

# -Red geodésica SIRGAS-CON: Acceso al Marco de Referencia Terrestre Internacional en las Américas

*J.A. Tarrío<sup>1</sup>, S.Alves<sup>2</sup>, A. da Silva<sup>2</sup>, L. Sanchez<sup>3</sup>, Jesarella Inzunza<sup>1</sup>, Fernando Isla<sup>1</sup>, A. Martínez<sup>4</sup>, Óscar Rodríguez<sup>5</sup>, Emilio Aleuy<sup>6</sup>, Hernán Guagní<sup>7</sup>, Guido González<sup>8</sup>, Gustavo Caubarrère<sup>9</sup>*

*<sup>1</sup>Universidad de Santiago de Chile, Chile, <sup>2</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brasil, <sup>3</sup>Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM), Alemania, <sup>4</sup>Instituto Geográfico Militar (IGM), Ecuador, <sup>5</sup>Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia, <sup>6</sup>Instituto Geográfico Militar (IGM), Chile, <sup>7</sup>Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México, <sup>8</sup>Instituto Geográfico Nacional (IGN), Argentina, <sup>9</sup>Instituto Geográfico Militar (IGM), Uruguay*

**Round Table on Geophysical and Geodetic Monitoring Networks**

**17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society  
4th Brazilian Seismological Congress**

**Digital Revolution: Expanding the limits of Geophysics**

**17<sup>th</sup>**

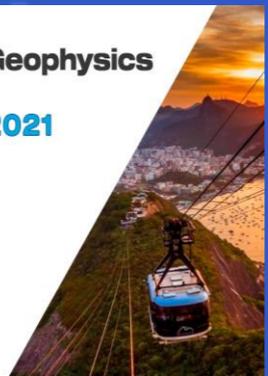
**8-11 November 2021  
Online Event**

International Congress of the **Brazilian Geophysical Society & Expogef**

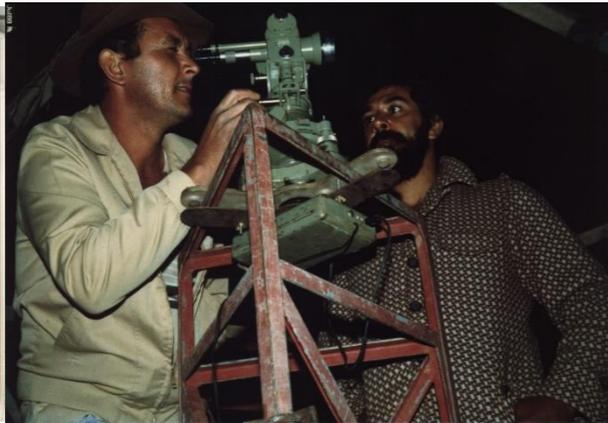
4th Brazilian Seismology Symposium

III SBGGM

3rd Brazilian Marine Geology and Geophysics Symposium



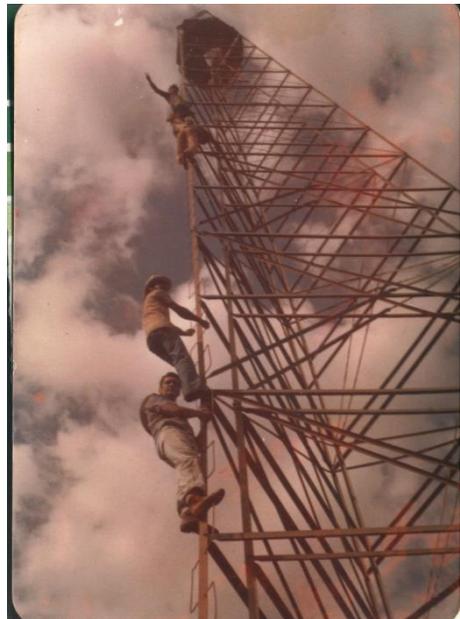
# Contexto



Fuente: Sonia Costa 2021. Torres Bilby, IBGE.



Fuente: NOAA: <https://photolib.noaa.gov/Collections/Geodesy/emodule/519/eitem/5906>



Fuente: Sonia Costa 2021. Torres Bilby, IBGE.



Fuente: David Cisneros 2021. Pto Pasivo, campaña SIRGAS 2000, ciudad La Libertad, IGM Ecuador.

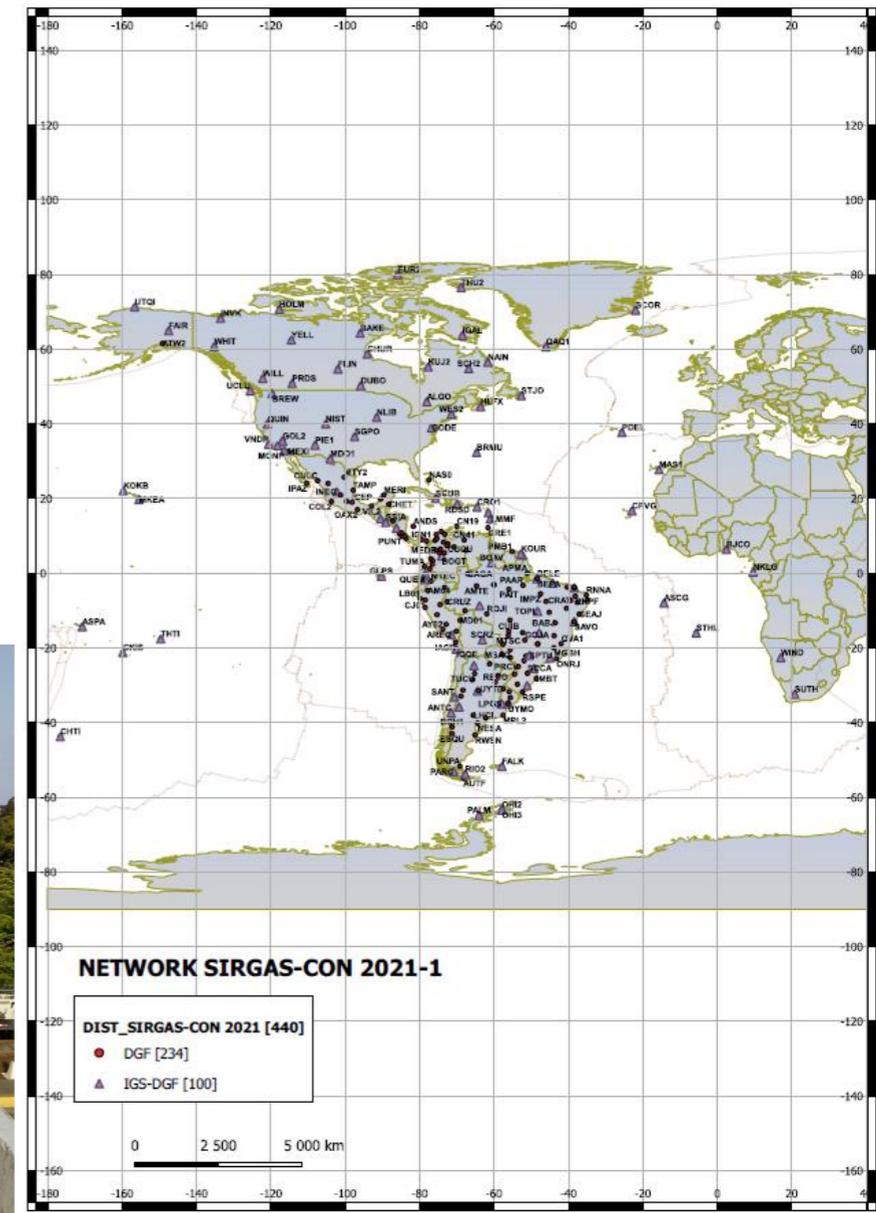
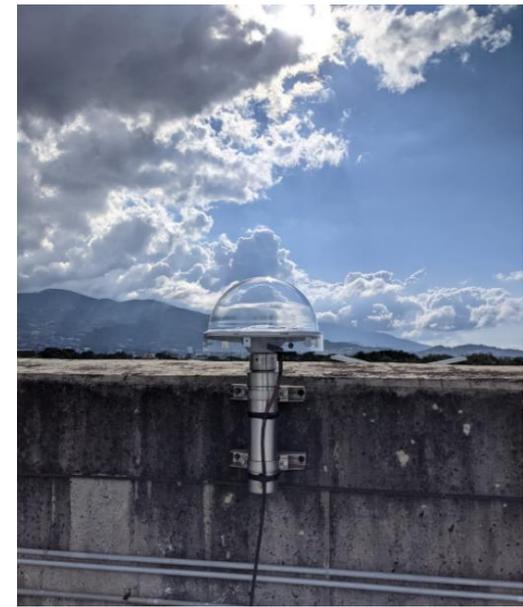
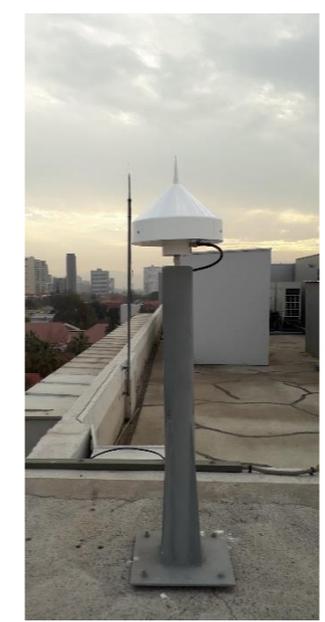


Fuente: Fernando Isla 2021. T4, Centro Procesamiento USC



Fuente: Fisher et. al. 1969: El Geode Sudamericano referido a varios sistemas de referencia

# Contexto





- **Importancia de la Geodesia**
- **Jerarquía Geodésica Mundial (Geometría)**
- **Acerca de SIRGAS**
- **GT I (Sistema de Referencia)**
  - **Realizaciones**
  - **Instalación y Operación de la Red SIRGAS-CON**
  - **Procesamiento y análisis de la Red SIRGAS-CON**
  - **Productos**

## Procesos que modifican la superficie terrestre

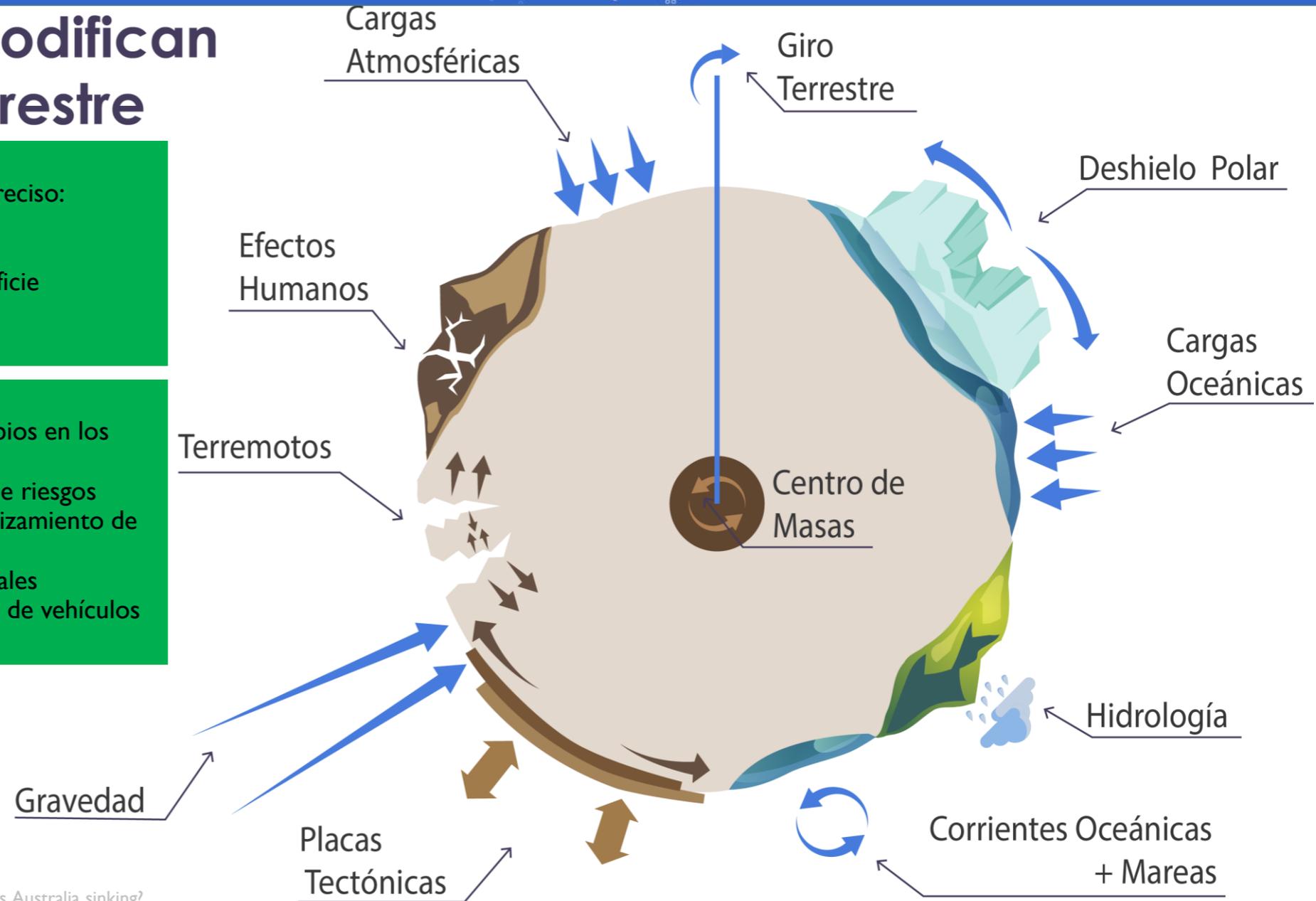
Toma de decisiones adecuada

Buena información Geoespacial y Soporte Geodésico preciso:

1. Cambios en el nivel del mar
2. Movimientos de la corteza
3. Subsistencia y levantamiento de superficie
4. Control de capas de hielo
5. Cambios en Glaciares

El milímetro importa:

- Cambios en el nivel del mar, masas de hielo y cambios en los glaciares
- Mitigación de desastres naturales y minimización de riesgos
  - Volcanes, terremotos, inundaciones, deslizamiento de laderas.
- Precisión del marco de Referencia en datos espaciales
  - Agricultura de precisión, minería, guiado de vehículos autónomos



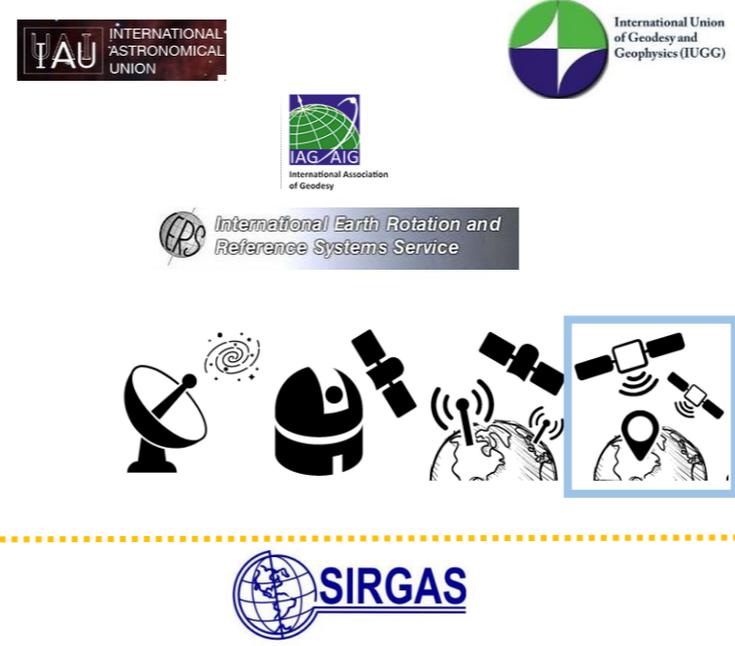
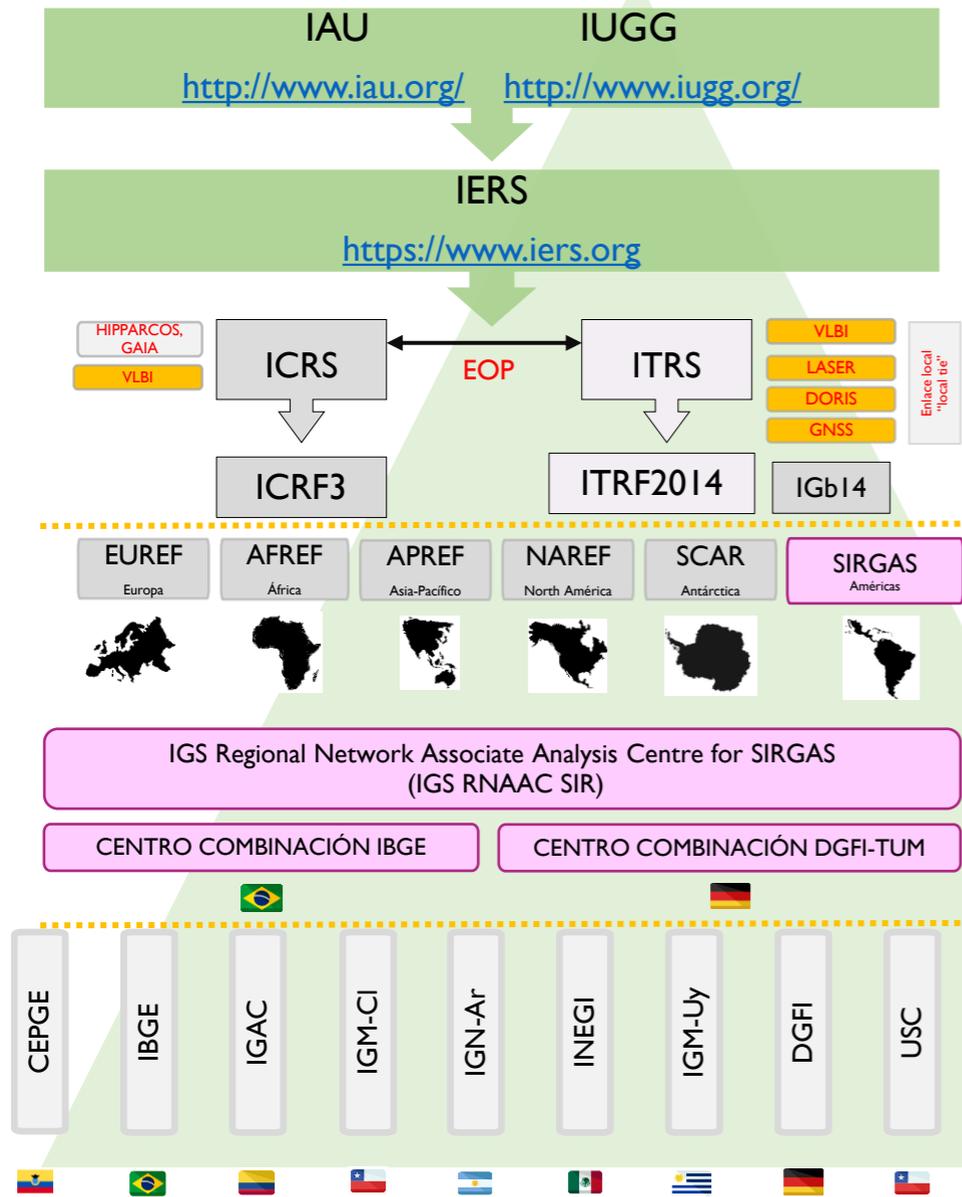
**GGOS**  
Global Geodetic  
Observing System

Fuente: Riddel 2020 modificado, What goes up must come down: Why is Australia sinking?

# Jerarquía Geodésica Mundial (Geometría)



REFERENCE FRAMES-Geometry mayo 2020



GLOBAL



CONTINENTAL-SIRGAS-C



SIRGAS es una componente de la **Comisión I (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 (I.3b Regional Reference Frame for South and Central América). Igualmente, SIRGAS se desempeña como un grupo de trabajo de la **Comisión de Cartografía del IPGH**.

REGIONAL-SIRGAS-N

# Acerca de SIRGAS. ¿Qué es?



SIRGAS es una organización sin ánimo 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 con un **marco de referencia geocéntrico unificado** llamado SIRGAS: Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. (hoy actualizado a 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.
- Actualmente, el objetivo principal de la organización SIRGAS es **promover** el crecimiento, desarrollo, sustentabilidad y uso adecuado del marco de referencia **SIRGAS en América Latina**



Asunción, Paraguay, 1993



Río de Janeiro, Brasil, 2019

Fuente: Drewes 2019, The Role of the IAG Sub-commissions in Latin America

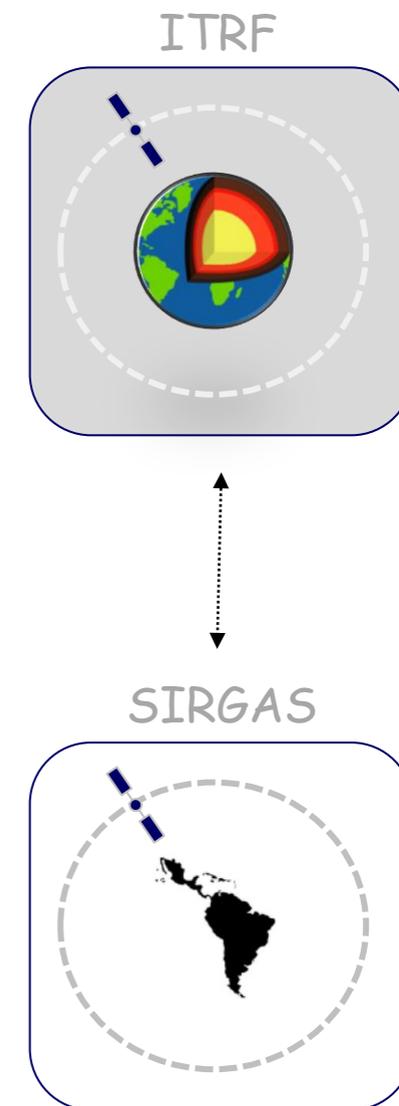
## Sistema de Referencia Geodésico

**SIRGAS** como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS (**International Terrestrial Reference System**) y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF (**International Terrestrial Reference Frame**) en América Latina y El Caribe. Las posiciones de las estaciones SIRGAS están asociadas a una **época específica de referencia** y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un **modelo continuo de velocidades** que cubre todo el continente.

Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia (ITRF), **son compatibles en el nivel centimétrico**. La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de **densificaciones nacionales**, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

La conversión de coordenadas geocéntricas a coordenadas geodésicas se adelanta utilizando los parámetros del elipsoide **GRS80**.

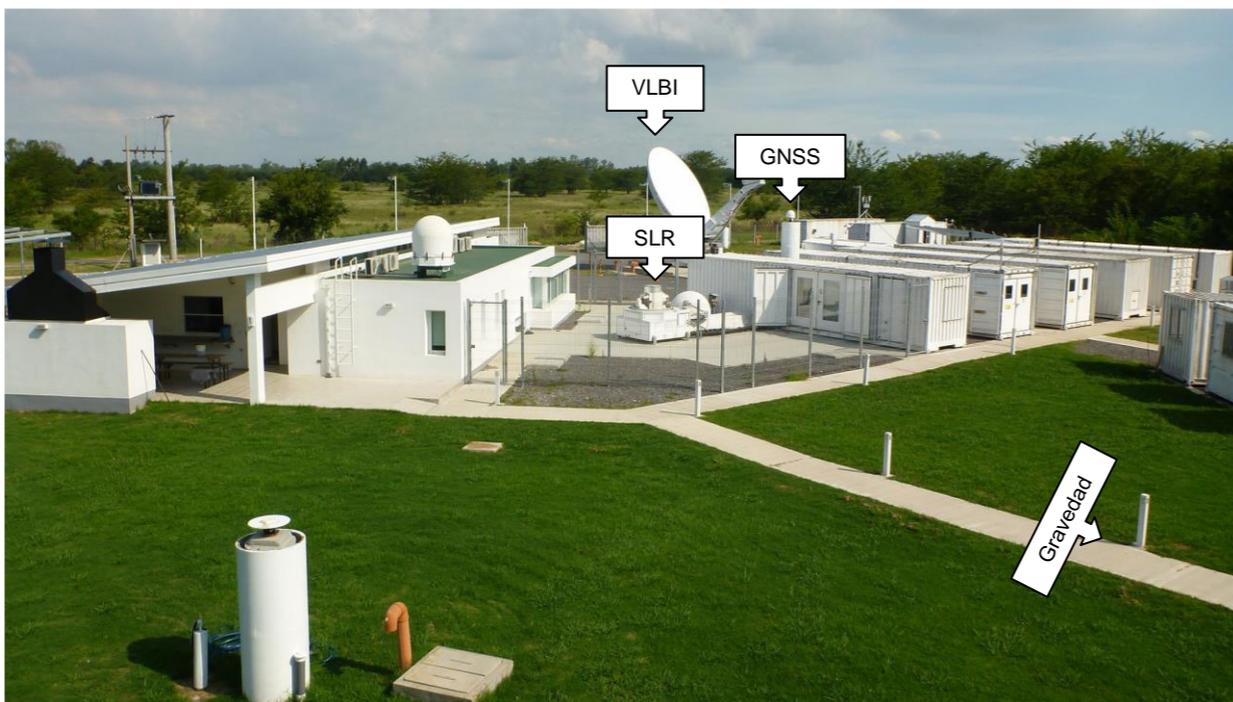
Las actividades relacionadas con la realización y mantenimiento del sistema de referencia geocéntrico son coordinadas por el **SIRGAS-GTI: Sistema de Referencia**. Las actividades relacionadas con la **densificación y aprovechamiento** de SIRGAS a **nivel nacional** son coordinadas por el **SIRGAS-GTII: SIRGAS a Nivel Nacional**.



# Acerca de SIRGAS. UN-GGIM Américas



SIRGAS provee el **soporte necesario** para el desarrollo y combinación de todo tipo de actividades prácticas y científicas relacionadas con la determinación precisa de **coordenadas**, navegación, investigación en geociencias y aplicaciones multidisciplinarias. En particular, SIRGAS se constituye en la **capa fundamental** de la infraestructura de datos espaciales en la región y ofrece apoyo permanente al Comité Regional de las Naciones Unidas sobre la Gestión de Información Geoespacial para Las Américas (**UN-GGIM: Américas**), cuyo objetivo inmediato **es la promoción** de la Resolución sobre el **Marco Geodésico Global de Referencia para el Desarrollo Sostenible**, emanada de la Asamblea General de las Naciones Unidas el 26 de febrero de 2015.



Fuente: Hase 2019, The AGGO geodetic fundamental station at La Plata

<https://www.unggim.org/>

[The UN-GGIM Roadmap for the Global Geodetic Reference Frame \(GGRF\)](#)

[Grupo Trabajo GRFA](#)



Naciones Unidas A/RES/69/266  
 **Asamblea General** Distr. general  
11 de marzo de 2015  
Sexagésimo noveno período de sesiones  
Tema 9 del programa

**Resolución aprobada por la Asamblea General el 26 de febrero de 2015**

*[sin remisión previa a una Comisión Principal (A/69/L.53 y Add.1)]*

**69/266. Marco de referencia geodésico mundial para el desarrollo sostenible**



*"Un marco de referencia global es clave si se desea poder comparar datos de todos los continentes; y para potenciar científicos de todas partes del mundo, para dar realmente información, para hacer del planeta un lugar mejor". - Erik Solheim, Director Ejecutivo Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas*

# GT I (Sistema de Referencia).Realizaciones



1. Una red de cobertura continental (**SIRGAS-C**), densificación primaria del ITRF en Latinoamérica, con estaciones estables, de funcionamiento óptimo, que garantizan consistencia, perdurabilidad y precisión del marco de referencia a través del tiempo.
2. Redes nacionales de referencia (**SIRGAS-N**), que densifican la red continental y proveen acceso al marco de referencia a nivel nacional y local. Tanto la red continental como las nacionales tienen las mismas características y calidad y cada estación es procesada por tres centros de análisis

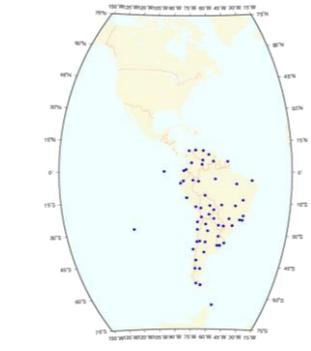
**SIRGAS coordinates the largest geodetic infrastructure in Americas**

22 members countries:

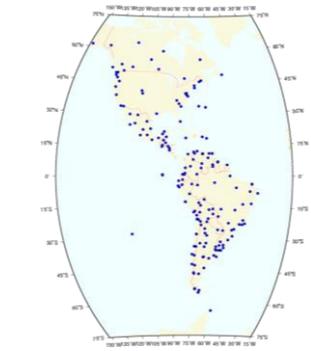
- Argentina
- Bolivia
- Brazil
- Canadá
- Chile
- Colombia
- Costa Rica
- Dominican Republic
- Ecuador
- El Salvador
- French Guyana
- Guatemala
- Guyana
- Honduras
- México
- Nicaragua
- Panamá
- Paraguay
- Perú
- United States
- Uruguay
- Venezuela

Adopted by 15 countries:

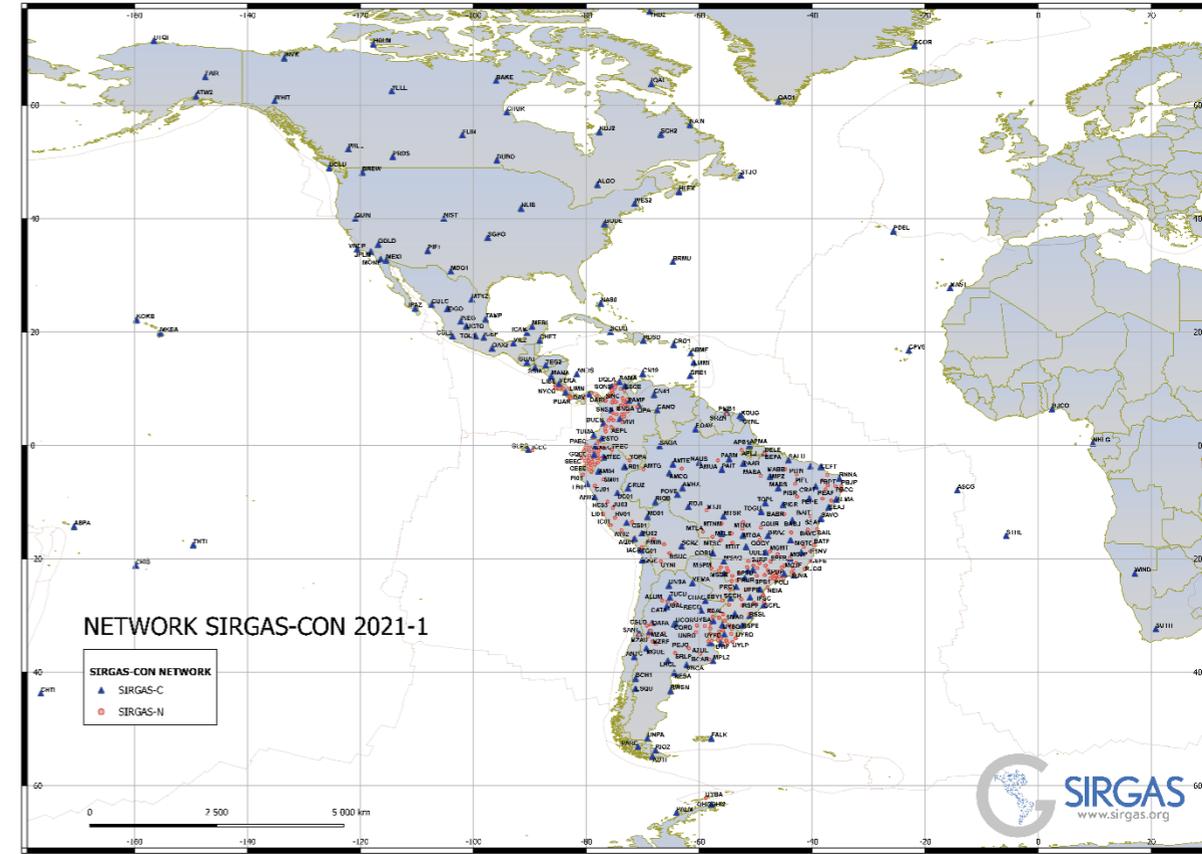
- Argentina
- Bolivia
- Brazil
- Chile
- Colombia
- Costa Rica
- Dominican Republic
- Ecuador
- El Salvador
- French Guyana
- Guatemala
- México
- Panamá
- Perú
- Uruguay
- Venezuela



**SIRGAS95**  
(red pasiva con 58 estaciones GPS referida al ITRF94@1995.4)



**SIRGAS2000**  
(red pasiva con 184 estaciones GPS referida al ITRF2000@2000.0)



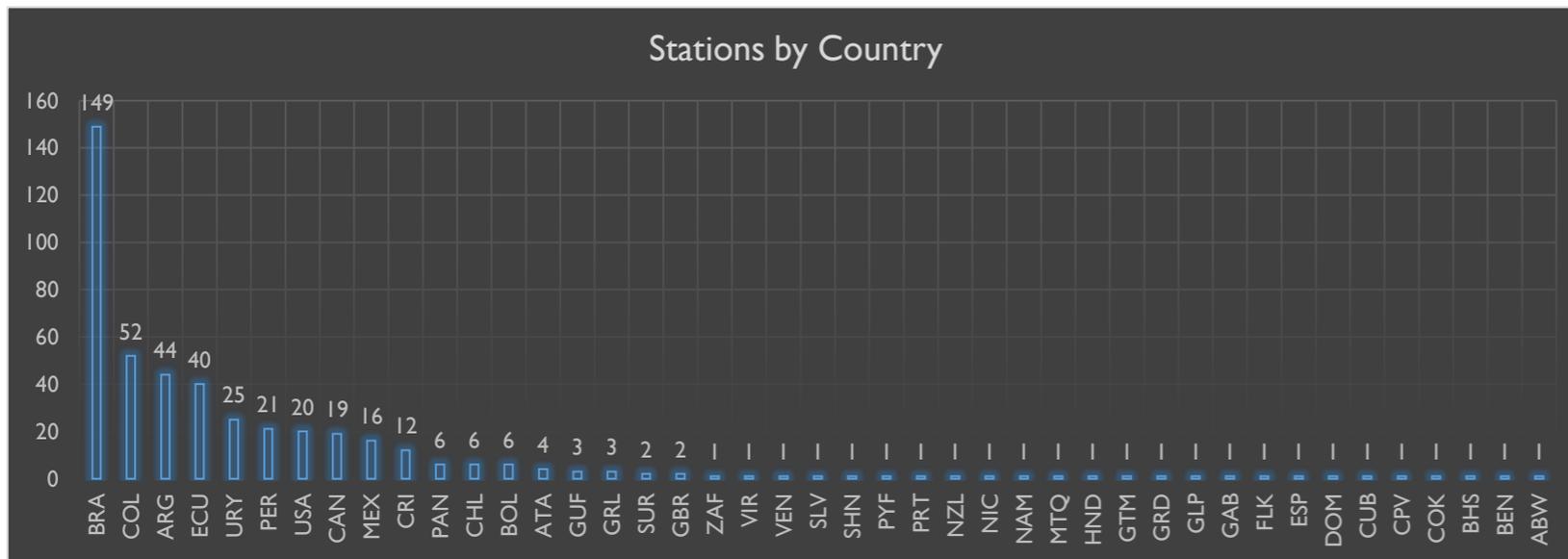
**SIRGAS-CON**  
(red ACTIVA con 455 estaciones GNSS)

# GT I. Instalación y Operación de la Red SIRGAS-CON



Actualmente, la red SIRGAS-CON está compuesta por **455 estaciones**, de las cuales **99** son de la red global del **IGS**, y las restantes pertenecen a los marcos de referencia existentes en América. Estas últimas se denominan estaciones SIRGAS-CON regionales.

- **Centros operadores**, responsables de la instalación y adecuado funcionamiento de las estaciones de operación continua.
- **Centros nacionales de datos**, responsables de la administración, almacenamiento y puesta a disposición de las observaciones de las estaciones a los usuarios, incluyendo los Centros de Procesamiento de SIRGAS. En muchos casos, los Centros Operacionales coinciden con los Centros Nacionales de Datos.
- **Centro regional de datos**, responsable del almacenamiento, a largo plazo, de las observaciones registradas por las estaciones procesadas bajo el IGS RNAAC SIRGAS (IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS). Desde la semana GPS 1495 (agosto 31, 2008), éste se hace cargo de almacenar las observaciones de las estaciones pertenecientes a la red continental SIRGAS-C. Las observaciones de las estaciones de densificación (SIRGAS-N) son almacenadas por los Centros Nacionales de Datos



## Técnica GNSS

Posicionamiento: estático relativo

Observable fase de la portadora y código

Solución: postproceso

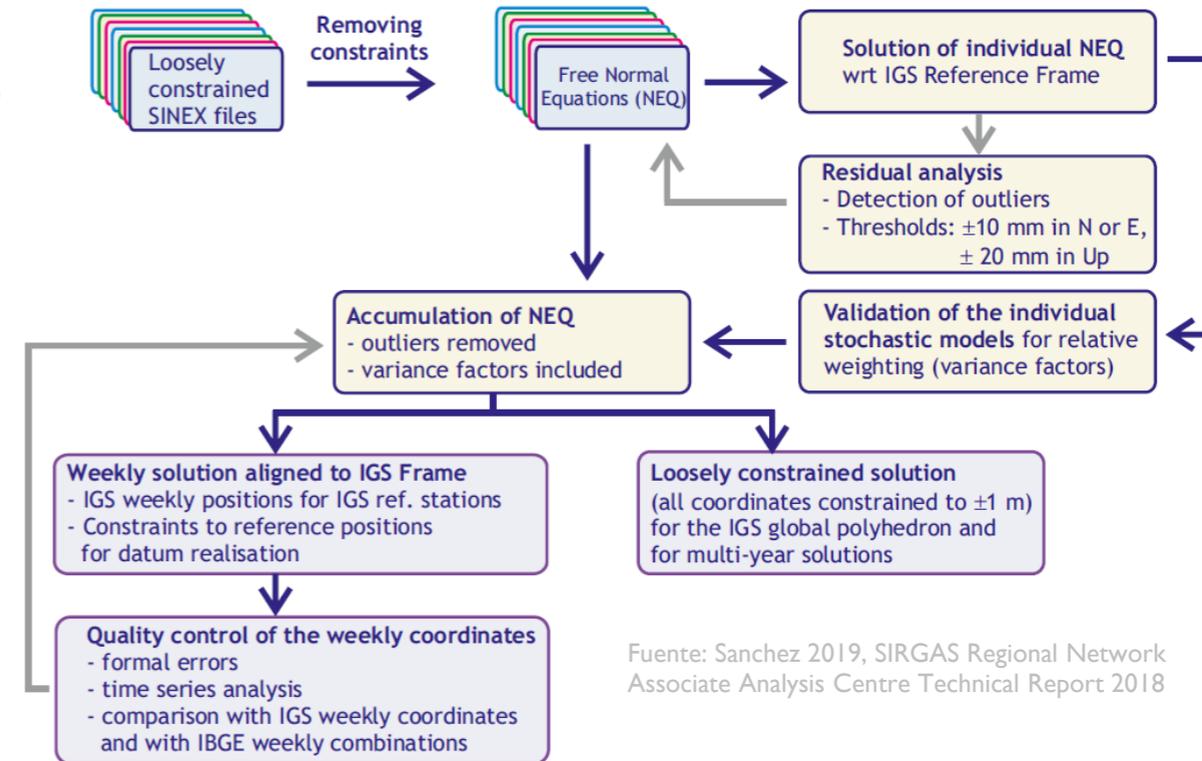
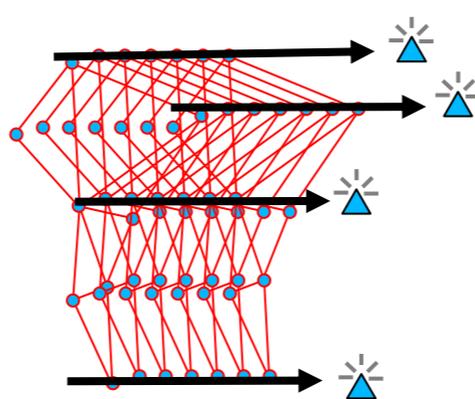
Se busca la determinación de la posición (coordenadas geocéntricas  $[X, Y, Z]_R$ ) de un receptor estático sobre o en la cercanía de la superficie terrestre a partir de:

1. La posición del satélite (coordenadas geocéntricas  $[X, Y, Z]_S$  conocidas) y
2. La distancia entre el satélite y el receptor (medida a través de los observables GNSS)



IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR)

CENTRO COMBINACIÓN IBGE      CENTRO COMBINACIÓN DGFI-TUM



Fuente: Sanchez 2019, SIRGAS Regional Network Associate Analysis Centre Technical Report 2018

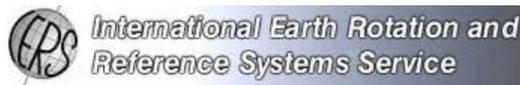
Los Centros de Combinación se encargan de integrar en una solución combinada las soluciones semanales calculadas para las redes nacionales SIRGAS-N con la solución correspondiente para la red continental SIRGAS-C. Actualmente, los Centros de Combinación SIRGAS son:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **IBGE** (Brazil)
- Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München, **DGFI-TUM** (Germany)

# GT I. Procesamiento y análisis de la Red SIRGAS-CON



Los centros de procesamiento de SIRGAS siguen estándares unificados para el cálculo de las soluciones semilibres (loosely constrained). Estos estándares se basan en las convenciones descritas por el IERS (*Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia, Petit y Luzum (2010)*) y las directrices específicas de GNSS definidas por el IGS (Johnston et al. 2017); con la excepción de que en las soluciones SIRGAS individuales, las órbitas y relojes del satélite, así como los parámetros de orientación de la Tierra (EOP) se fijan a los valores finales semanales de IGS (*SIRGAS no calcula estos parámetros*), y las posiciones para todas las estaciones están limitadas a  $\pm 1$  m (para generar las soluciones semilibres restringidas en formato SINEX).



<https://www.iers.org/iers/EN/Publications/TechnicalNotes/tn36.html>

[www.igs.org](http://www.igs.org)  
Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems



OBSERVACIONES	DD
TASA DE GRABACIÓN	30 <sup>s</sup>
PONDERACIÓN DE LAS OBSERVACIONES	Asignación de peso a las observaciones en función de la elevación, a menor elevación, menor peso.
PARÁMETROS CONOCIDOS A PRIORI	las órbitas satelitales, las correcciones a los relojes de los satélites y los parámetros de orientación terrestre contenidos en las soluciones finales del IGS
CORRECCIONES CENTRO DE FASE ANTENAS Y SATÉLITES	Absolutas IGS
EFFECTOS DE CARGA OCEÁNICA (OCEAN TIDES):	<a href="#">FES2014b</a>
EFFECTOS ATMOSFÉRICOS DE ORIGEN MAREAL (Cuadrículas de carga de marea atmosférica)	Representan la respuesta elástica de la corteza terrestre a la distribución variable de la presión atmosférica. En el procesamiento SIRGAS solamente se reducen los efectos generados por los cambios de presión causados por la atracción gravitacional directa (i.e. mareas) del Sol y de la Luna sobre las masas atmosféricas, específicamente las componentes mareales S1 y S2, según el modelo van Dam and Rey (2010)3. Los de origen diferente, no mareales (non-tidal), provenientes por ejemplo de cambios de temperatura, condiciones meteorológicas, cambios bruscos del relieve subyacente, etc. no deben reducirse. Las reducciones de la carga atmosférica causada por las componentes mareales S1 y S2 pueden obtenerse en <a href="http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html">http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html</a> ;
REFRACCIÓN TROPOSFÉRICA	Modelo Vienna Mapping Function (VMF)
SOLUCIÓN DIARIA	Ecuaciones normales, archivos NEQ
SOLUCIÓN SEMANAL	Archivos <a href="#">SINEX</a> Para generar la solución final, se recomienda hacer que las ambigüedades de fase correspondan con un número entero;

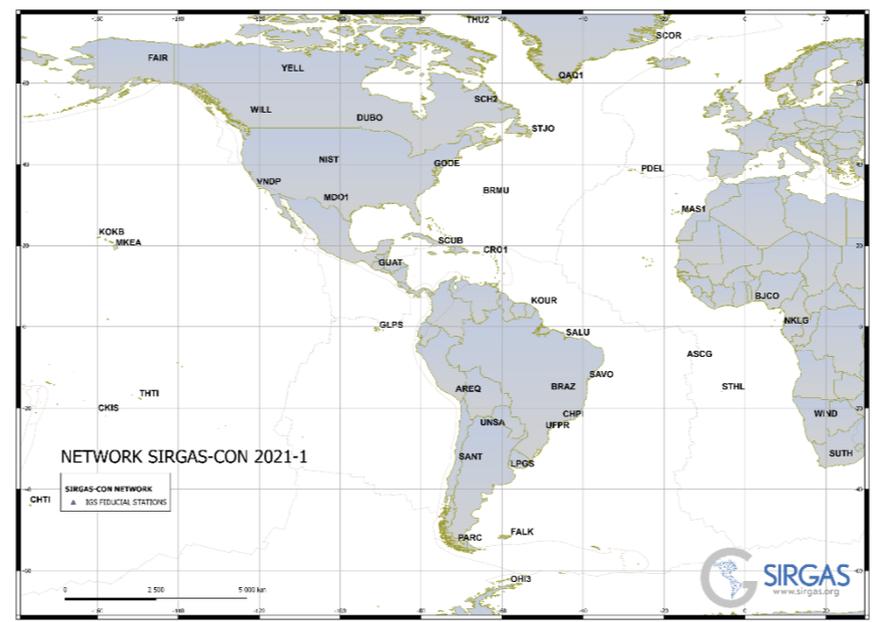
Fuente: [www.sirgas.org](http://www.sirgas.org) Guía para los Centros de Análisis SIRGAS

# GT I. Procesamiento y análisis de la Red SIRGAS-CON



IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR)

CENTRO COMBINACIÓN IBGE      CENTRO COMBINACIÓN DGFI-TUM



Fuente: Sanchez 2019, SIRGAS Regional Network Associate Analysis Centre Technical Report 2018

El Centro de Análisis Asociado del IGS para SIRGAS (IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS, IGS RNAAC SIRGAS) originalmente calculaba la totalidad de las estaciones SIRGAS-CON en un solo bloque (desde junio 1996 hasta agosto de 2008). Dado el establecimiento de los Centros Locales de Procesamiento SIRGAS, el IGS RNAAC SIRGAS está actualmente a cargo del cálculo de la red continental SIRGAS-C y de su combinación con las redes nacionales de referencia SIRGAS-N. El IGS RNAAC SIRGAS opera en el **DGFI-TUM** (Germany)

## Estaciones procesadas

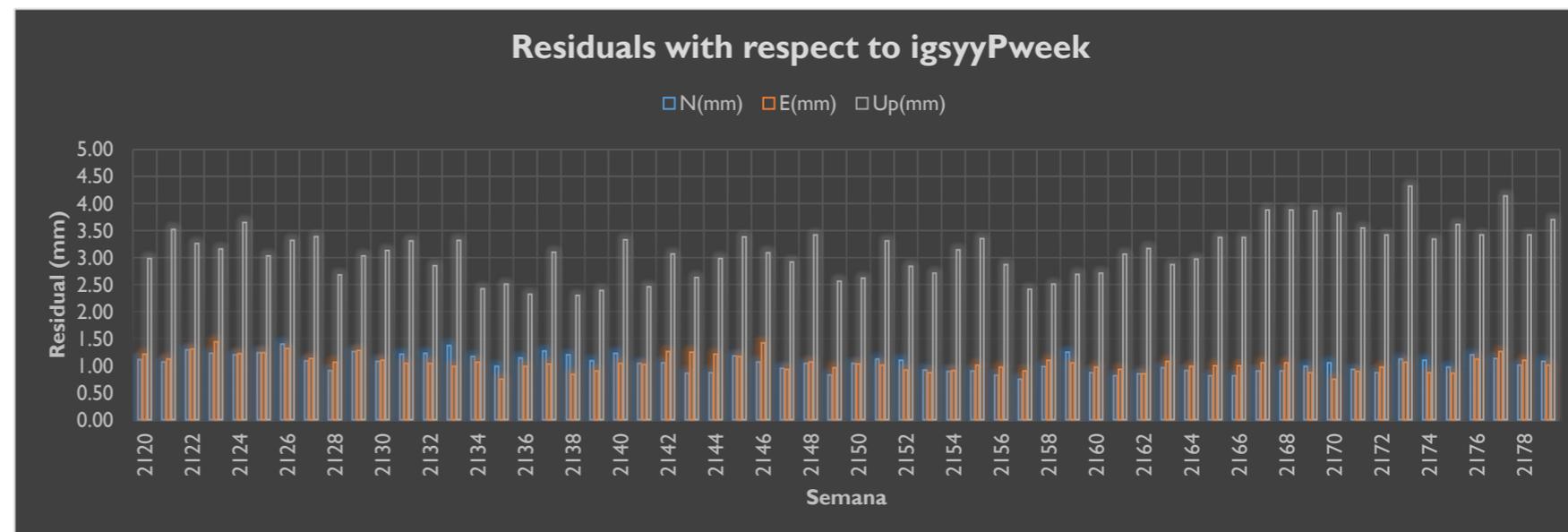
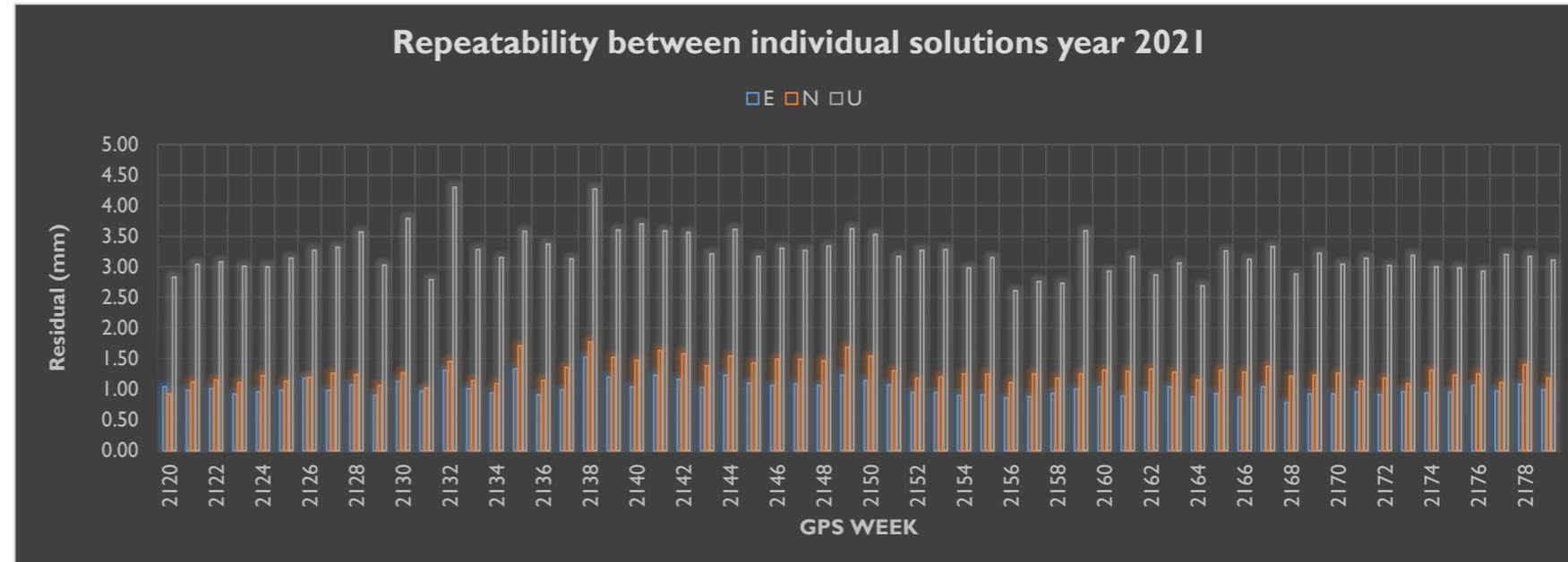
- SIRwww7.SUM: report on the weekly combination.
- SIRwww7.SNX: loosely constrained combination of the individual weekly solutions (This is the SIRGAS contribution to the IGS global polyhedron and input for the SIRGAS multiyear solutions)
- SIRyyPwww.snx: constrained combination of the individual weekly solutions
- SIRyyPwww.crd: weekly coordinates aligned to the ITRF

Según el IGS “Los RNAAC contribuyen al IGS con coordenadas de estaciones y valores de velocidades para subredes regionales de estaciones de seguimiento a partir de una combinación de conjuntos de datos semanales (en formato SINEX). Los productos RNAAC deben adoptar el marco de referencia IGS actual, incluidas las efemérides GNSS apropiadas”

<https://www.dgfi.tum.de/en/international-services/igs-rnaac-for-sirgas/>

SIRGAS-CON es una red de estaciones GNSS de operación continua distribuida sobre América Latina, con coordenadas ITRF (International Terrestrial Reference Frame) de alta precisión. La operabilidad de SIRGAS-CON es posible gracias a la contribución voluntaria de más de 50 organizaciones latinoamericanas que garantizan la confiabilidad y estabilidad a largo plazo de la red mediante redundancia y aplicación de directrices precisas que aseguran la calidad de las mediciones GNSS, el procesamiento científico de datos y las coordenadas obtenidas para cada estación de referencia. Con base en [SIRGAS-CON](#) y la [infraestructura operativa de SIRGAS](#), SIRGAS proporciona los siguientes productos:

- [Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON](#)
- [Soluciones multianuales \(posiciones y velocidades\) de SIRGAS-CON](#)
- [Modelo de velocidades VEMOS \(Velocity Model for SIRGAS\)](#)



# Agradecimientos



*Universidad de Santiago de Chile*



*Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia*



*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)*



*Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México*



*Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen*



*Instituto Geográfico Militar (IGM), Chile*



*Instituto Geográfico Militar (IGM), Uruguay*



*Instituto Geográfico Militar (IGM), Ecuador*



*Instituto Geográfico Nacional (IGN), Perú*



*Instituto Geográfico Nacional (IGN), Argentina*



*Instituto Geográfico Nacional (IGN), Costa Rica*

# -Red geodésica SIRGAS-CON: Acceso al Marco de Referencia Terrestre Internacional en las Américas

*J.A. Tarrío<sup>1</sup>, S.Alves<sup>2</sup>, A. da Silva<sup>2</sup>,L. Sanchez<sup>3</sup>, Jesarella Inzunza<sup>1</sup>,Fernando Isla<sup>1</sup>, A. Martínez<sup>4</sup>, Óscar Rodríguez<sup>5</sup>, Emilio Aleuy<sup>6</sup>, Hernán Guagní<sup>7</sup>,Guido González<sup>8</sup>, Gustavo Caubarrère<sup>9</sup>*

*<sup>1</sup>Universidad de Santiago de Chile, Chile, <sup>2</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Brasil, <sup>3</sup> Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut der Technischen Universität München (DGFI-TUM), Alemania, <sup>4</sup> Instituto Geográfico Militar (IGM), Ecuador, <sup>5</sup> Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Colombia, <sup>6</sup> Instituto Geográfico Militar (IGM), Chile, <sup>7</sup>Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), México, <sup>8</sup> Instituto Geográfico Nacional (IGN), Argentina, <sup>9</sup> Instituto Geográfico Militar (IGM), Uruguay*

## Muchas gracias

*Round Table on Geophysical and Geodetic Monitoring Networks*

*17th International Congress of the Brazilian Geophysical Society  
4th Brazilian Seismological Congress*

**Digital Revolution: Expanding the limits of Geophysics**

**17<sup>th</sup>**  
International  
Congress  
of the **Brazilian  
Geophysical  
Society  
& Expogef**

**8-11 November 2021  
Online Event**

4th Brazilian Seismology Symposium  
III SBGGM  
3rd Brazilian Marine  
Geology and Geophysics  
Symposium

