluciones

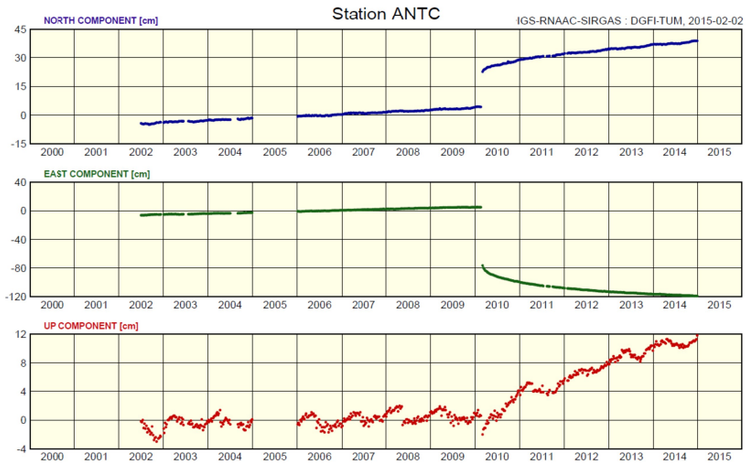
± 1 mm [N,E]

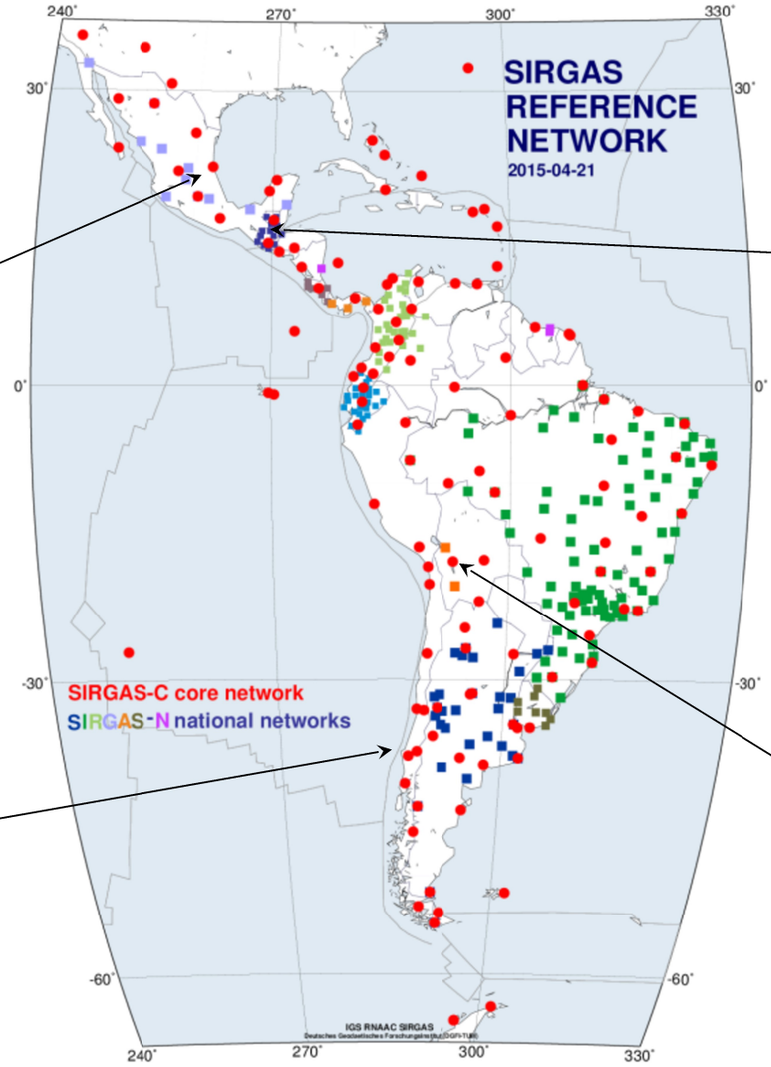
± 3 mm [U]

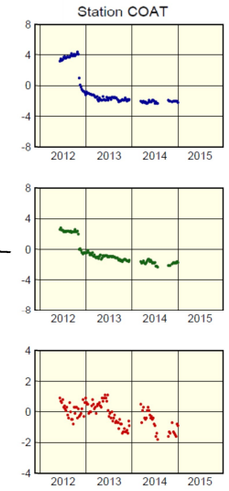
Series Temporales

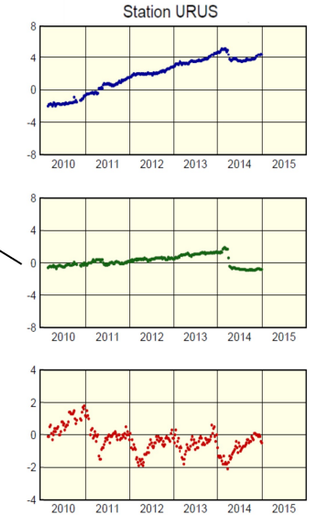
Efectos sísmicos en series temporales de estaciones de referencia





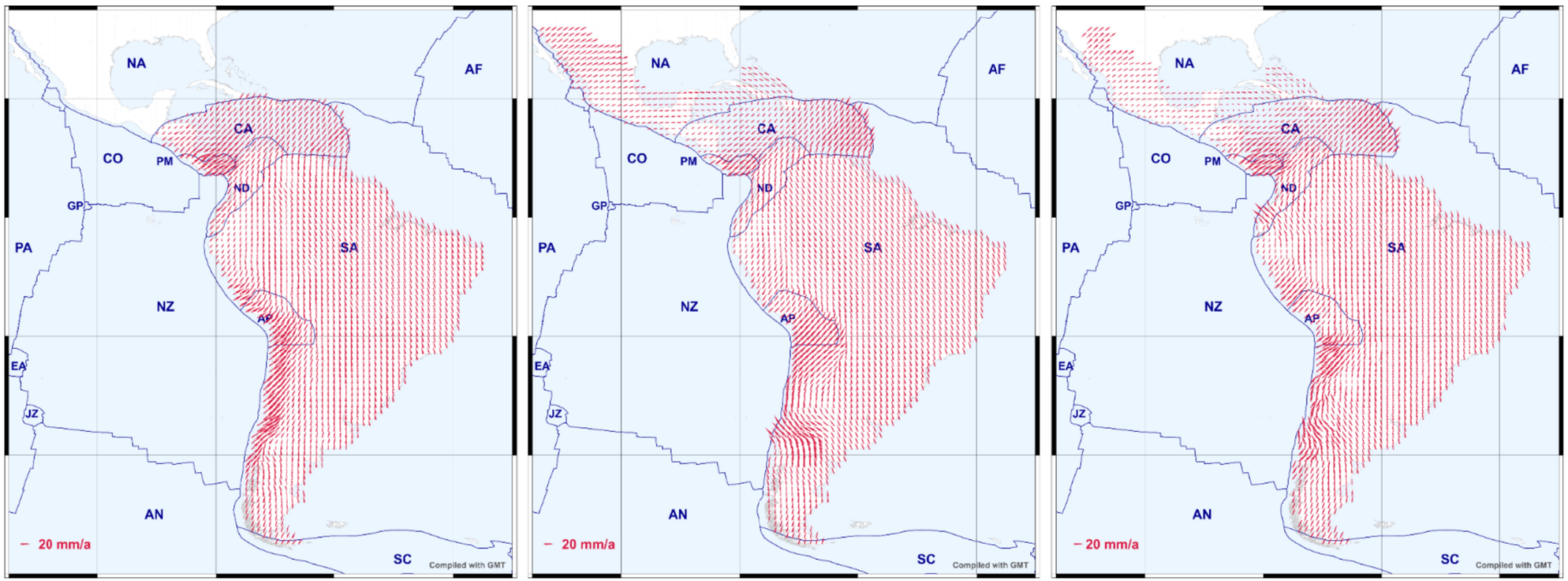






Modelos de velocidades de SIRGAS

Modelo	Realizaciones	Región	Estaciones	Validez
VEMOS2009	SIR09P01	56°S to 20°N	96 stations (400 aditional velocities)	January 2, 2000 to june 30, 2009
VEMOS2015	SIR15P01	55°S, 110°W to 32°N, 35°W	456 stations	March 14, 2010 to abril 11 2015
VEMOS2017	SIR17P01	55°S, 120°W to 32°N, 35°W	515 stations	January 1, 2014 to January 28, 2017



VEMOS2009 (Drewes H., Heidbach O., 2012) VEMOS2015 (Sánchez L., Drewes H., 2016) VEMOS2017 (Drewes H., Sánchez L., 2017)

Productos SIRGAS: Soluciones multianuales (coordenadas y velocidades) SIRGAS-CON

Reprocesamiento de la red SIRGAS en ITRF2014 (DGFI-TUM)
SIRGAS Regional Network Associate Analysis Centre – IGS RNAAC SIRGAS

- ✓ Para garantizar la estabilidad y confiabilidad a largo plazo del marco de referencia SIRGAS, es necesario **reprocesar los datos GNSS históricos utilizando un ITRF único a través del tempo;**
- ✓ **1070** semanas reprocesadas entre noviembre 2018 y agosto 2020;
- ✓ Se dispone de ecuaciones normales semilibres (diarias y semanales) comprendidas entre las semanas **1042 a 2112 (02.01.2000 a 04.07.2020);**
- ✓ TRF: IGS14/ITRF2014 (igs14.atx, orbitas y relojes del JPL)
- ✓ Junto a las aprox. **500 estaciones SIRGAS**, se incluyeron estaciones globales del IGS colocalizadas con VLBI y SLR (apoyo a la iniciativa de incorporar datos SLR para materializar el marco de referencia;

Productos SIRGAS: Retardo cenital total

Estimación del Retardo Cenital Total(ZTD)

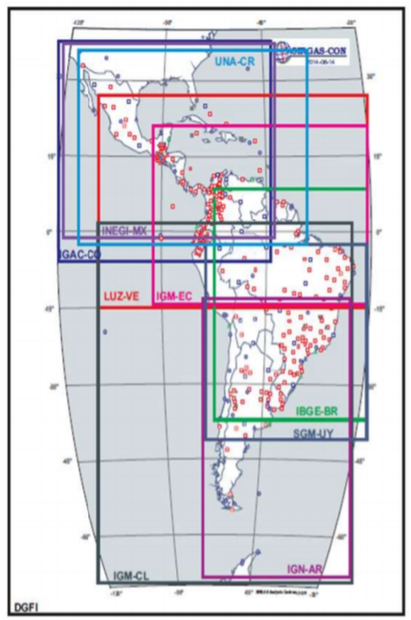
	PROCESAMIENTO OPERACIONAL DE SIRGAS	
Software	Bernese v5.2	
Observaciones	GPS+GLONASS	
Intervalo	30 segundos	
Orbitas y EOP	Final IGS products	igswwwwD.sp3 igswwww7.erp
Modelo troposférico a-priori y función de mapeo	Pre-procesamiento	GMF (Böhm et al., 2007) and VMF (Böhm et al., 2006)
	Estimación de parametros	VMF + Gridded VMF1 coefficients
	Estimación de gradientes horizontales	CHENHER: Modelo descripto en Chen and Herring (1997) (24 hours)
	Intervalo entre parametros	1 o 2 hs

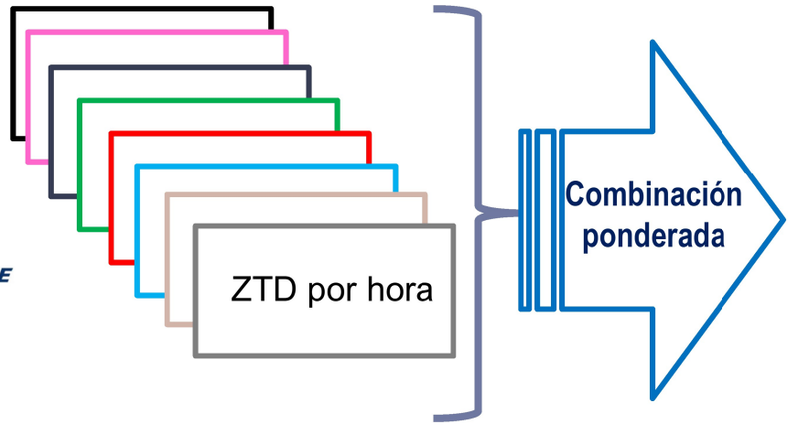
Neutral Atmosphere Analysis Centre

Facultad de Ingeniería, UNCuyo, Umaza, **from 2013**

Productos SIRGAS: Retardo cenital total

Los ZTDs estimados por los CP son el INPUT para la combinación semanal que genera los productos finales de SIRGAS





24 ZTDs /día /estación
8 Centros de procesamiento de SIRGAS
3 valores de ZTD /día /estación

Productos troposféricos de SIRGAS

ZTD p/h ; σ_{ZTD}

≅ 400 estaciones GNSS

≅ 7 años (2014-2020)

Filtro aplicado

σ > 0.02 m

Descartados

Precisión interna de los ZTDs finales de SIRGAS

RMS medio = 1mm

(en el 90% de los valores estimados)

Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Morichetti P.V. (2020). **Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America**. International Association of Geodesy Symposia Series, Vol 152, open access, doi: 10.1007/1345_2020_121

Disponibilidad de los productos troposféricos de SIRGAS

http://www.sirgas.org/en/tropo-delays/

SIRGAS

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

- Home
- Presentación
- Organización +
- Sistema de referencia
- Realizaciones +
- Red de referencia +
- Redes nacionales
- Productos
- Eventos
- Publicaciones
- Presentaciones
- Web, Links & Contacto +

hosted by:

Retrasos troposféricos

Dentro del procesamiento semanal de la red **SIRGAS de Operación Continua (SIRGAS-CON)**, los Centros de Análisis SIRGAS estiman rutinariamente **retrasos troposféricos cenitales (ZPD) con una frecuencia horaria de muestreo**. Estos retrasos son los datos primarios en la generación de los **productos troposféricos de SIRGAS**, los cuales propocionan soluciones semanales combinadas del retardo troposférico para cada estación SIRGAS. Dado que la determinación de los ZPD se basa en las soluciones semanales de la red SIRGAS-CON, estaciones no incluídas en dichas soluciones son omitidas en la determinación de los ZPD.

Los productos troposféricos SIRGAS son generados por el **Centro de Análisis SIRGAS para la Atmósfera Neutral (CIMA)**, que es operado por la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo** (UNCuyo, Mendoza, Argentina) en cooperación con la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Juan Agustín Maza** (Mendoza, Argentina) y con el apoyo del **Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas** de la Argentina (CONICET).

Los productos troposféricos SIRGAS se generan semanalmente con una latencia de 30 días. Estos están disponibles en formato SINEX TRO desde enero de 2014 en archivos diarios con un intervalo horario de muestreo y pueden descargarse de

ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS-ZPD/

Mayor información en:

Mackern M.V., Mateo M.L., Camisay M.F., Morichetti P.V. (2020). **Tropospheric Products from High-Level GNSS Processing in Latin America**. International Association of Geodesy Symposia Series, Vol 152, open access, doi: 10.1007/1345_2020_121.

El uso de los productos troposféricos de SIRGAS implica citar esta referencia bibliográfica.

Follow us

AÑO / DIA /

IGS SINEX format
SSSSddd0.yyzpd.gz

SIRGAS-RT

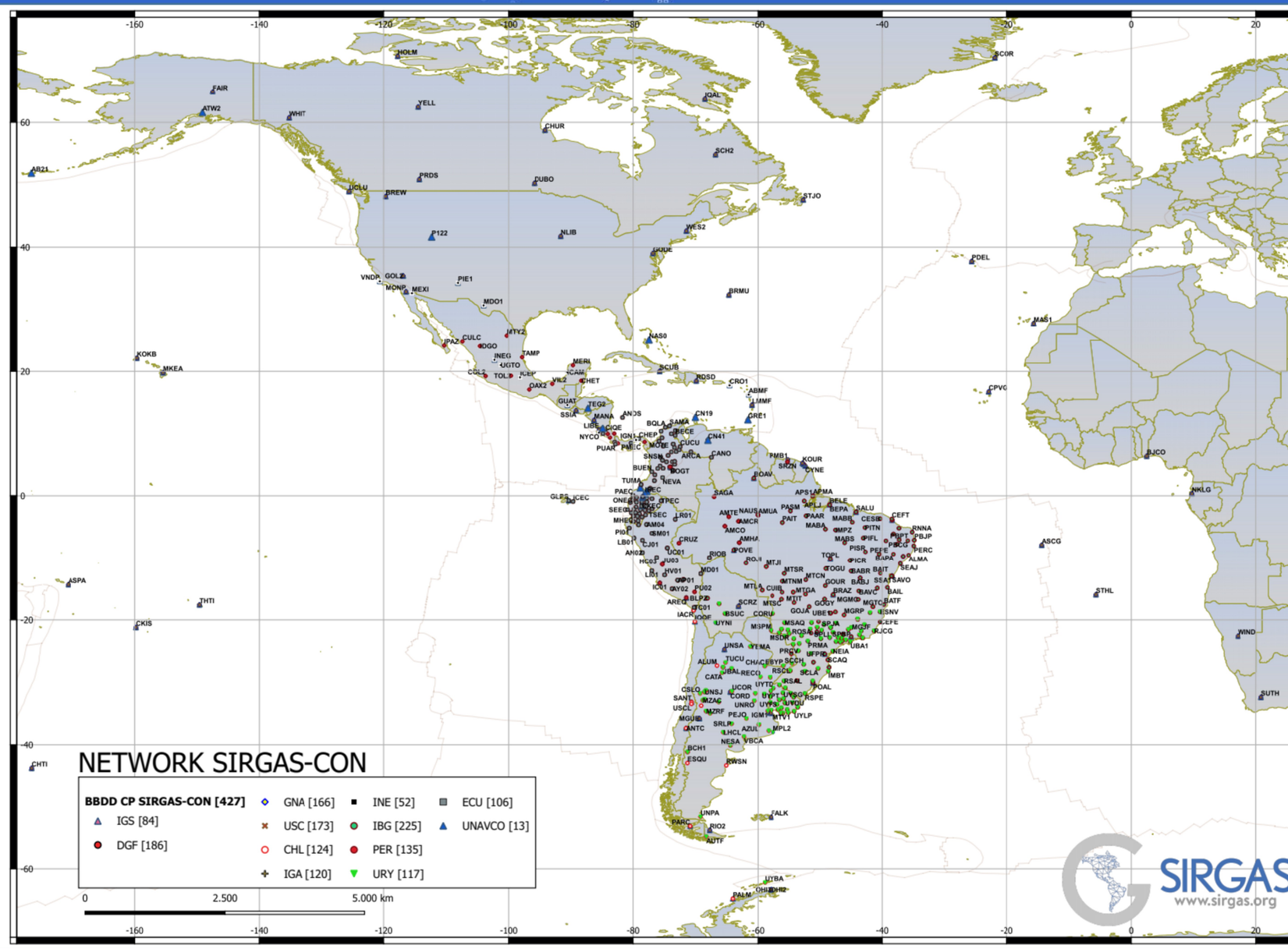
El objetivo principal de este proyecto es la evaluación de las capacidades de SIRGAS para la distribución en tiempo real de correcciones GNSS utilizando el protocolo NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol).

Argentina	RAMSAC-NTRIP
Brasil	RBMC-IP
Uruguay	REGNA-IGM
Ecuador	IGM-NTRIP
IGS	IGS-RT

Grupo de Trabajo I: Red SIRGAS-CON

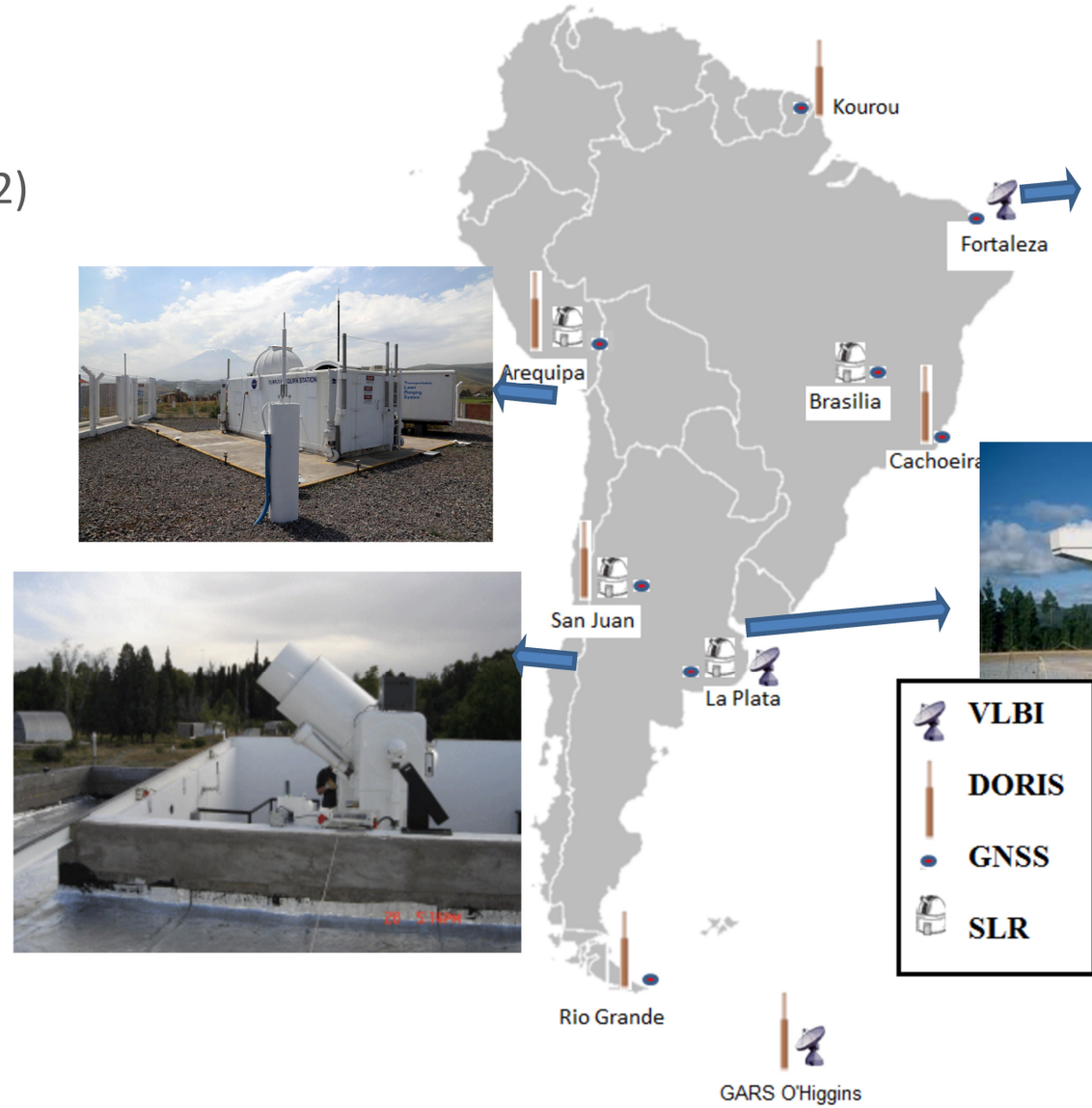
Densifica el ITRF en LAS AMERICAS

- Inclusión de las estaciones de la America del Norte en SIRGAS-CON
- Centro Experimental IGM-Perú
- Nuevo Centro Experimental de IGN-Costa Rica



Observatorios geodésicos de América del Sur

- AGGO→ SLR/VLBI/GNSS
- Fortaleza → VLBI/GNSS (new VLBI in 2022)
- Brasilia → SLR
- Arequipa → SLR/DORIS/GNSS
- OAFA→ SLR/DORIS/GNSS (VLBI in 2021?)
- Kourou → DORIS/GNSS
- Cachoeira Paulista → DORIS/GNSS
- Rio Grande → DORIS/GNSS



Imagenes:
https://ilrs.gsfc.nasa.gov/network/stations/index.html
https://ids-doris.org/doris-system/tracking-network/site-logs.html
http://www.iag-ggos.org/

Grupo de Trabajo II – a nivel nacional

Actividades 2021

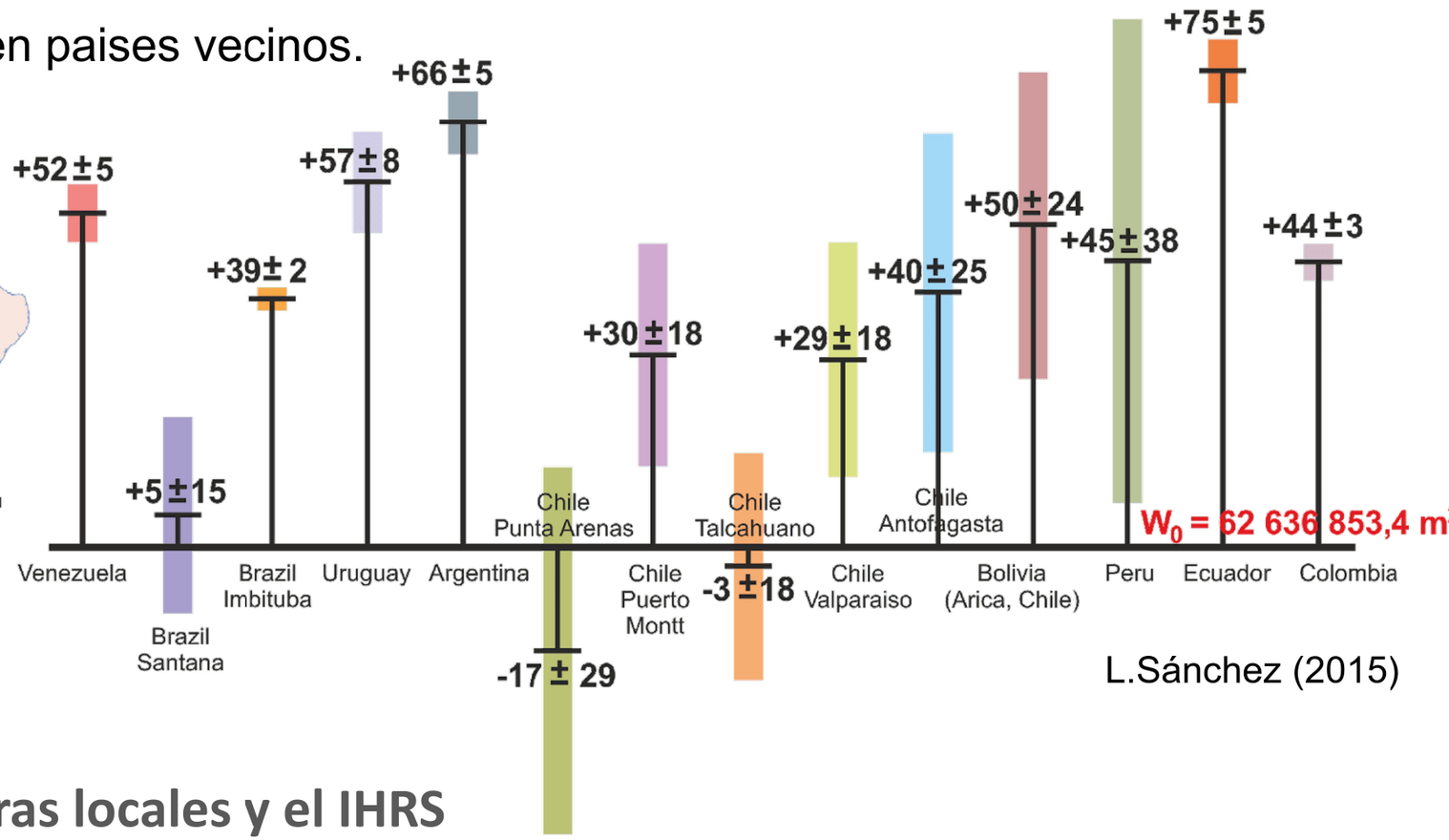
- ✓ Encuesta Regional de Desarrollo de Capacidades Geodésicas para evaluar el nivel de competencia de los estados miembros y sus necesidades de formación y educación
- ✓ obtener parámetros de transformación actualizados entre las realizaciones SIRGAS actuales y anteriores

Objetivos a largo plazo

- ✓ **Fortalecer la infraestructura geodésica existente**
- ✓ **Fortalecer y desarrollar los niveles de competencia científica y técnica de las agencias cartográficas**
- ✓ **Facilitar la implementación, adopción y uso de las realizaciones ITRF / SIRGAS**
- ✓ Desarrollo de **documentos internos con procedimientos y / o protocolos estandarizados** a ser implementados dentro del GT para facilitar las actividades y objetivos
- ✓ Diseño y desarrollo de **aplicaciones web y paneles de control para facilitar el uso de productos desarrollados por SIRGAS**

Grupo de Trabajo III : Actividades desarrolladas

- Recopilado la información sobre alturas (físicas y geométricas) y gravedad de los países miembros.
- Identificado y trabajado en problemas como la falta de conexión, errores, etc.
- Coordinar campañas de nivelación en paises vecinos.



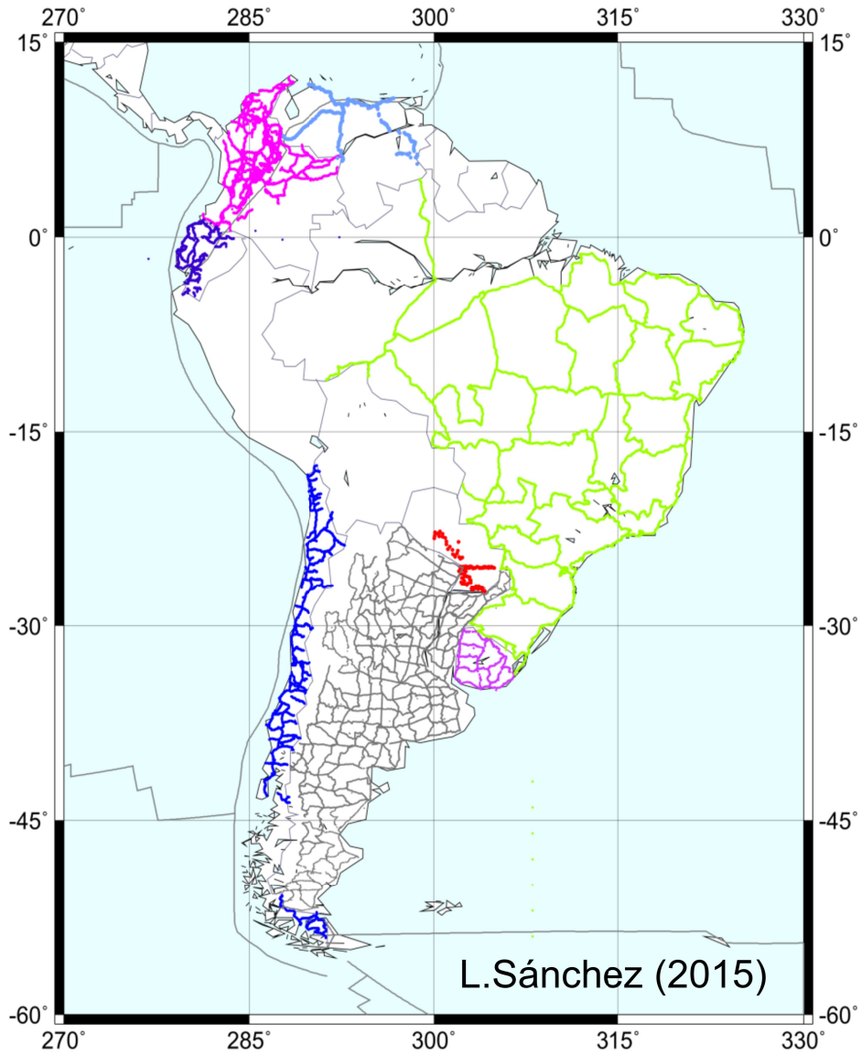
Discrepancias entre los sistemas de alturas locales y el IHRS

SIRGAS
www.sirgas.org

Ajuste de las redes verticales en términos de números geopotenciales

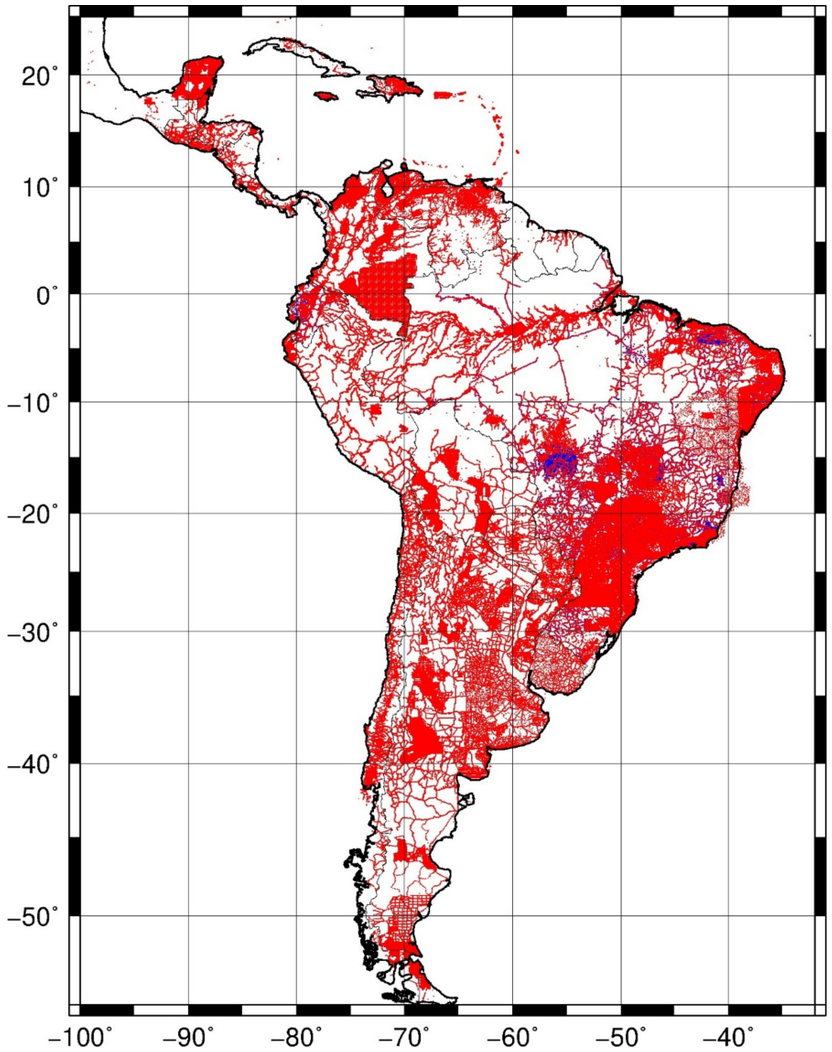
País	Mareógrafo		Red vertical			Estándares	
	Nombre	Época del nmm	Extensión [km] 1. orden 2. orden	Cantidad de puntos 1. orden 2. orden	Medición	Corrección mareas	Corrección gravimétrica
Argentina	Mar del Plata Desde 1950 PARN: Punto Altimétrico de Referencia Normal (Tándil), 200 km v. Pegel	1924	64 000 13 000	16 320 7 600	1940 - 2010	?	Ortométrica ?
Bolivia	Arica (Chile)	?	25 388 1 923	12 208 865	?	?	?
Brasil	Imbituba Santana	1949 ?	160 000	65 000	1945 - 2010	no	Ortométrica con gravedad normal
Chile	Valparaíso Arica Antofagasta San Antonio Talcahuano Pto Montt Pta Arenas	1941 ? ? ? ? ? ?	11 550 1 750	8 592 1 138	1950 - 2010	?	?
Colombia	Buenaventura	1951	18 900 6 500	13 065 5 938	1950 - 2010	no	Antes de 1985 ortométrica con gravedad normal
Ecuador	La Libertad	1948	11 200 200	7 500 150	1950 - 2010	?	?
Paraguay	?	?	?	?	?	?	?
Peru	La Punta	1954	? ?	8 723 2 168	?	?	?
Uruguay	Montevideo	1948	3 883 3 836	1 347 835	1950 - 2010	no	ortométrica
Venezuela	La Guaira	?	?	?	?	?	?

L.Sánchez (2014)

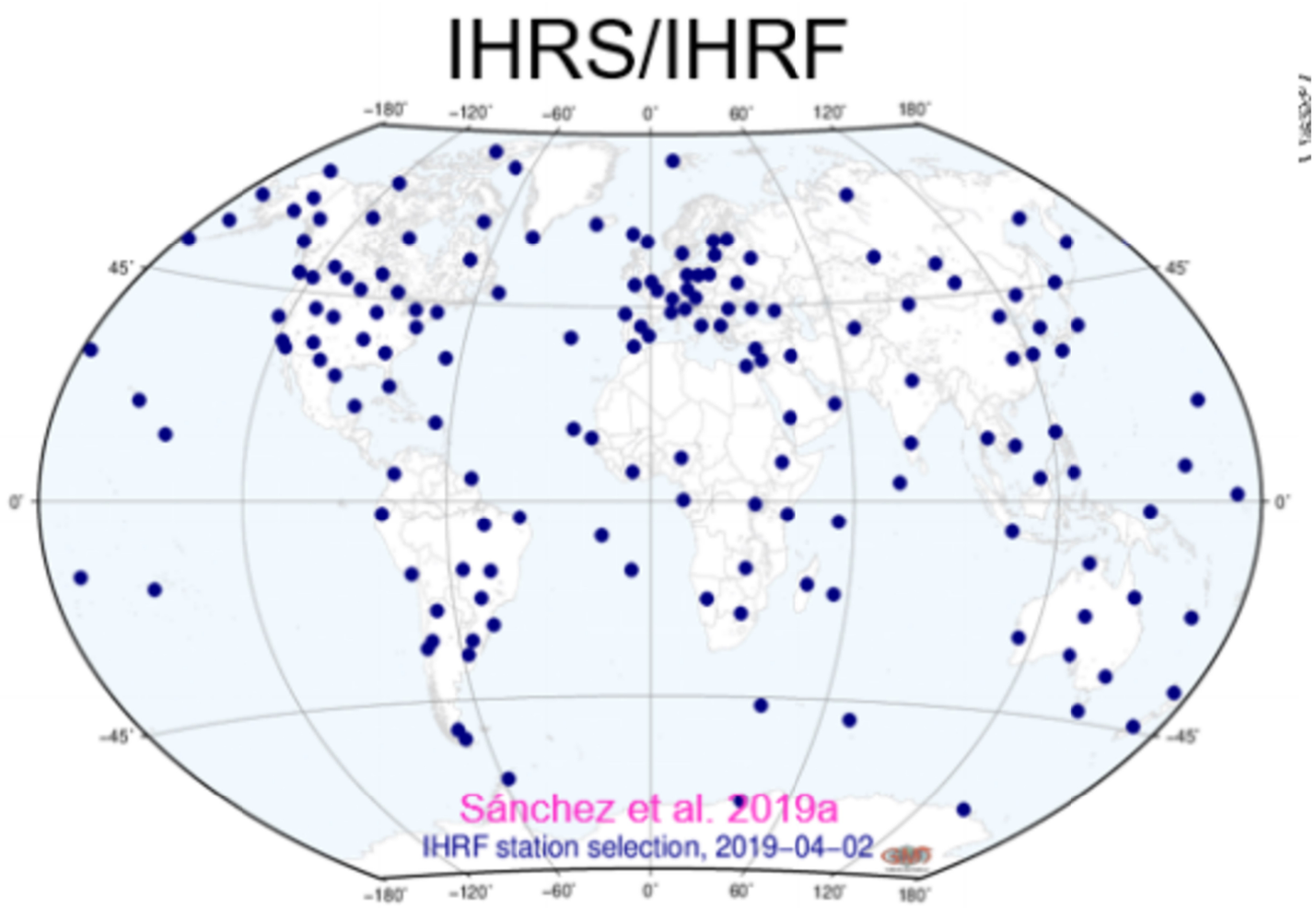


Grupo de Trabajo III : Inventario de las observaciones de gravedad

Puntos gravimétricos en América del Sur → 977,821



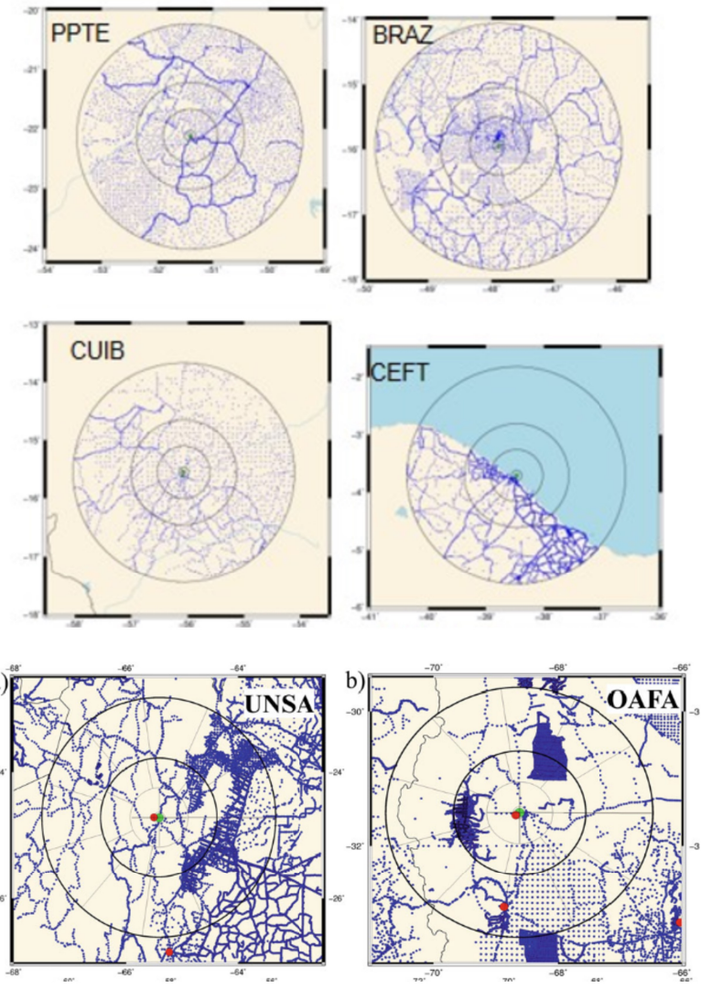
Grupo de Trabajo III : Sistema Internacional de Alturas (IHRS)



Principales acciones para implementar el IHRS y su realización IHRF:

1. Selección de estación para la red de referencia IHRF
2. Definición de una estrategia para la determinación de coordenadas primarias [XP, ẊP, WP, ẆP] de alta precisión en las estaciones de referencia IHRF
3. Identificación y preparación de estándares y convenciones para asegurar la coherencia entre la definición (i.e. IHRS) y la realización (i.e. IHRF); es decir, se necesita una documentación equivalente a las convenciones IERS.

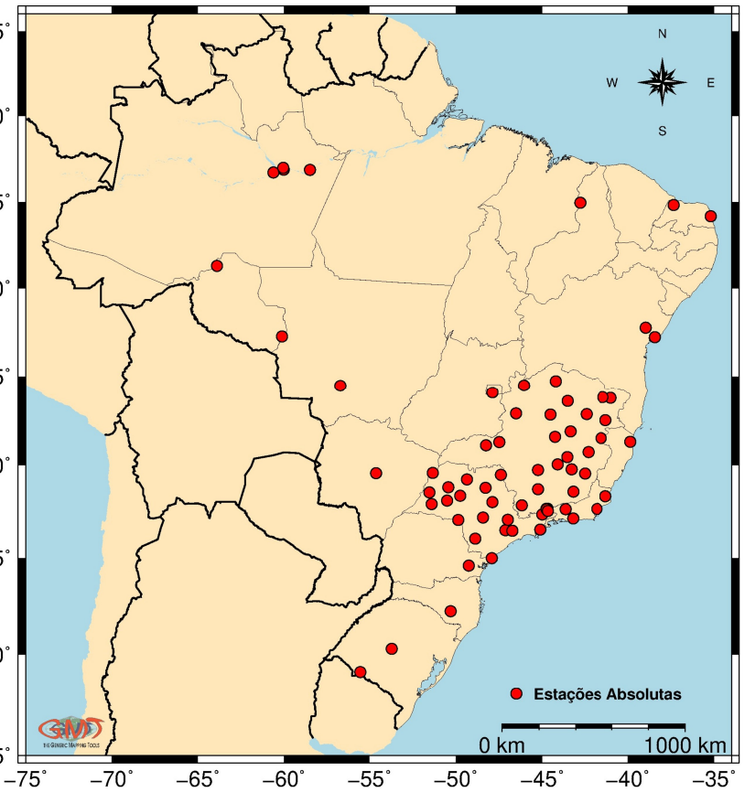
International Height Reference Frame (IHRF) (cont.)



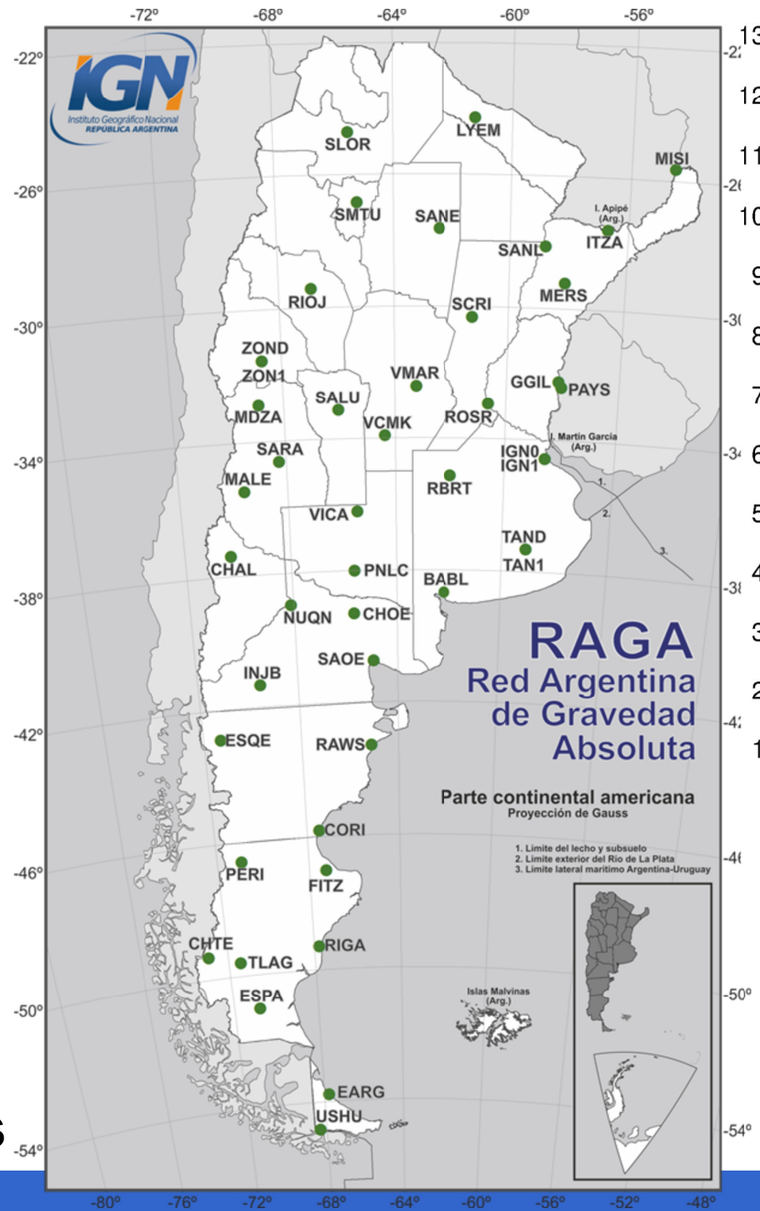
Para realizar la vinculación de los sistemas de alturas existentes al IHRS/IHRF:

- Nivelación geodésica (junto con gravimetría) de estaciones SIRGAS de operación continua. Ideal si las estaciones seleccionadas para el IHRF son niveladas.
- Posicionamiento GNSS preciso en los mareógrafos de referencia: algunos ocupado durante SIRGAS2000, otros con estación SIRGAS de operación continua. En el primer caso se necesitan ocupaciones repetitivas para determinar las velocidades en la estación SIRGAS2000. En ambos casos se requiere el desnivel entre mareógrafo y estación GNSS.
- Conexión de las redes verticales de países vecinos por medio de nivelación geodésica.
- Combinación de alturas elipsoidales, números geopotenciales, registros mareográficos, observaciones de altimetría satelital y modelado detallado del campo de gravedad terrestre.

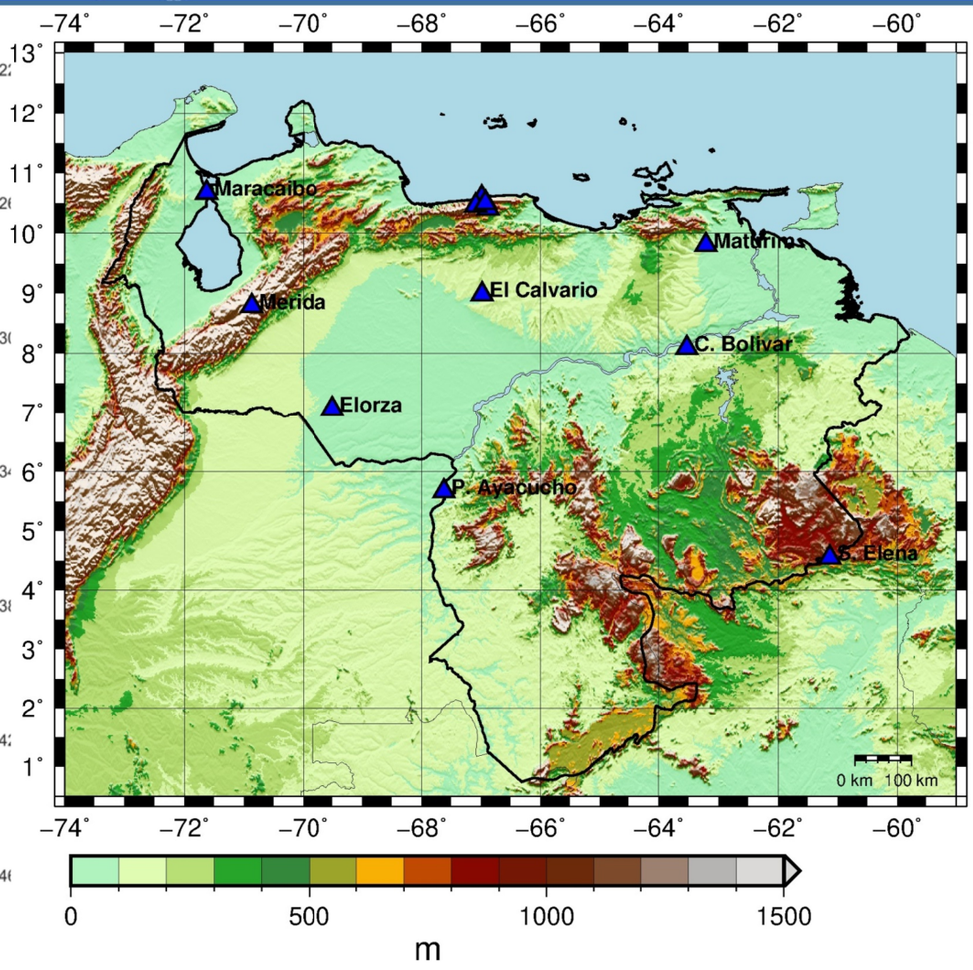
Grupo de trabajo III : Situación de la gravedad absoluta (IGRS/IGRF)



Brasil, **72 estaciones**

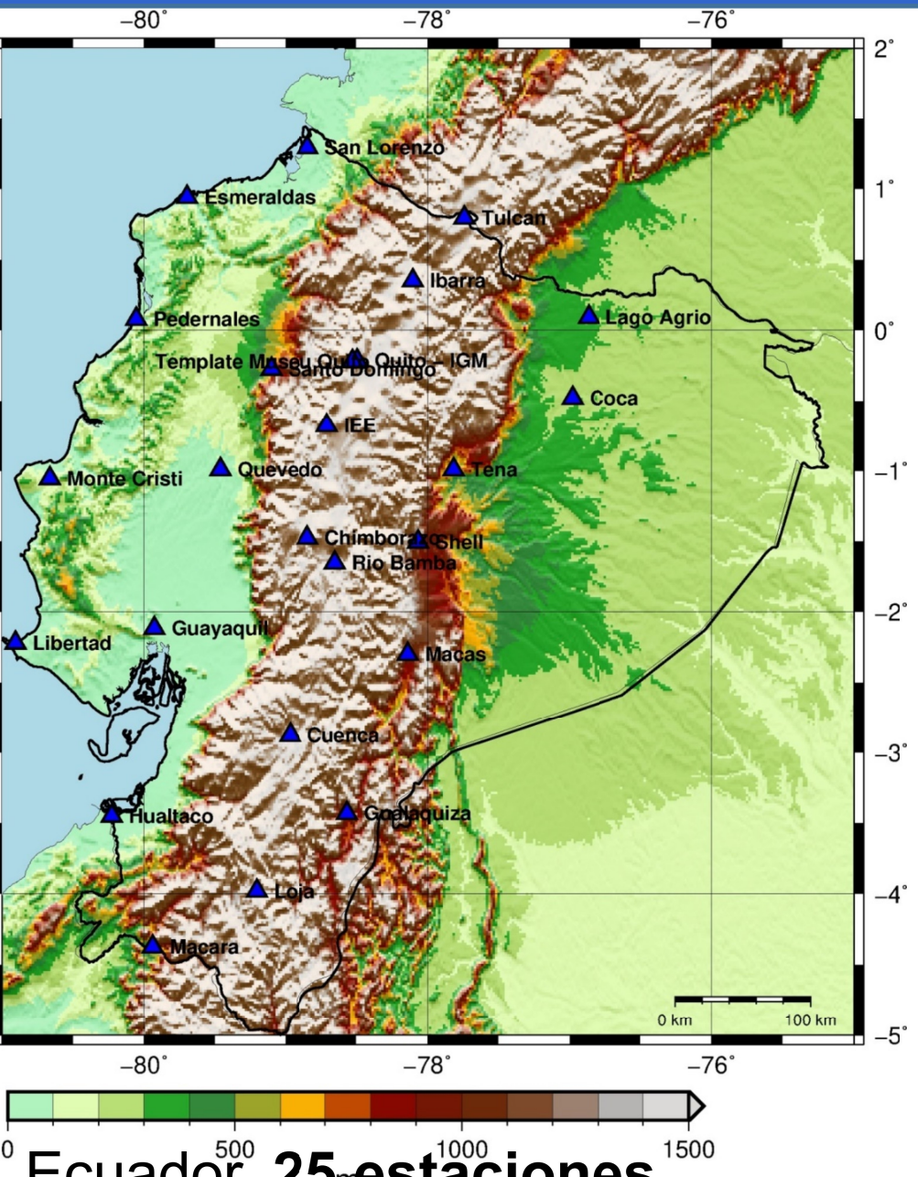


Argentina, **35 estaciones**

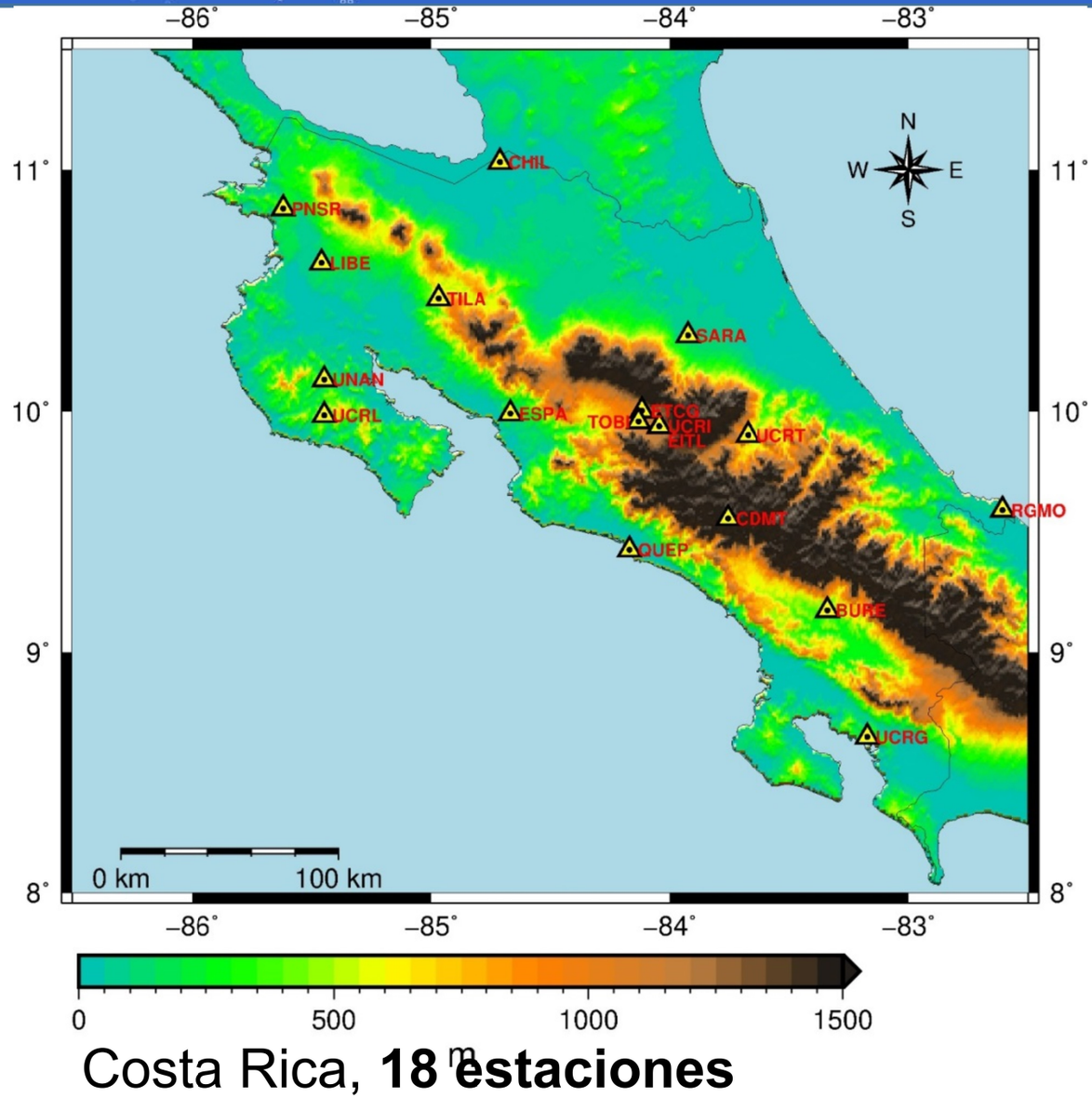


Venezuela, **13 estaciones**

Grupo de trabajo III : Situación de la gravedad absoluta (IGRS/IGRF)

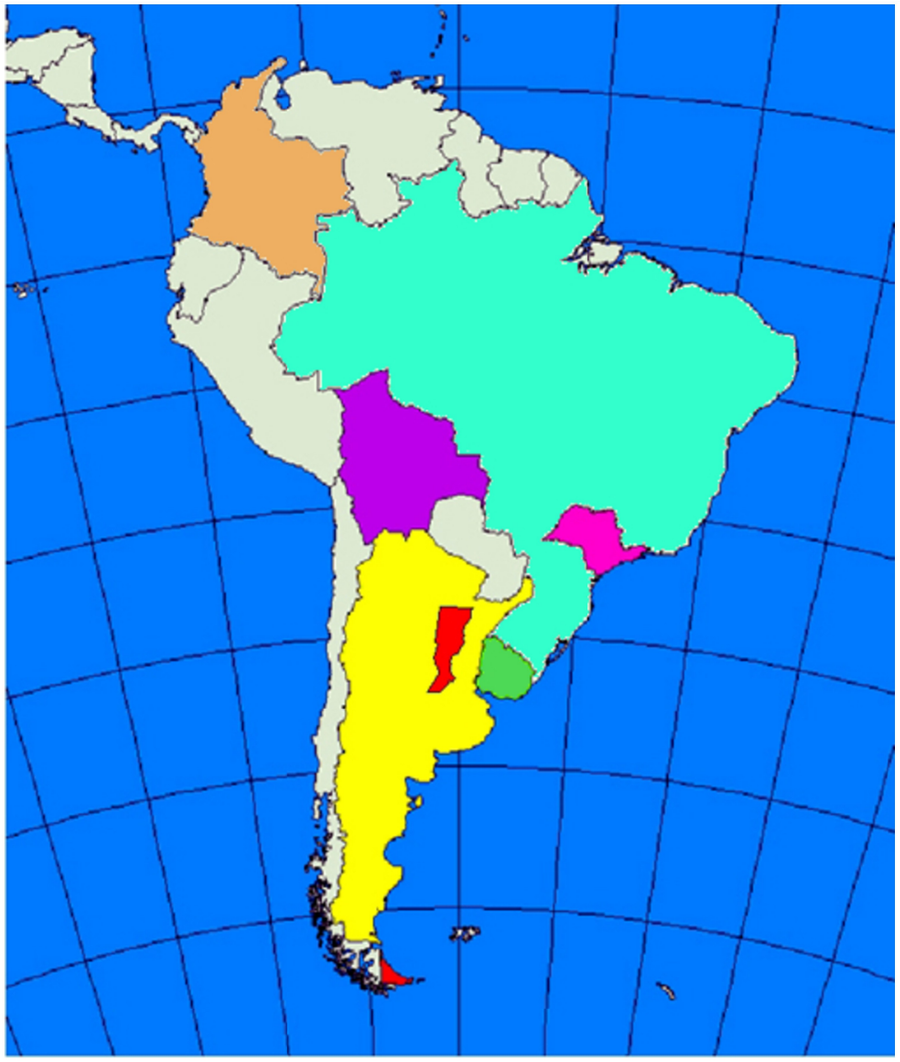


Ecuador, **25 estaciones**

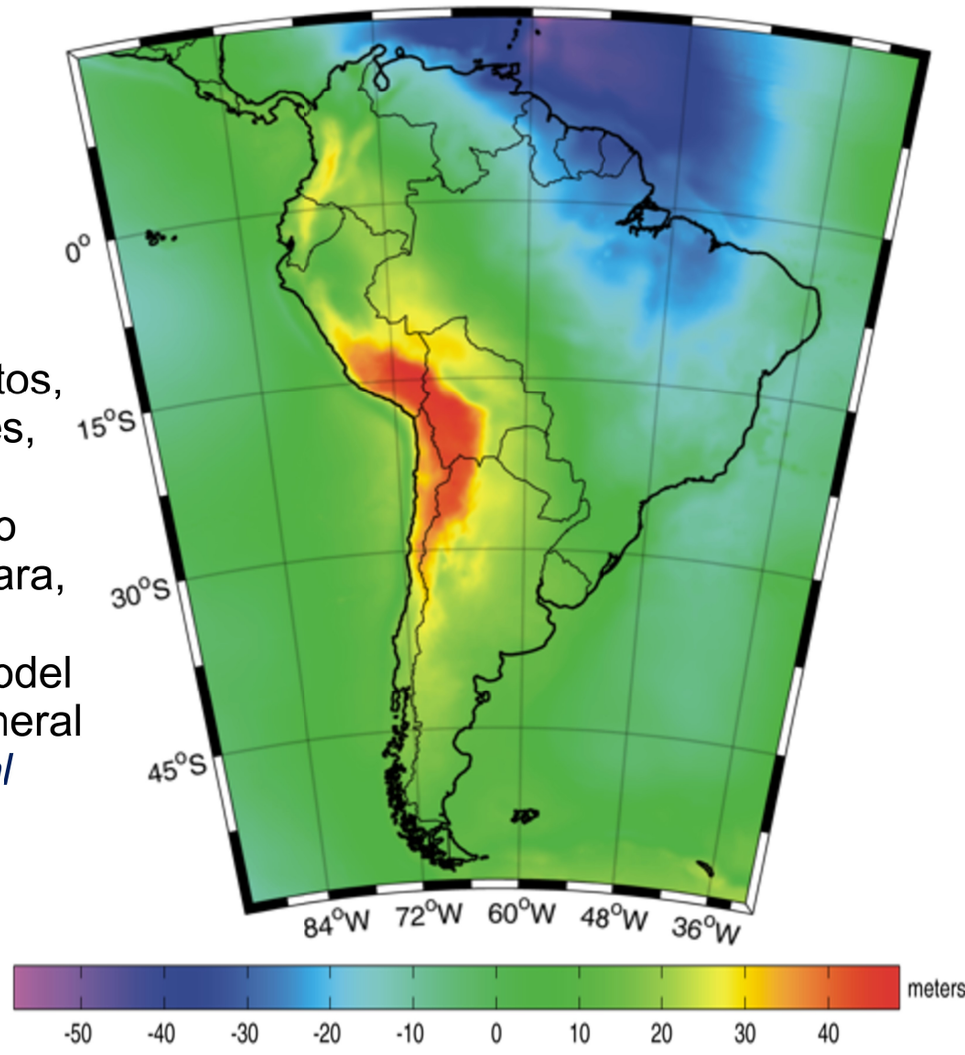


Costa Rica, **18 estaciones**

Grupo de trabajo III : Modelado de geoide en América del Sur



GEOID2015
D. Blitzkow, A.C.O.C. de Matos, G. do Nascimento Guimaraes, M.C. Pacino, E.A. Lauria, M. Nunes, C.A. Correia e Castro Junior; F. Flores, N.O. Guevara, R. Alvarez, J.N. Hernandez (2016). Gravity and geoid model for South America. EGU General Assembly 2016, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-1626.



nternational Service for the Geoid (ISG) website.
ttp://www.isgeoid.polimi.it/index.html

El proyecto: *Contributions of high-resolution gravity models in Latin America*

Julio 2020 hasta octobre 2021

UFU
Gabriel Guimarães (GT-III)

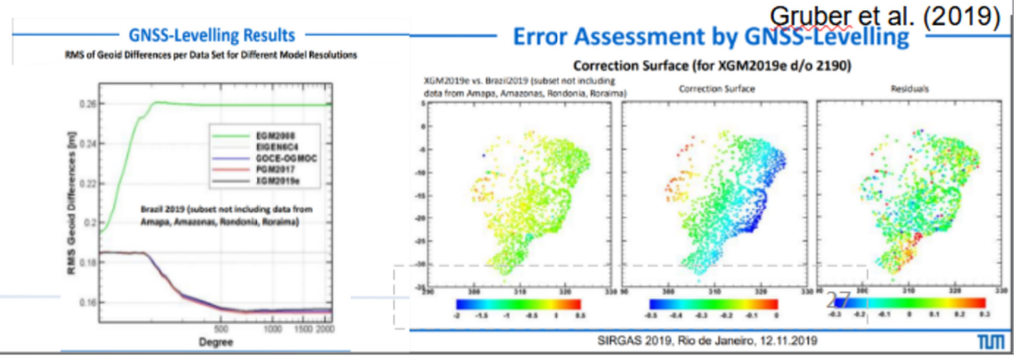
Dr. Thomas Gruber

SIRGAS
Países miembros

Este proyecto tiene como objetivos :

- Evaluar los modelos de geoides y estaciones de nivelación/GNSS disponibles en América Latina utilizando modelos de campo de gravedad de alta resolución.
- Combinar datos satelitales y terrestres para contribuir al cálculo del potencial en las estaciones IHRF.

Gruber et al. (2019)



Grupo de Trabajo III : Actividades futuras

Hay mucho trabajo por delante…

- Densificación gravimétrica para el IHRF (y también para el geoide/casi-geoide).
- Implantación de estaciones absolutas.
- Enlace GNSS y nivelación (estaciones IHRF).
- Cruces internacionales (nivelación).
- Ajuste de las redes de nivelación basados en números geopotenciales.
- El IGRS/IGRF

Para 2021

- Elaboración de documentación técnica: guía para realizar mediciones gravimétricas.
- Desarrollo de un repositorio con las mediciones de gravedad absoluta
- Desarrollo de un repositorio de modelos de geoide nacionales y regionales

Actividades científicas y de capacitación

Webinarios SIRGAS 2020:

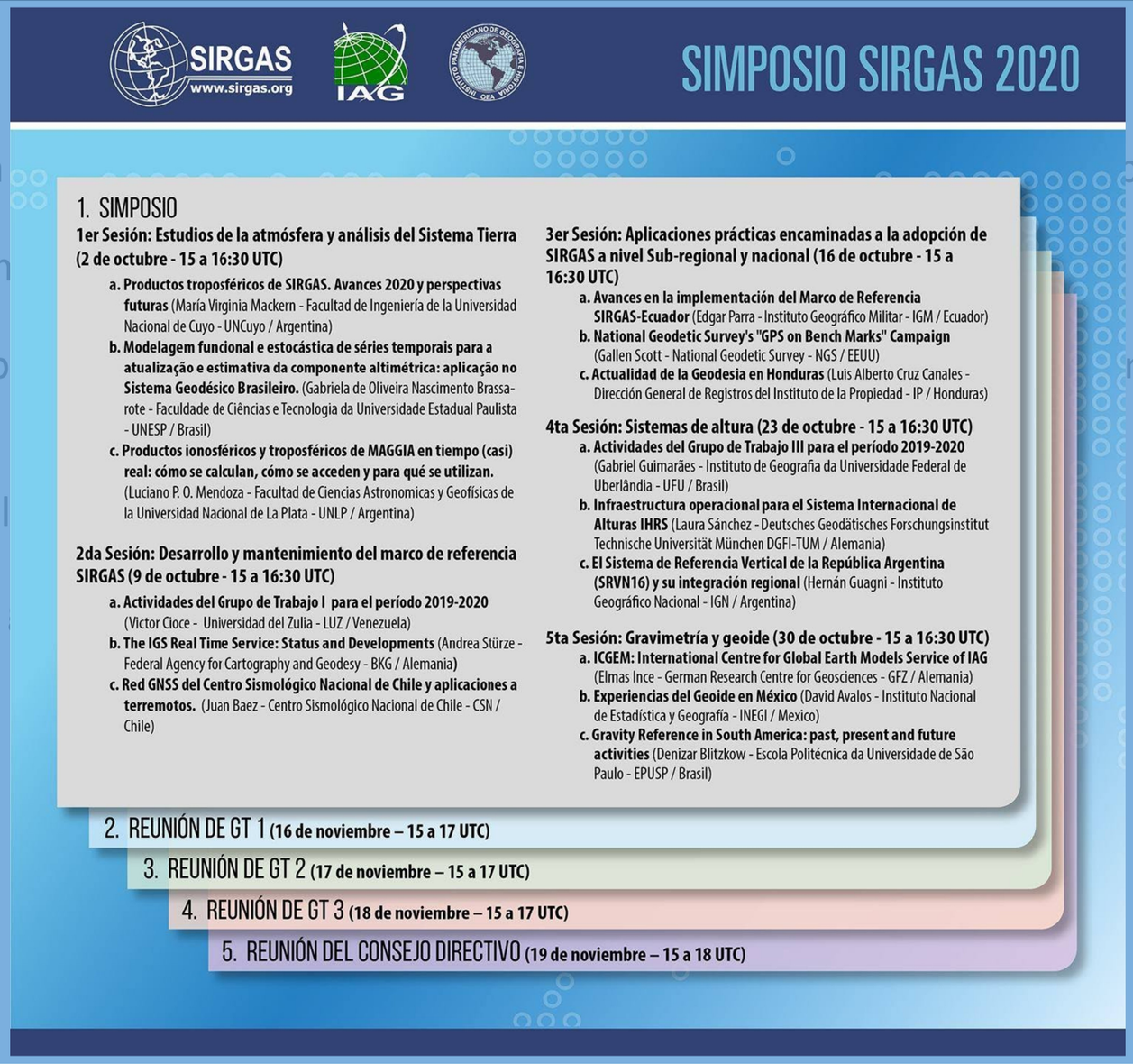
- Actividades y productos de los Centros de Análisis SIRGAS
- Procesamiento de datos GNSS con software libre, a partir de estaciones SIRGAS
- Sistema Internacional de Alturas IHRS
- Procesamiento con NRCan PPP en entorno Windows Desktop

@SirgasAmericas

Actividades científicas y de capacitación (cont.)

Simposio SIRGAS 2020

- 1ra Sesión: “Estudios de la … participantes
- 2da Sesión: “Desarrollo y n… → 122 participantes
- 3ra Sesión: “Aplicaciones p… …nal y nacional” (16 de octubre) → 101 part.
- 4ta Sesión: “Sistemas de al…
- 5ta Sesión: “Gravimetría y …



Actividades científicas y de capacitación (cont.)

Webinar SIRGAS más reciente

El nuevo Sistema de Referencia Internacional de Gravedad (IGRS) y su materialización (IGRF)

Hartmut Wziontek[1,*], Sylvain Bonvalot[2,**] y Ezequiel D. Antokoletz[3,4,1]

[1]*Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG), Alemania.*
[2]*International Gravimetric Bureau (BGI), Francia*
[3]*Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas – Universidad Nacional de La Plata, Argentina*
[4]*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina*

[*]*Presidente del IAG JWG 2.1.1: Establishment of an International Gravity Reference Frame*
[**]*Vice-presidente del IAG JWG 2.1.1: Establishment of an International Gravity Reference Frame*

Webinar SIRGAS – 05 de Marzo de 2021

¡Gracias!

¿Preguntas?

www.sirgas.org

@SirgasAmericas