



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*



► ¿Por qué necesitamos un marco de referencia gravimétrico?

Determinación de alturas físicas

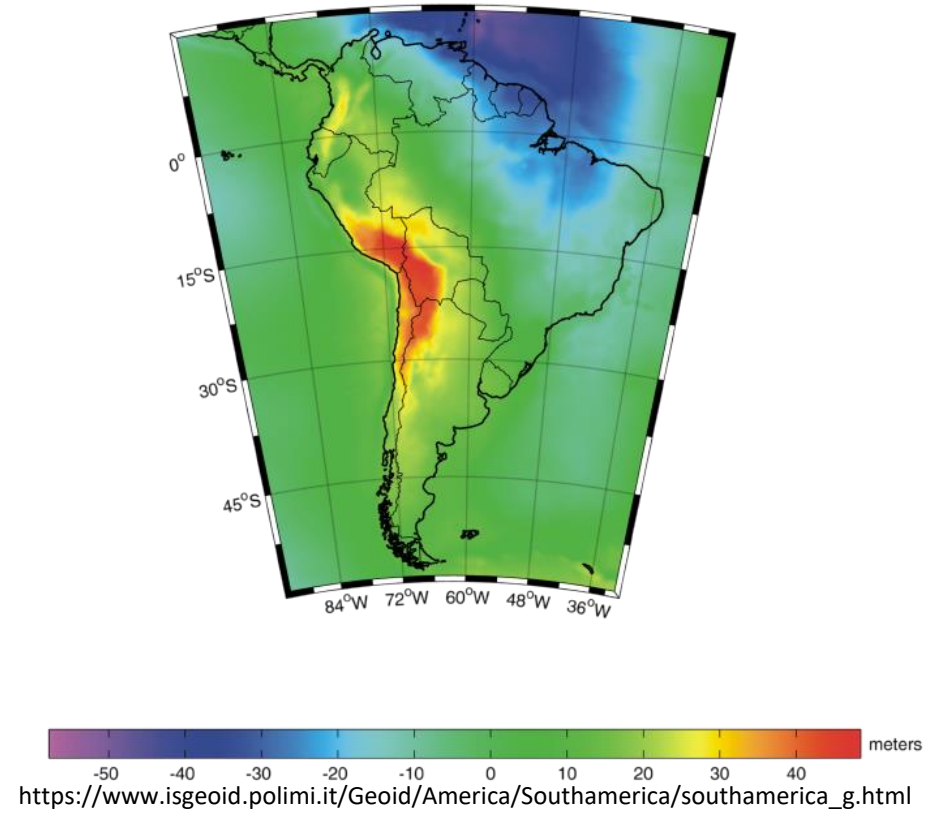


► ¿Por qué necesitamos un marco de referencia gravimétrico?

Determinación de alturas físicas



Cálculo de Geoide

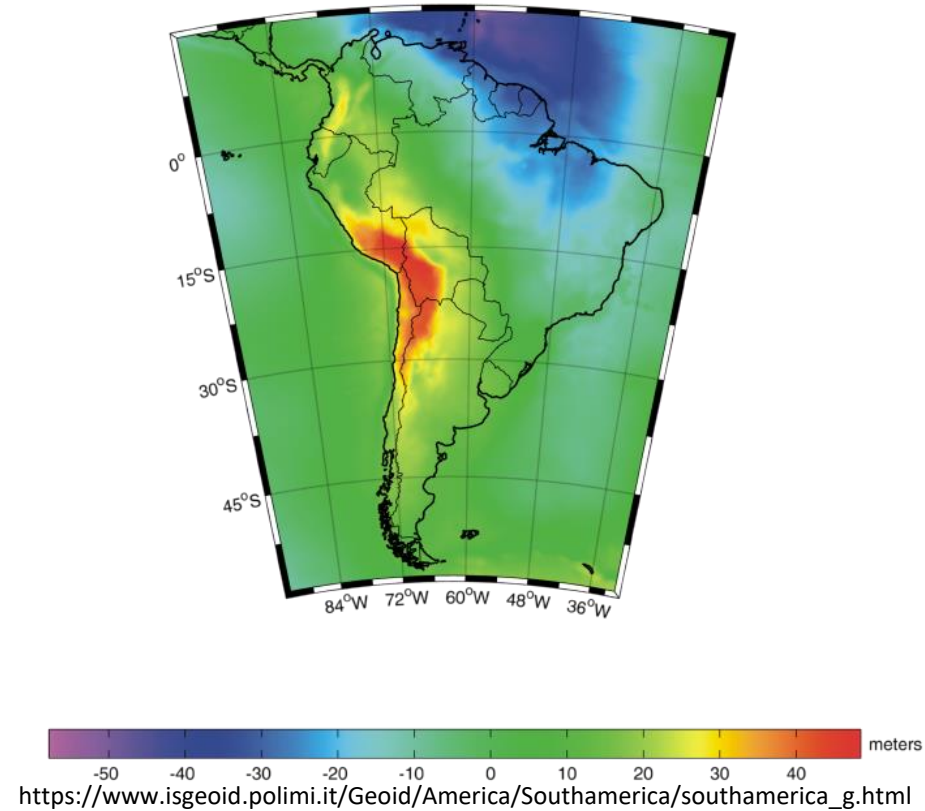


► ¿Por qué necesitamos un marco de referencia gravimétrico?

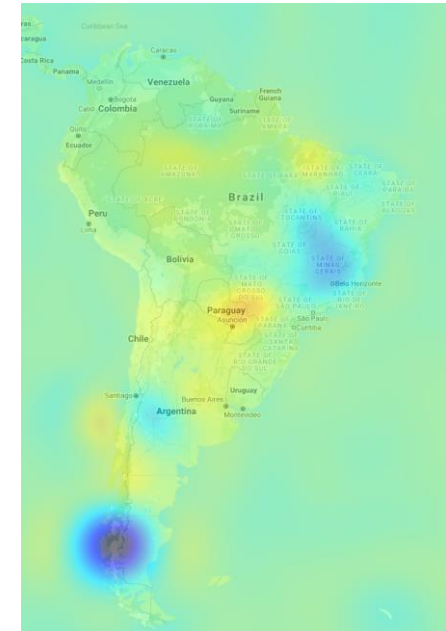
Determinación de alturas físicas



Cálculo de Geoide



Estudio de variaciones temporales de gravedad

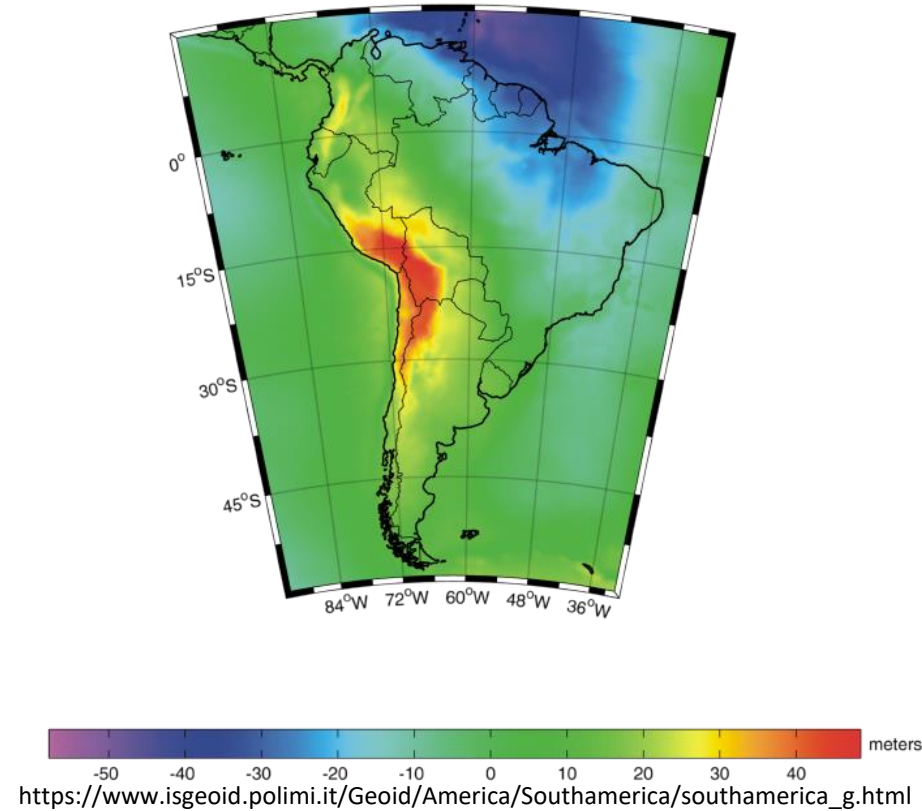


► ¿Por qué necesitamos un marco de referencia gravimétrico?

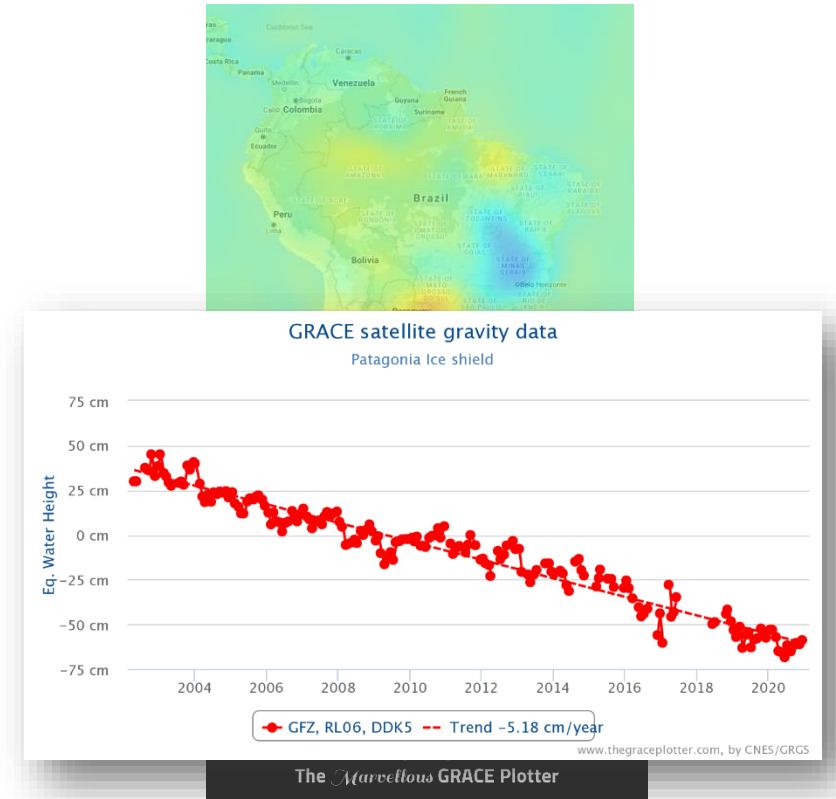
Determinación de alturas físicas



Cálculo de Geoide



Estudio de variaciones temporales de gravedad

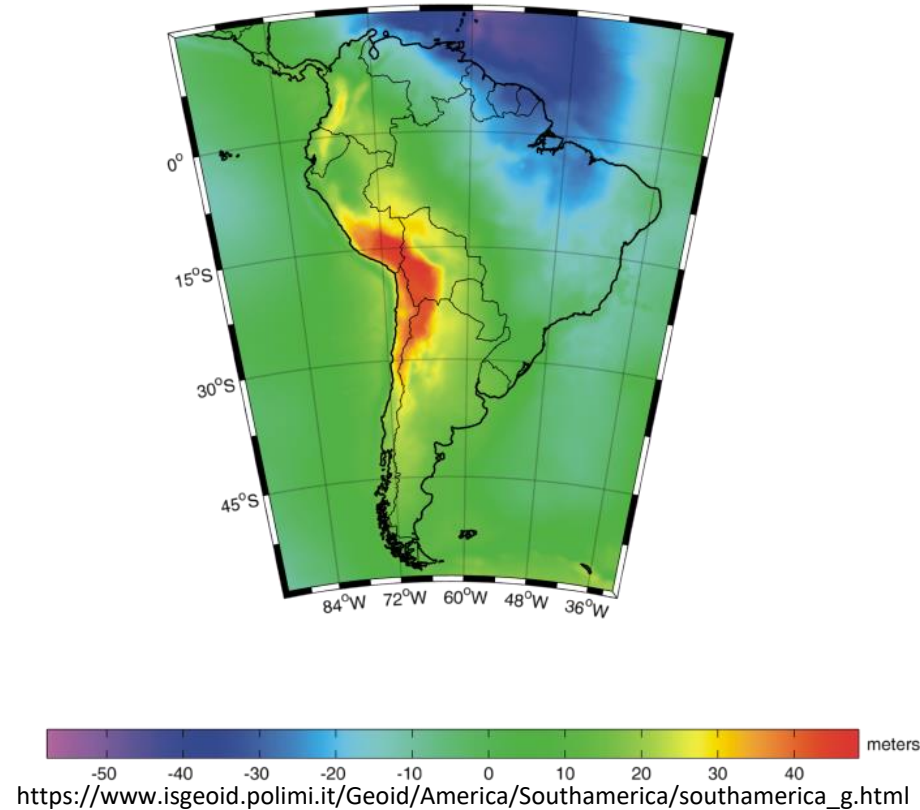


► ¿Por qué necesitamos un marco de referencia gravimétrico?

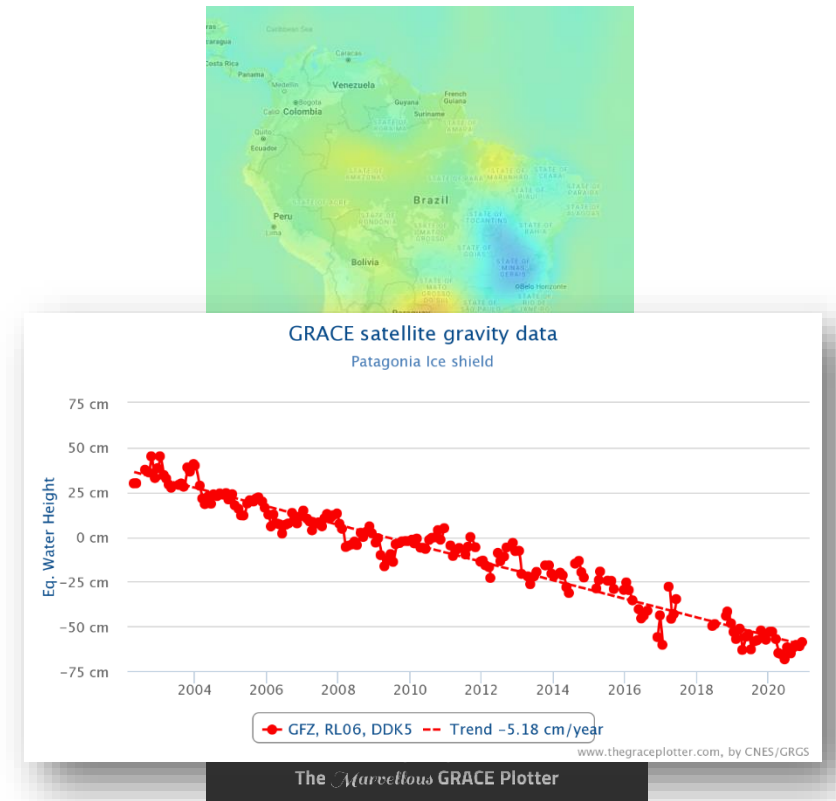
Determinación de alturas físicas



Cálculo de Geoide



Estudio de variaciones temporales de gravedad



Diversas aplicaciones necesitan de una referencia precisa y estable de gravedad!



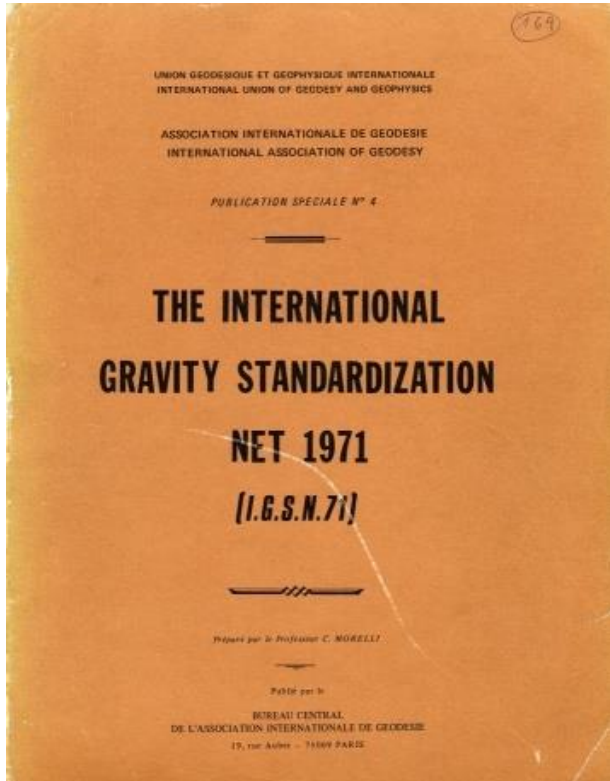
Marco de Referencia Gravimétrico (Global)

► Marco gravimétrico vigente

International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71)

Adoptada en 1971, XXV. IUGG General Assembly (Moscow)

- ✓ Basada en las primeras observaciones con **gravímetros absolutos de caída libre**
- ✓ Mediciones relativas con **gravímetros de resorte y péndulos**
- Objetivo: referencia global – Exactitud: ± 0.1 mGal



Morelli, IAG Bulletin n°4, Paris, 1971

IGSN71 aún hoy es la referencia de gravedad oficial!

IGSN 71 instruments and data

<i>Instrument</i>	<i>Type instrument</i>	<i>N° instruments</i>	<i>Surveys</i>
Absolute	Cook	1	1 station
	Sakuma	1	1 "
	Faller-Hammond	1	9 "
Pendulum	Gulf	2	23 trips
	Cambridge	1	12 "
	IGC	2	4 "
	USCGS	2	2 "
	DO	1	1 "
	GSI	1	8 "
Gravimeter	LaCoste-Romberg	53	98 trips
	Worden	14	12 "
	Askania	2	6 "
	North American	2	5 "
	Western	3	2 "

► Marco gravimétrico vigente

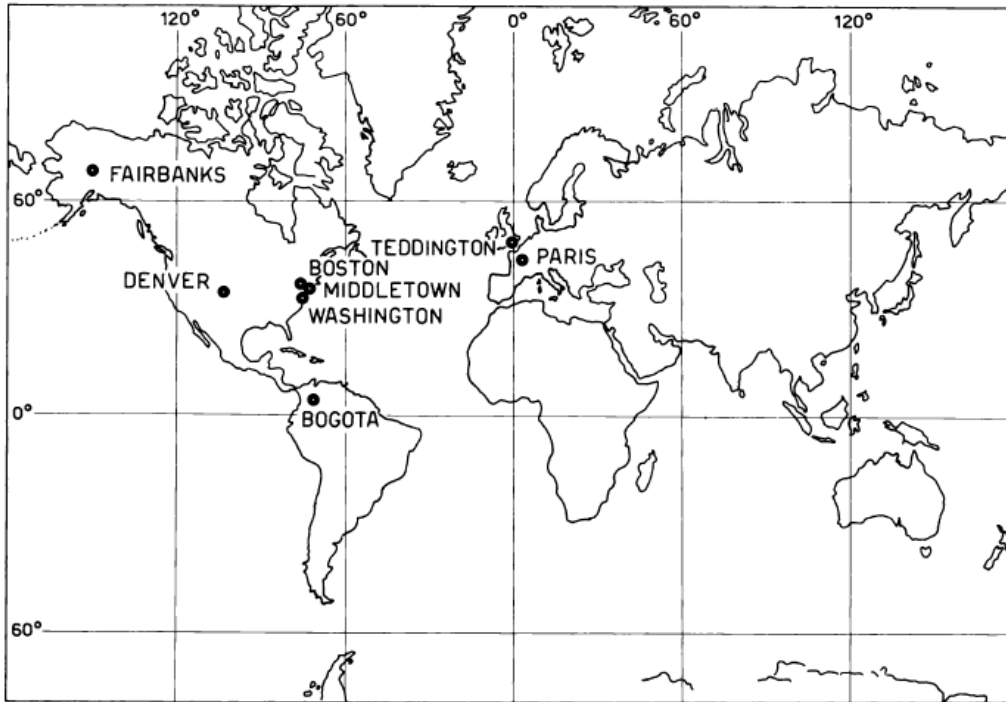


Fig. 7 : Location of Absolute Stations

- ✓ Pocas observaciones de gravedad absoluta
- ✓ Mediciones relativas transportadas por avión y barco
- ✓ Red ajustada en forma global
- ✓ Densificaciones nacionales en todos los continentes



Fig. 4.1 : MAIN GRAVIMETER CONNECTIONS IN IGSN 71

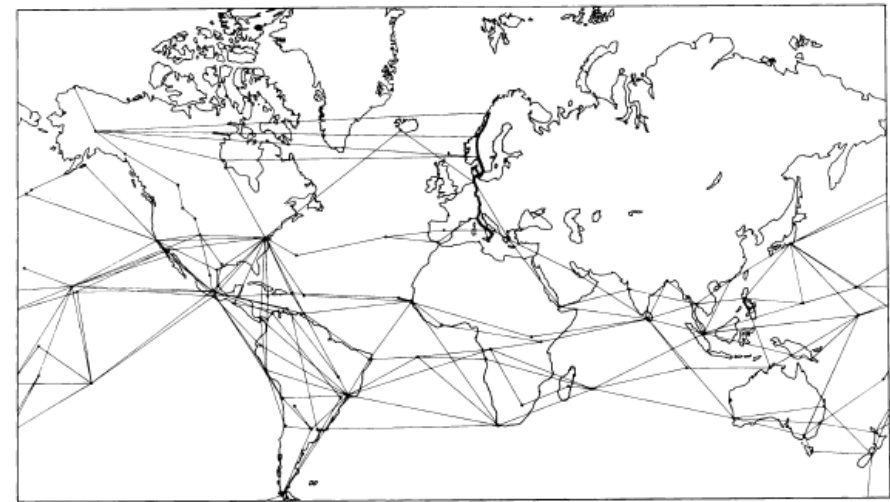
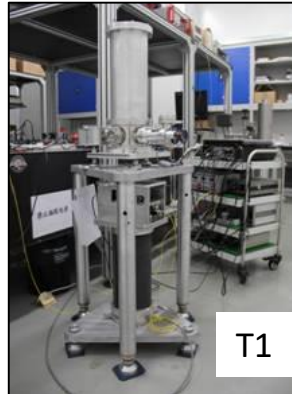
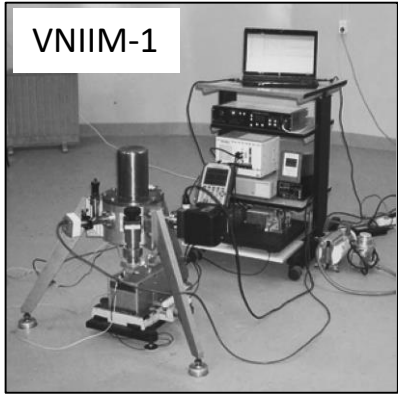


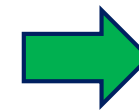
Fig. 10 : Gravimeter ties made by NAVOCEANO

► Diversidad y exactitud de los gravímetros modernos

Gravímetros absolutos → exactitud de unos pocos μGal



Gravímetros superconductores
→ orden de nGal



Campañas de campo
($10 \mu\text{Gal}$ o mejor)

Los gravímetros absolutos permiten realizar observaciones independientes (sin necesidad de un ajuste de red).

► Resolución N°2 de la IAG del año 2015



982 XXXVI IUGG General Assembly

Resolution 2: Establishment of a global absolute gravity reference system

The International Association of Geodesy,

Considering

- That the time variable gravity field is one of the keys to understanding the changing Earth,
- That the accuracy of modern absolute gravimeters has significantly improved,
- That absolute gravity observation has become a valuable tool for monitoring crustal deformations and mass transports,
- That new observation principles and instruments like cold atom interferometers and ultra-precise clocks are in preparation and testing,
- That modern gravity observations need to be based upon the International Metre Convention and the relevant measurement standards,
- That international comparisons of absolute gravimeters under the auspices of International Committee for Weights and Measures (CIPM) define the best metrological realization,
- That absolute gravity observations are archived and distributed at global scale according to international standards by the International Gravimetric Bureau (BGI) jointly with the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) under the auspices of International Association of Geodesy (IAG);

Acknowledging

- that the Strategy Paper between Metrology and Geodesy (see note 1) has been accepted by the IAG Executive Committee;

Noting

- That the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) no longer fulfills the requirements and accuracy of a modern gravity reference thus requiring replacement by a new global gravity reference system,
- That measurement accuracies have improved from the “100 μGal ” to the “few μGal ” level,
- That only with an improved gravity reference system time-dependent gravity variations can be determined with high reliability,
- That the use of consistent standards and conventions is necessary for the comparison of geometric and gravimetric observations in the framework of the Global Geodetic Observing System (GGOS);

Resolves

- To adopt the Strategy Paper as the metrological basis for absolute gravimetry,
- To initiate a working group to compile standards for the definition of a geodetic gravity reference system based upon the international comparisons of absolute gravimeters,
- To establish a gravity reference frame by globally distributed reference stations linked to the international comparisons of absolute gravimeters where precise gravity reference is available at any time,
- To link the reference stations to the International Terrestrial Reference System by co-location with space-geodetic techniques,
- To initiate the replacement of the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) and the latest International Absolute Gravity Base Station Network by the new Global Absolute Gravity Reference System.

Note 1: Report of Commission 2: CCM – IAG Strategy for Metrology in Absolute Gravimetry, Role of CCM and IAG. In: IAG Reports 2011-2015 (Travaux de l’AIG Vol. 39 (<http://iag.dgfi.tum.de/index.php?id=329>)).

Reconoce:

- IGSN71 no cumple los requerimientos ni la precisión alcanzada por las referencias gravimétricas modernas, mostrando la necesidad de reemplazarlo por un nuevo sistema de referencia gravimétrico global;
- Las precisiones alcanzadas con gravímetros modernos pasó de 100 μGal (0.1 $m\text{Gal}$) a unos pocos μGal .

Referencia:

Drewes, H., Kuglitsch, F. G., Adám, J., Rózsa, S. (2016):
The Geodesist’s Handbook 2016.- *Journal of Geodesy*, 90, 10,
doi: 10.1007/s00190-016-0948-z

► Resolución N°2 de la IAG del año 2015



982 XXVI IUGG General Assembly

Resolution 2: Establishment of a global absolute gravity reference system

The International Association of Geodesy,

Considering

- That the time variable gravity field is one of the keys to understanding the changing Earth,
- That the accuracy of modern absolute gravimeters has significantly improved,
- That absolute gravity observation has become a valuable tool for monitoring crustal deformations and mass transports,
- That new observation principles and instruments like cold atom interferometers and ultra-precise clocks are in preparation and testing,
- That modern gravity observations need to be based upon the International Metre Convention and the relevant measurement standards,
- That international comparisons of absolute gravimeters under the auspices of International Committee for Weights and Measures (CIPM) define the best metrological realization,
- That absolute gravity observations are archived and distributed at global scale according to international standards by the International Gravimetric Bureau (BGI) jointly with the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) under the auspices of International Association of Geodesy (IAG);

Acknowledging

- that the Strategy Paper between Metrology and Geodesy (see note 1) has been accepted by the IAG Executive Committee;

Noting

- That the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) no longer fulfills the requirements and accuracy of a modern gravity reference thus requiring replacement by a new global gravity reference system,
- That measurement accuracies have improved from the “100 μGal ” to the “few μGal ” level,
- That only with an improved gravity reference system time-dependent gravity variations can be determined with high reliability,
- That the use of consistent standards and conventions is necessary for the comparison of geometric and gravimetric observations in the framework of the Global Geodetic Observing System (GGOS);

Resolves

- To adopt the Strategy Paper as the metrological basis for absolute gravimetry,
- To initiate a working group to compile standards for the definition of a geodetic gravity reference system based upon the international comparisons of absolute gravimeters,
- To establish a gravity reference frame by globally distributed reference stations linked to the international comparisons of absolute gravimeters where precise gravity reference is available at any time,
- To link the reference stations to the International Terrestrial Reference System by co-location with space-geodetic techniques,
- To initiate the replacement of the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) and the latest International Absolute Gravity Base Station Network by the new Global Absolute Gravity Reference System.

Note 1: Report of Commission 2: CCM – IAG Strategy for Metrology in Absolute Gravimetry, Role of CCM and IAG. In: IAG Reports 2011-2015 (Travaux de l’AIG Vol. 39 (<http://iag.dgfi.tum.de/index.php?id=329>)).

Reconoce:

- IGSN71 no cumple los requerimientos ni la precisión alcanzada por las referencias gravimétricas modernas, mostrando la necesidad de reemplazarlo por un nuevo sistema de referencia gravimétrico global;
- Las precisiones alcanzadas con gravímetros modernos pasó de 100 μGal (0.1 $m\text{Gal}$) a unos pocos μGal .

Resuelve:

- Establecer un marco de referencia de gravedad a través de estaciones de referencia globalmente distribuidas, vinculadas a comparaciones internacionales de gravímetros absolutos y cuya referencia de gravedad esté disponible en cualquier momento;
- Vincular este marco al ITRF;
- Iniciar el reemplazo de IGSN71.

Referencia:

Drewes, H., Kuglitsch, F. G., Adám, J., Rózsa, S. (2016): The Geodesist’s Handbook 2016.- *Journal of Geodesy*, 90, 10, doi: 10.1007/s00190-016-0948-z

► Resolución N°2 de la IAG del año 2015



982 XXVI IUGG General Assembly

Resolution 2: Establishment of a global absolute gravity reference system

The International Association of Geodesy,

Considering

- That the time variable gravity field is one of the keys to understanding the changing Earth,
- That the accuracy of modern absolute gravimeters has significantly improved,
- That absolute gravity observation has become a valuable tool for monitoring crustal deformations and mass transports,
- That new observation principles and instruments like cold atom interferometers and ultra-precise clocks are in preparation and testing,
- That modern gravity observations need to be based upon the International Metre Convention and the relevant measurement standards,
- That international comparisons of absolute gravimeters under the auspices of International Committee for Weights and Measures (CIPM) define the best metrological realization,
- That absolute gravity observations are archived and distributed at global scale according to international standards by the International Gravimetric Bureau (BGI) jointly with the Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG) under the auspices of International Association of Geodesy (IAG);

Acknowledging

- that the Strategy Paper between Metrology and Geodesy (see note 1) has been accepted by the IAG Executive Committee;

Noting

- That the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) no longer fulfills the requirements and accuracy of a modern gravity reference thus requiring replacement by a new global gravity reference system,
- That measurement accuracies have improved from the “100 μGal ” to the “few μGal ” level,
- That only with an improved gravity reference system time-dependent gravity variations can be determined with high reliability,
- That the use of consistent standards and conventions is necessary for the comparison of geometric and gravimetric observations in the framework of the Global Geodetic Observing System (GGOS);

Resolves

- To adopt the Strategy Paper as the metrological basis for absolute gravimetry,
- To initiate a working group to compile standards for the definition of a geodetic gravity reference system based upon the international comparisons of absolute gravimeters,
- To establish a gravity reference frame by globally distributed reference stations linked to the international comparisons of absolute gravimeters where precise gravity reference is available at any time,
- To link the reference stations to the International Terrestrial Reference System by co-location with space-geodetic techniques,
- To initiate the replacement of the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71) and the latest International Absolute Gravity Base Station Network by the new Global Absolute Gravity Reference System.

Note 1: Report of Commission 2: CCM – IAG Strategy for Metrology in Absolute Gravimetry, Role of CCM and IAG. In: IAG Reports 2011-2015 (Travaux de l’AIG Vol. 39 (<http://iag.dgfi.tum.de/index.php?id=329>)).

Reconoce:

- IGSN71 no cumple los requerimientos ni la precisión alcanzada por las referencias gravimétricas modernas, mostrando la necesidad de reemplazarlo por un nuevo sistema de referencia gravimétrico global;
- Las precisiones alcanzadas con gravímetros modernos pasó de 100 μGal (0.1 $m\text{Gal}$) a unos pocos μGal .

Resuelve:

- Establecer un marco de referencia de gravedad a través de estaciones de referencia globalmente distribuidas, vinculadas a comparaciones internacionales de gravímetros absolutos y cuya referencia de gravedad esté disponible en cualquier momento;
- Vincular este marco al ITRF;
- Iniciar el reemplazo de IGSN71.

JWG 2.1.1: Establishment of the International Gravity Reference Frame

(joint with IGFS, BGI, IGETS)

Chair: Hartmut Wziontek (Germany)

Vice-Chair: Sylvain Bonvalot (France)

Referencia:

Drewes, H., Kuglitsch, F. G., Adám, J., Rózsa, S. (2016): The Geodesist’s Handbook 2016.- *Journal of Geodesy*, 90, 10, doi: 10.1007/s00190-016-0948-z

► Vínculo con Metrología

Paper estratégico:

Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM) del BIPM e IAG (2014):

Se establece cooperación entre metrología y geodesia a partir de las comparaciones entre gravímetros absolutos. Esto permite:

- Trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI) en el marco del CIPM (BIPM);
- “Keys Comparisons”: únicamente participan algunos gravímetros absolutos;
- Comparaciones regionales necesarias para documentar el acuerdo entre todos los gravímetros absolutos.

Urs Marti, President of the International Association of Geodesy (IAG) Commission 2 «Gravity Field»

Philippe Richard, President of the Consultative Committee for Mass and related quantities (CCM)

Alessandro Germak, Chairman of the CCM working group on gravimetry (WGG)

Leonid Vitushkin, President of IAG SC 2.1

Vojtech Pálinkáš, Chairman of IAG JWG 2.1

Herbert Wilmes, Chairman of IAG JWG 2.2

11 March 2014

CCM – IAG Strategy for Metrology in Absolute Gravimetry Role of CCM and IAG

http://www.bipm.org/wg/CCM/CCM-WGG/Allowed/2015-meeting/CCM_IAG_Strategy.pdf
and

Travaux of IAG 2011 - 2015

► Definición del Sistema y Marcos de Referencia de Gravedad:

Sistema de Referencia Principios fundamentales

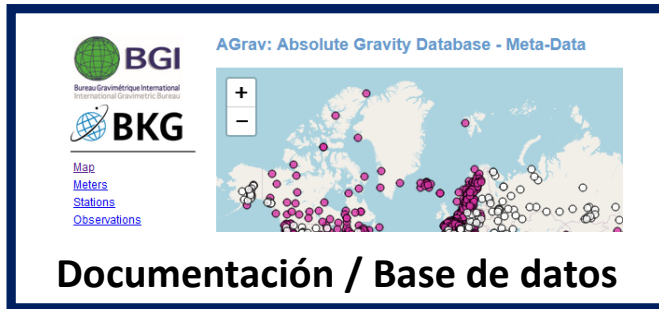
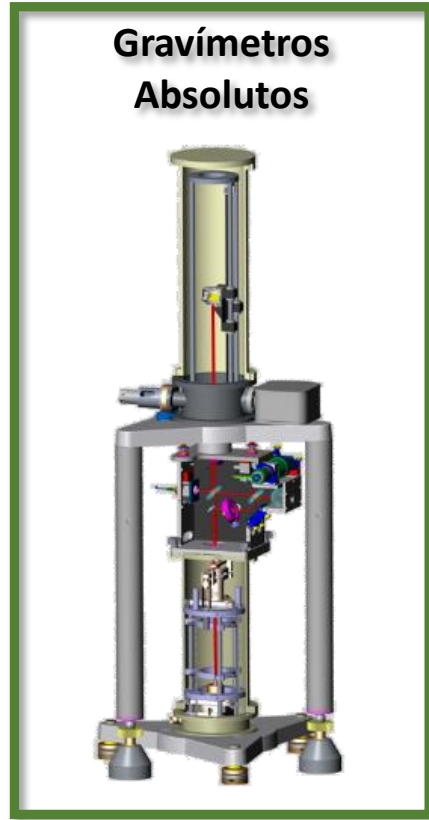
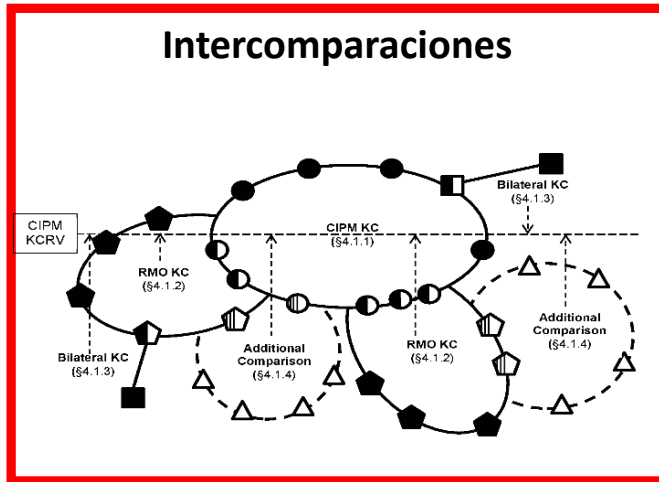
Definición de gravedad estable en el tiempo

- **Aceleración instantánea de la caída-libre**, medida en el Sistema Internacional de Unidades (SI)
- **Conjunto de correcciones convencionales independientes del tiempo:**
 - Marea permanente (zero-tide system);
 - Atmósfera estándar;
 - Eje de rotación de la Tierra definido por el IERS.

► Definición del Sistema y Marcos de Referencia de Gravedad:

Sistema de Referencia Principios fundamentales	Marco de Referencia Realización del Sistema
<p data-bbox="387 415 1243 458">Definición de gravedad estable en el tiempo</p> <ul data-bbox="387 529 1243 1143" style="list-style-type: none"><li data-bbox="387 529 1243 686">• Aceleración instantánea de la caída-libre, medida en el Sistema Internacional de Unidades (SI)<li data-bbox="387 701 1243 1143">• Conjunto de correcciones convencionales independientes del tiempo:<ul data-bbox="479 868 1243 1143" style="list-style-type: none"><li data-bbox="479 868 1243 972">➤ Marea permanente (zero-tide system);<li data-bbox="479 986 1243 1029">➤ Atmósfera estándar;<li data-bbox="479 1043 1243 1143">➤ Eje de rotación de la Tierra definido por el IERS.	<p data-bbox="1600 415 1829 458">Mediciones</p> <ul data-bbox="1284 529 2160 1258" style="list-style-type: none"><li data-bbox="1284 529 2160 686">• Observaciones con gravímetros absolutos (época, gravedad, gradiente, altura de referencia)<li data-bbox="1284 701 2160 915">• Comparación entre gravímetros absolutos (nivel común, compatibilidad entre observaciones y procesamientos, detección de errores sistemáticos)<li data-bbox="1284 929 2160 1143">• Conjunto de correcciones convencionales para las variaciones temporales (mareas, carga oceánica, atmósfera, movimiento del polo)<li data-bbox="1284 1158 2160 1258">• Infraestructura y documentación (marcas, base de datos)

► Definición de una referencia de gravedad absoluta y estable

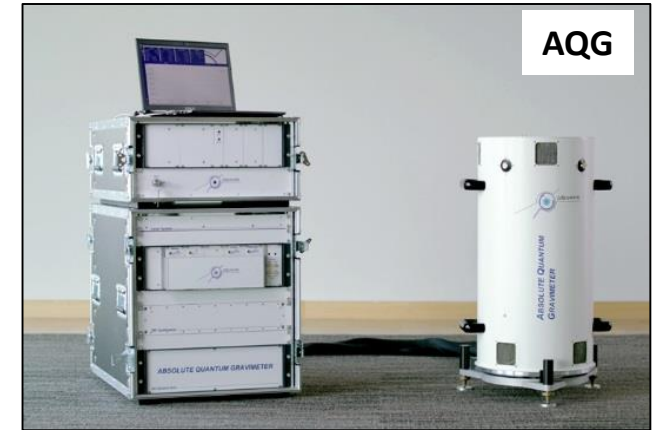
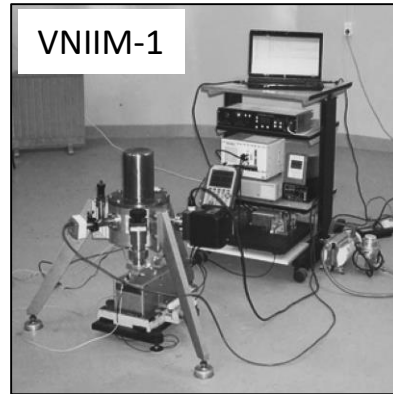
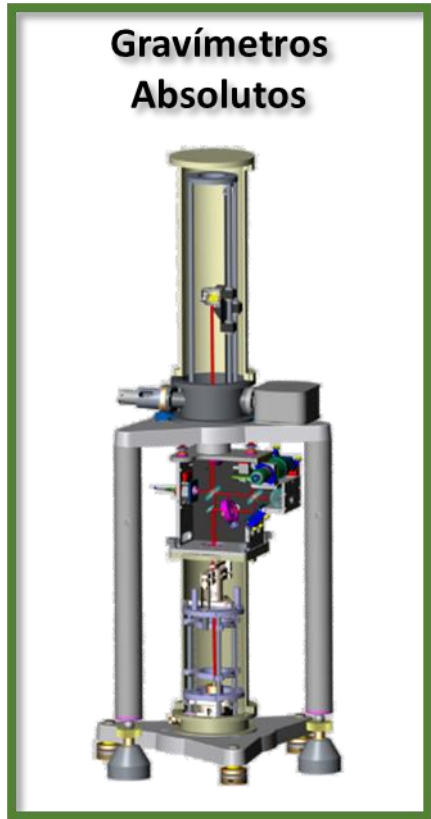


Modelos estándar para la corrección de Mareas, Atmósfera, Movimiento del Polo

Resolución N° 2: Establecer un marco de referencia de gravedad a través de estaciones de referencia globalmente distribuidas, vinculadas a comparaciones internacionales de gravímetros absolutos y cuya referencia de gravedad esté disponible en cualquier momento.

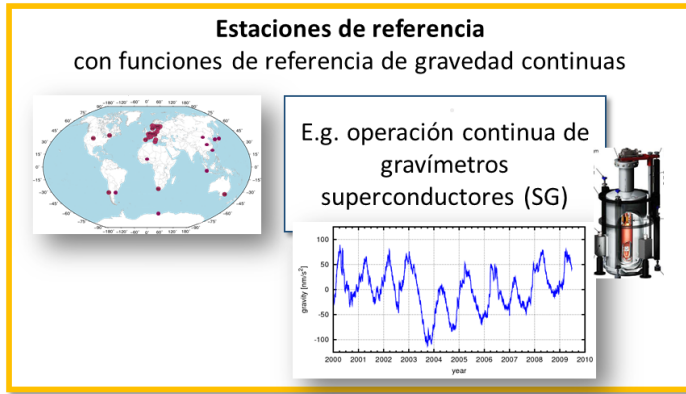
► Gravímetro Absolutos

Observaciones con gravímetros absolutos:



Exactitud relativa: 10^{-8} ($\sim 10 \mu Gal$) o mejor.

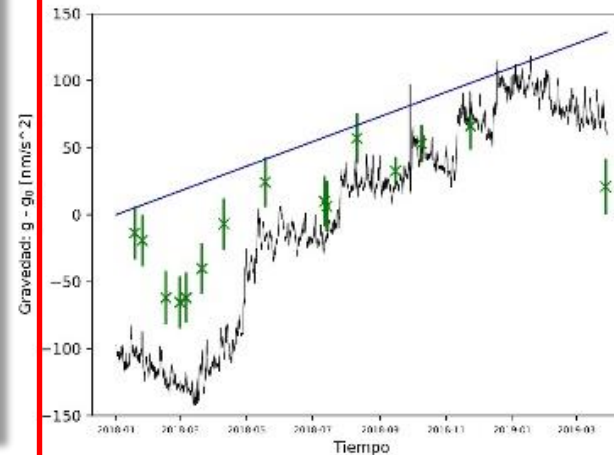
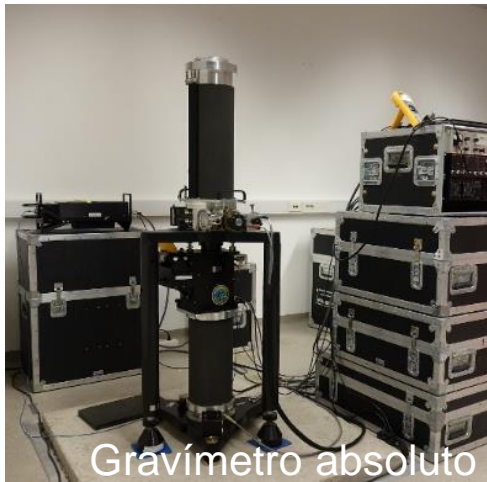
► Estaciones de referencia



Estaciones de referencia: deben asegurar una referencia de gravedad absoluta estable en el tiempo.

Referencia de gravedad a partir de:

- ✓ Mediciones periódicas con un gravímetro absoluto (al menos cada dos meses a fin de captar variaciones anuales de gravedad);
- ✓ Mediciones continuas con un gravímetro superconductor (SG);
- ✓ Mediciones continuas con un gravímetro cuántico.



► Estaciones de referencia: IGETS

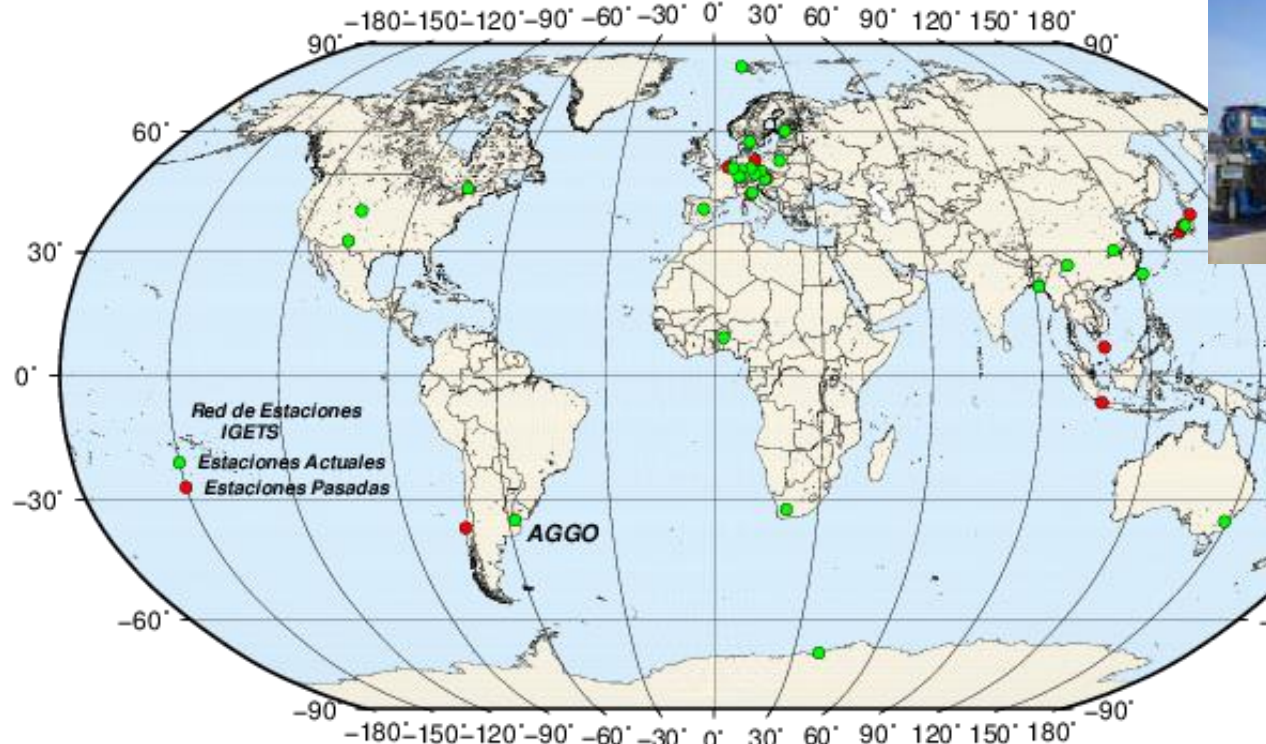
Potencialmente: estaciones de referencia donde se encuentra instalado un gravímetro superconductor!



International Geodynamics and Earth Tide Service (IGETS)

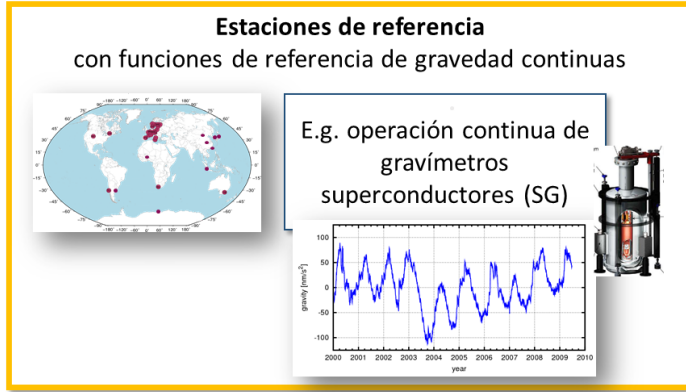


- responsable de recolectar y distribuir mediciones continuas del campo de gravedad realizadas con gravímetros en la superficie terrestre.

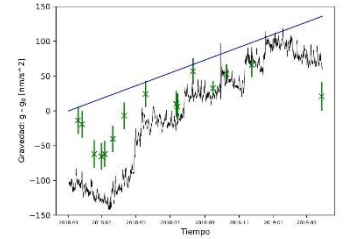


<https://ggos.org/item/igets/>

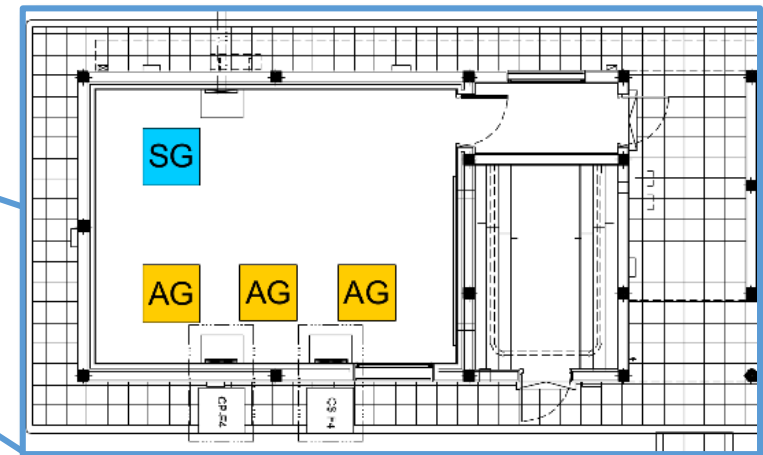
► Estaciones de referencia



Estaciones de referencia: deben asegurar una referencia de gravedad absoluta estable en el tiempo.



Estaciones de comparación: estaciones de referencia con facilidades para la comparación entre gravímetros absolutos.

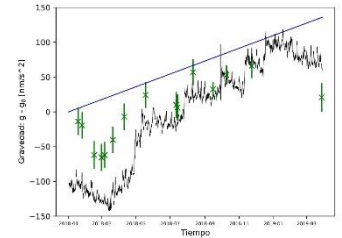


Estaciones de referencia

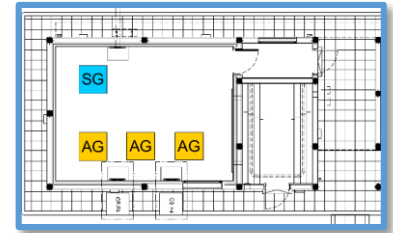
Estaciones de referencia
con funciones de referencia de gravedad continuas

E.g. operación continua de gravímetros superconductores (SG)

Estaciones de referencia: deben asegurar una referencia de gravedad absoluta estable en el tiempo.

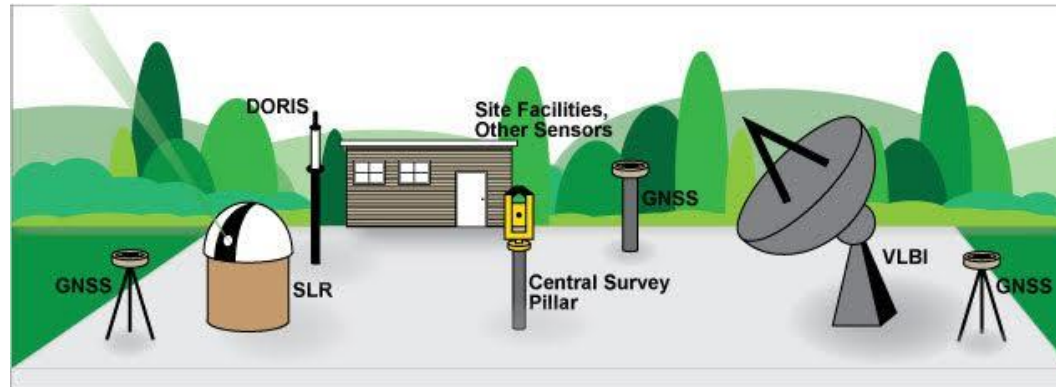


Estaciones de comparación: estaciones de referencia con facilidades para la comparación entre gravímetros absolutos.



GGOS Core Sites

Core-stations: estaciones de referencia vinculadas al ITRF en el marco del Sistema de Observación Geodésico Global (GGOS) (y también al IHRF...).



Geodetic Observatory Wettzell (Germany)

- 1 Zeitkeller
- 2 Turm mit Globales Navigationssatellitensystem (GNSS)
- 3 Hauptgebäude
- 4 Gravimeter 1
- 5 TWIN-Teleskop 1
- 6 TWIN-Betriebsgebäude
- 7 Wettzell Laser Ranging System (WLRS)
- 8 TWIN-Teleskop 2
- 9 Satellite Observing System- Wettzell (SOS-W)
- 10 Betriebsgebäude Radioteleskop
- 11 Das 20 m-Radioteleskop Wettzell (RTW)
- 12 Großringlaser G

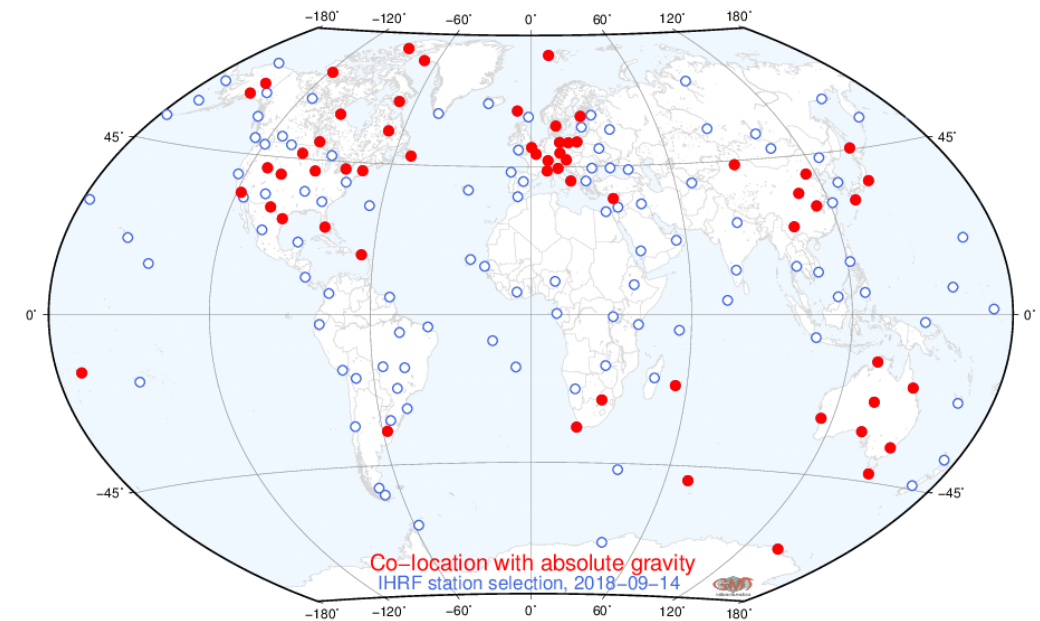
Ref: GGOS Requirements for Core Sites

► Core-stations: estaciones de referencia co-localizadas con estaciones GGOS e IHRF

Sistema de Observación Geodésico Global (GGOS)



Marco de Referencia Internacional de Alturas (IHRF)



► Actualización de los Estándares de Procesamiento:

Modelos estándar para la corrección de Mareas, Atmósfera, Movimiento del Polo

Convenciones IGRS 2020

- Compatibles con Processing Standards of the International Absolute Gravimeter Base Network (IAGBN; Boedecker, 1988)
- Mareas terrestres:
Zero-tide system para las mareas permanentes
Potencial generador de mareas: catálogo de Tamura (o superior)
Respuesta elástica de la Tierra: Parámetros de marea observados o derivados del modelo de Tierra de Dehant, Defraigne and Wahr (1999) (DDW)
- Atmósfera:
Atmósfera estándar: *DIN 5450 (ISO 2533:1975)*,
Variaciones temporales: *factor de escala de 0.3 μGal/hPa*
- Movimiento del Polo:
Coordenadas del polo definidas *por el IERS* con *factor gravimétrico de 1.164*
- Carga oceánica mareal:
FES2004 o aquel modelo que mejor se ajuste en el área
- Gradiente de la gravedad con la altura:
Aproximación lineal a partir de mediciones en 3 niveles,
Evaluación de la ecuación de movimiento para determinar la altura instrumental efectiva

Leyenda: sistema | *frame*

IAGBN: Absolute Observations Data Processing Standards

(1992 collection)

As far as possible the basis for the following recommendations were taken from IAG/IUGG resolutions.

- Light travel time correction is based on $c = 299\,792\,458$ [ms⁻¹] (IAG 1983 resolution no. 1) Each individual time value should be corrected by

$$\delta t = -\frac{z}{c}$$

where z is the distance from the pre-drop resting position.

- Earth tides reduction: It is recommended to apply the Cartwright-Tayler-Edden development supplemented by the ICET to yield a total of 505 tidal constituents or another recognized development like Tamura, Büllersfeld or Xi. For the tidal parameters (amplitude factors and phase lags) values deduced from observations or from a recognized Earth model like Wahr-Dehant should be used, which seems better; else, an amplitude factor of 1.164 may be applied. The details must be reported as part of the observation document.

The tidal reduction generally includes the M_0S_0 tide. Because the direct contribution of this tide, constant with time, should be attributed an amplitude factor of 1 instead of about 1.164 for the tides varying with time, the difference can be corrected using

$$\delta g (M_0S_0) = -4.83 + 15.73 \cdot \sin^2\psi - 1.59 \cdot \sin^4\psi \text{ [10}^{-4}\text{ms}^{-2}\text{]}$$

where

ψ geocentric latitude

(c.f. IAG 1983 resolution no. 9 and no. 16; details see Rapp 1983).

- Earth rotation changes: The geometric position of the Earth's body relative to its spin axis has to be referenced to mean position. It is recommended to use (e.g. Wahr 1985)

$$\delta g = -1.164 \cdot 10^8 \cdot \omega^2 \cdot a \cdot 2 \sin\phi \cdot \cos\phi (x \cdot \cos\lambda - y \cdot \sin\lambda) \text{ [10}^{-8}\text{ms}^{-2}\text{]}$$

where

x, y pole coordinates in IERS system in radian (publ. IERS-Bull.)

$\omega = 7\,292\,115 \cdot 10^{-11}$ [rad · s⁻¹] angular velocity

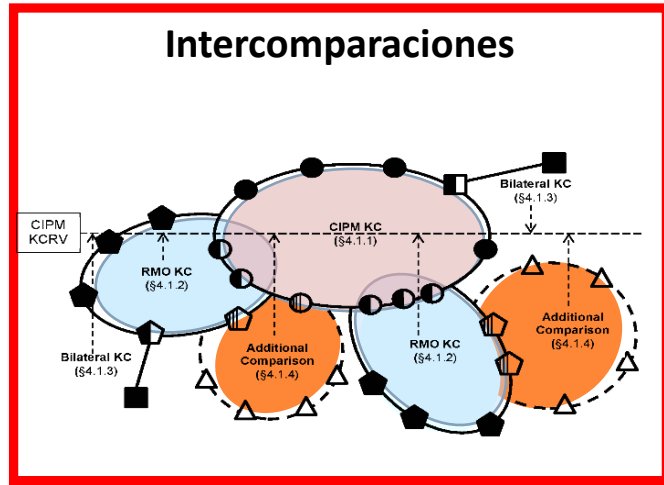
$a = 6\,378\,136$ [m] semimajor axis

ϕ, λ geographic coordinates of the observation station, referred to CIO pole (longitude positive east of Greenwich)

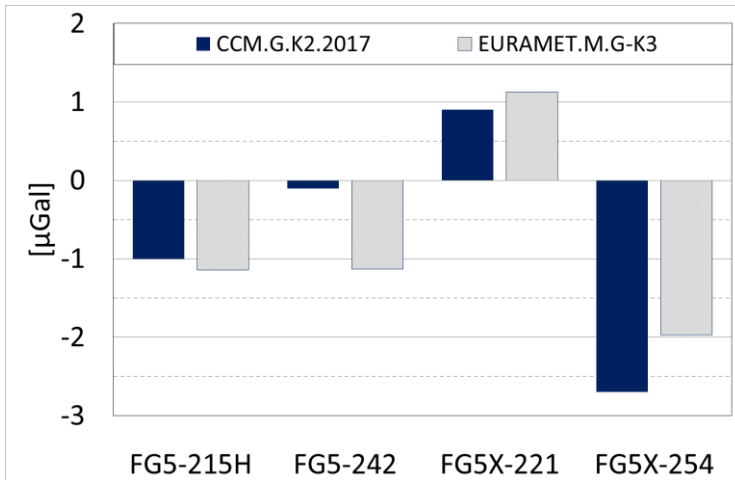
If real time evaluation is desired, an appropriate prediction may be used (e.g. Sheng 1982).

► Estabilidad y trazabilidad de los gravímetros absolutos:

Dado que el Marco es realizado a partir de mediciones con gravímetros absolutos, es necesario asegurar la **compatibilidad** y la **consistencia** entre distintos instrumentos a través de comparaciones.



CIPM Level 2017: CCM.G-K2.2017
Key Comparison (KC) and Pilot Study (PS)
Beijing, China



RMO Europe 2018: EURAMET.M.G-K3
Key Comparison and Pilot Study
Wetzell, Germany

Los gravímetros absolutos pueden presentar pequeñas desviaciones entre sí. Por esta razón son necesarias las comparaciones entre gravímetros, a fin de determinar un nivel medio común. Estas desviaciones pueden presentar variaciones temporales debido a, por ejemplo, mantenimiento de los instrumentos.

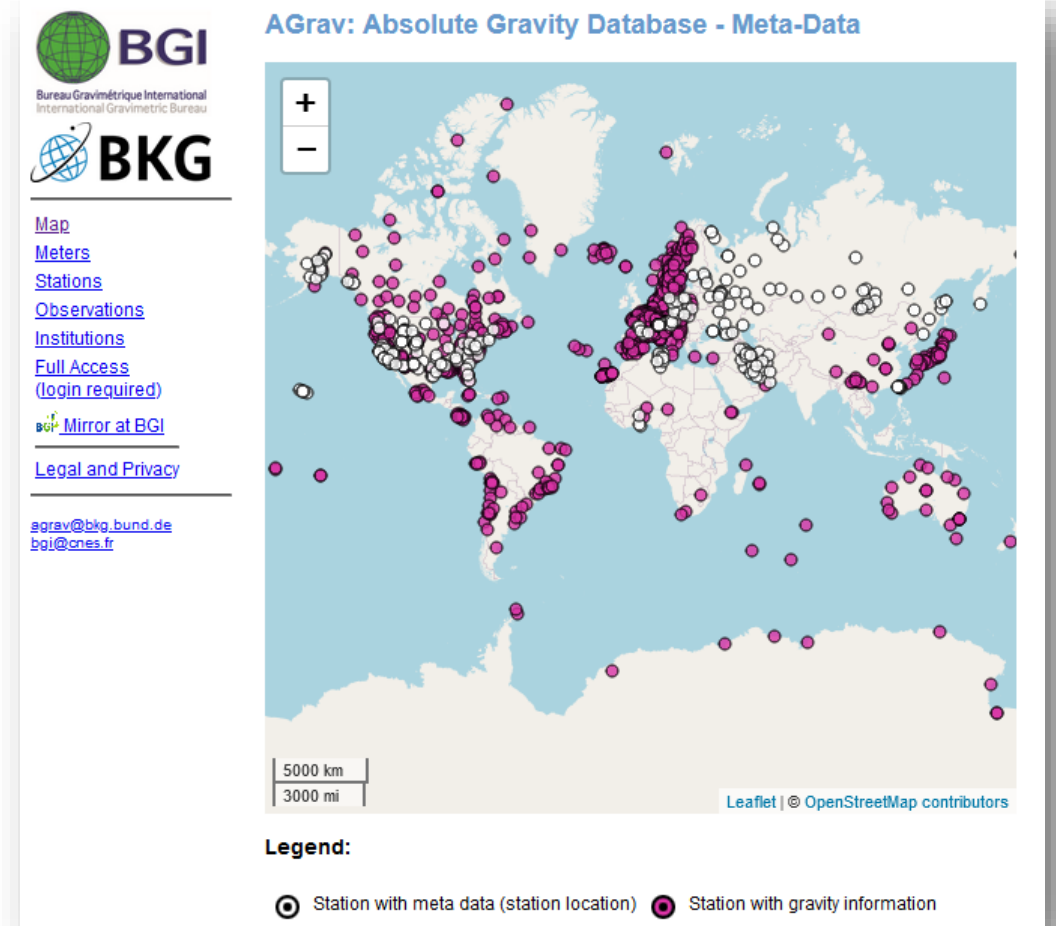
Referencia:
Falk, R., Pálinkáš, V., Wziontek, H., Rülke, A., Val'ko, M., Ullrich, C., ... & Steffen, H. (2020). Final report of EURAMET. MG-K3 regional comparison of absolute gravimeters. Metrologia, 57(1A), 07019. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/57/1A/07019>

► Documentación e inventario de estaciones

Base de datos de la IAG: AGrav (BGI/BKG)

¿Qué datos son necesarios?

- Valores de gravedad;
 - Época de observación;
 - Posición y altura de la marca;
 - Correcciones aplicadas;
 - Altura de medición;
 - Gradiente de la gravedad con la altura.
-
- En el futuro:
 - Documentación y resultados de comparaciones;
 - Documentación sobre estaciones (e.g. fotos, informes, planos, responsables, etc.).



<http://agrav.bkg.bund.de/>

<http://bgi.obs-mip.fr/data-products/gravity-databases/absolute-gravity-data/>



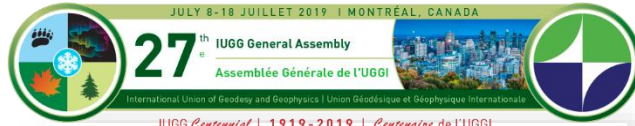
► Infraestructura y accesibilidad del Marco a los usuarios

Una vez definido el Sistema de Referencia y su materialización a través de:

1. Mediciones con gravímetros absolutos;
2. Comparaciones entre gravímetros absolutos para asegurar el acuerdo entre sus observaciones;
3. Modelos y correcciones convencionales para aplicar a sus observaciones;
4. Estaciones de referencia y para el monitoreo de los instrumentos (estaciones de comparación).

¿Cómo integrar la infraestructura actual (redes de orden cero nacionales, regionales e internacionales) en el IGRF e involucrar a las instituciones responsables?

► Resolución N°4 de la IAG del año 2019



Resolution 4: Establishment of the Infrastructure for the International Gravity Reference Frame

The International Association of Geodesy,

Considering,

The IAG Resolution No. 2 for the establishment of a global absolute gravity reference system released at the 26th IUGG General Assembly in July 2015;

Acknowledging,

The achievements of

- JWG 2.1.1 “Establishment of a global absolute gravity reference system“;
- Sub-Commission 2.1 “Gravimetry and Gravity Networks“;
- International Gravity Field Service (IGFS)

in realizing this resolution;

Noting,

That the realization of the International Gravity Reference System (IGRS), the International Gravity Reference Frame (IGRF), is based on measurements with absolute gravimeters (AG) monitored at reference stations and during international comparisons, which needs the support of national and international institutions;

Urges,

International and national institutions, agencies and governmental bodies in charge of geodetic infrastructure to

- Establish a set of absolute gravity reference stations on the national level,
- Perform regular absolute gravity observations at these stations,
- Participate in comparisons of absolute gravimeters to ensure their compatibility,
- Make the results available open access.

Reconoce:

Que la realización del IGRS (el IGRF) está basado en:

- Mediciones con gravímetros absolutos en estaciones de referencia y;
- Campañas de comparación entre gravímetros absolutos;

Y que para dicha realización es necesario apoyo de instituciones nacionales e internacionales.

Referencia:

Poutanen, M., Rózsa, S. The Geodesist's Handbook 2020. J Geod 94, 109 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00190-020-01434-z>

► Resolución N°4 de la IAG del año 2019



Resolution 4: Establishment of the Infrastructure for the International Gravity Reference Frame

The International Association of Geodesy,

Considering,

The IAG Resolution No. 2 for the establishment of a global absolute gravity reference system released at the 26th IUGG General Assembly in July 2015;

Acknowledging,

The achievements of

- JWG 2.1.1 “Establishment of a global absolute gravity reference system“;
- Sub-Commission 2.1 “Gravimetry and Gravity Networks“;
- International Gravity Field Service (IGFS)

in realizing this resolution;

Noting,

That the realization of the International Gravity Reference System (IGRS), the International Gravity Reference Frame (IGRF), is based on measurements with absolute gravimeters (AG) monitored at reference stations and during international comparisons, which needs the support of national and international institutions;

Urges,

International and national institutions, agencies and governmental bodies in charge of geodetic infrastructure to

- Establish a set of absolute gravity reference stations on the national level,
- Perform regular absolute gravity observations at these stations,
- Participate in comparisons of absolute gravimeters to ensure their compatibility,
- Make the results available open access.

Reconoce:

Que la realización del IGRS (el IGRF) está basado en:

- Mediciones con gravímetros absolutos en estaciones de referencia y;
- Campañas de comparación entre gravímetros absolutos;

Y que para dicha realización es necesario apoyo de instituciones nacionales e internacionales.

Insta a:

Instituciones nacionales e internacionales, agencias y cuerpos del gobierno a cargo de la infraestructura geodésica a:

- Establecer un conjunto de estaciones de referencia de gravedad absoluta a nivel nacional;
- Realizar mediciones periódicas de gravedad absoluta en dichas estaciones;
- Participar en las campañas de comparación de gravímetros absolutos;
- Publicar los resultados en formato open access.

Referencia:

Poutanen, M., Rózsa, S. The Geodesist's Handbook 2020. J Geod 94, 109 (2020).

<https://doi.org/10.1007/s00190-020-01434-z>



¿Cuál es el impacto a nivel regional del establecimiento del IGRS/IGRF?

¿Cómo involucrar a la comunidad SIRGAS en los esfuerzos de la IAG en el establecimiento del IGRS/IGRF?



► Redes gravimétricas absolutas a nivel regional

San Pablo, Brasil

-50° -45°



Minas-Gerais Brasil

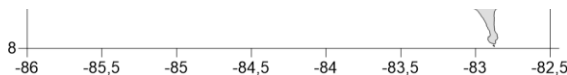
En el ámbito de SIRGAS:

- Distintas redes gravimétricas absolutas (e.g. una por país);
- Observaciones mayormente realizadas con gravímetros absolutos A10;
- Distintas épocas de observación.

¿Cómo incluir los esfuerzos realizados a nivel regional al IGRF?

1. Seleccionar al menos una estación del IGRF a nivel regional que cumpla con las características de una estación de referencia y comparación;
2. Realizar comparaciones entre los distintos gravímetros absolutos para definir un nivel medio común;
3. Estandarizar procedimientos de medición y procesamiento de observaciones absolutas, compatibles con las recomendaciones proporcionadas para el IGRF.

Éstos son puntos actualmente abordados por el JWG 2.1.1!



Argentina



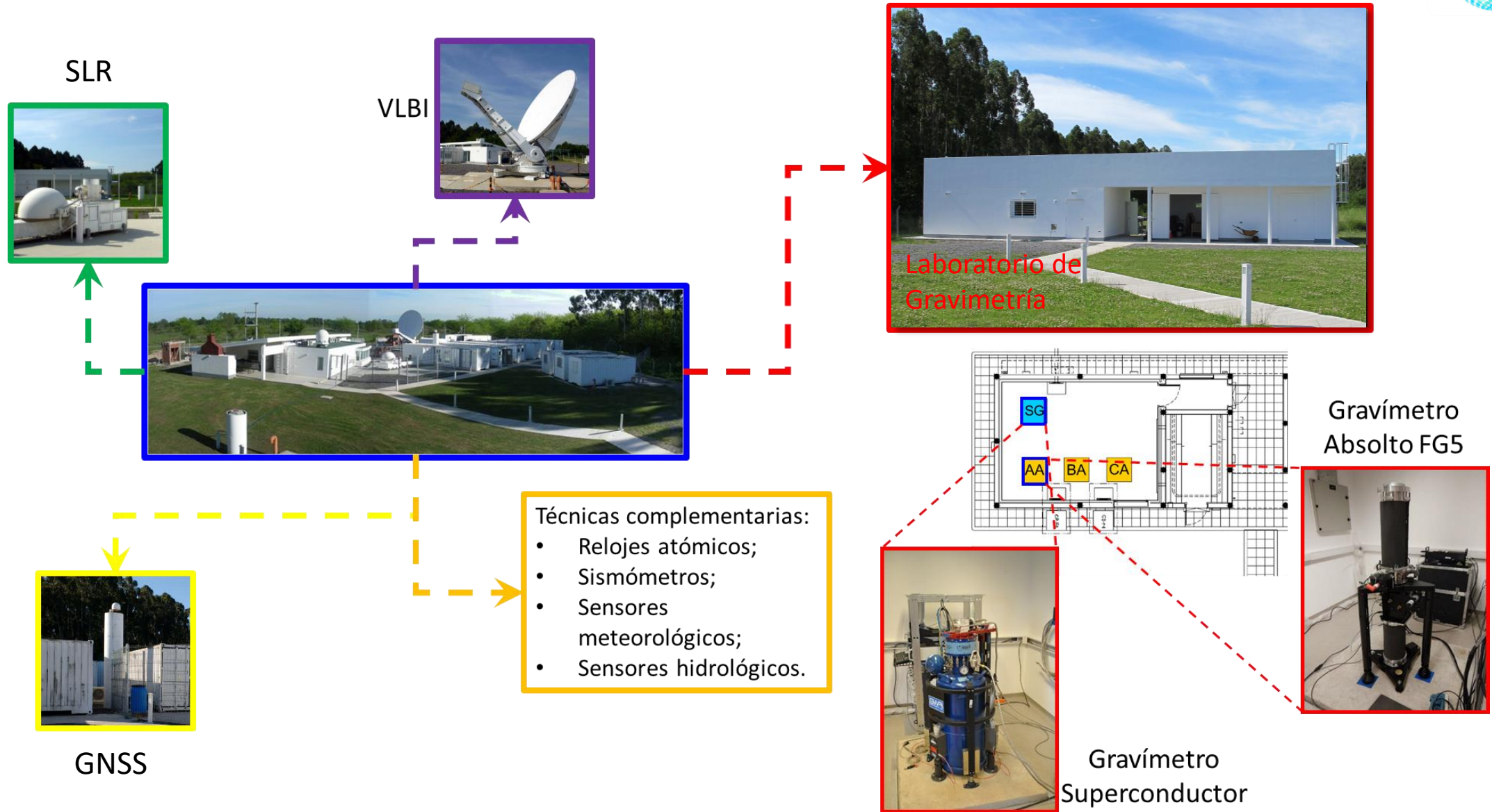
Brasil

Venezuela



► 1. Estación de referencia y comparación del IGRF

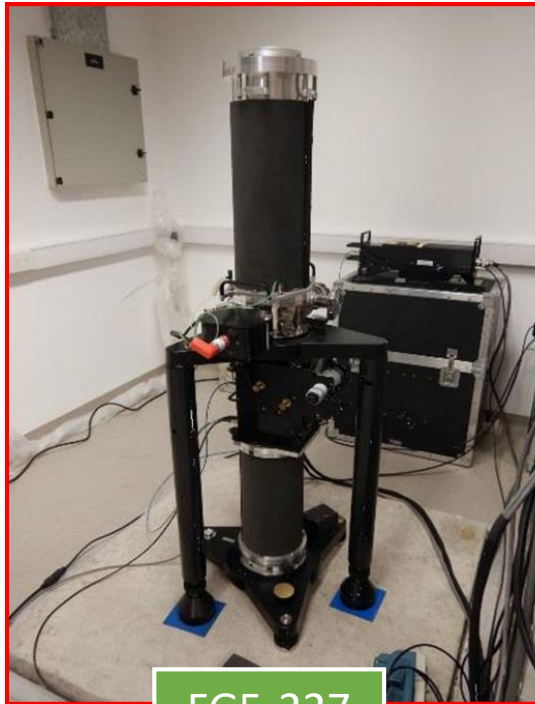
El Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO):



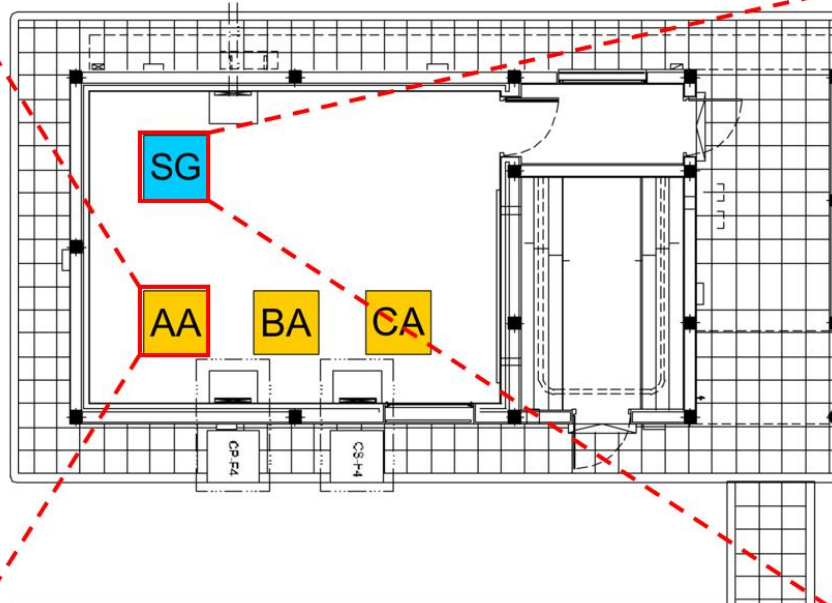
► El Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO)



Laboratorio de Gravimetría: una oportunidad para establecer el IGRF en el ámbito de SIRGAS.



FG5-227



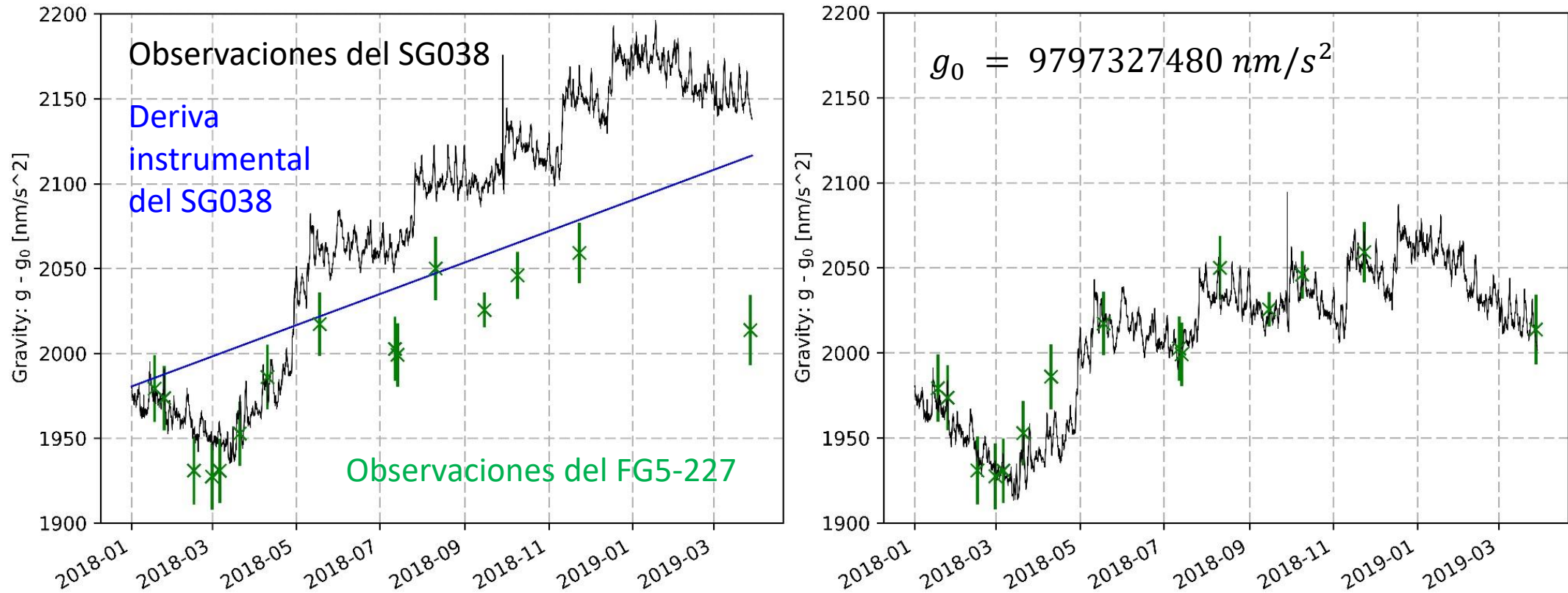
SG038

AGGO posee cuatro pilares de gravedad, los cuales están pensados para realizar comparaciones entre gravímetros absolutos, utilizando el SG como referencia temporal.

► Función de referencia de gravedad en AGGO



La función de referencia de gravedad permite, a partir de las observaciones del gravímetro superconductor, predecir valores absolutos de gravedad en forma continua y a cualquier tiempo.



► AGGO como core-station del IGRF

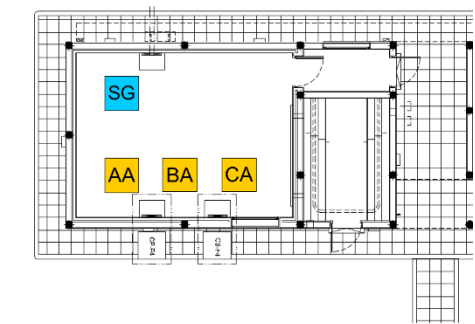
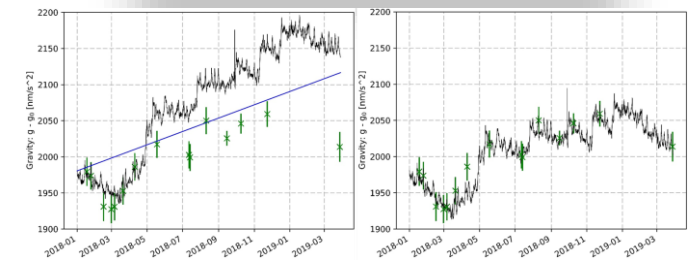
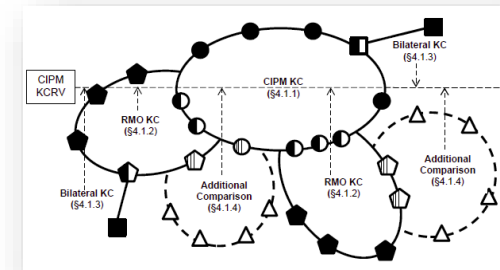


AGGO

Gravímetro absoluto vinculado a comparaciones internacionales

Función de referencia de gravedad provista por el SG

Tres pilares para campañas de comparación

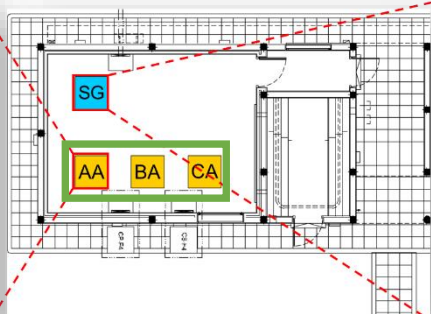
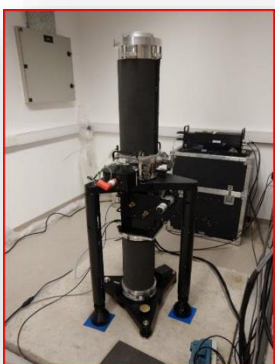
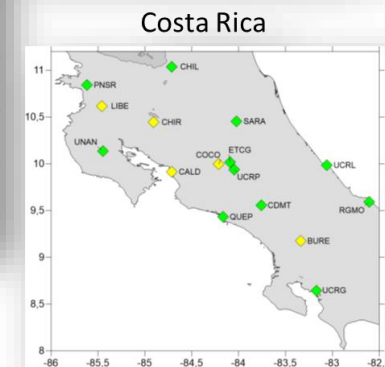
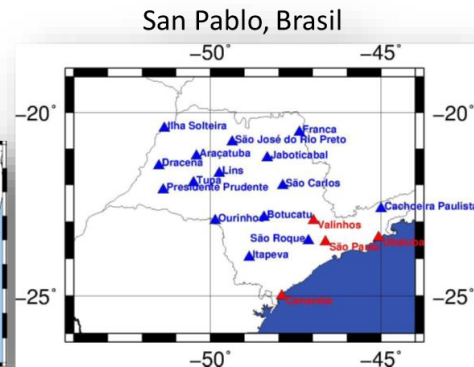
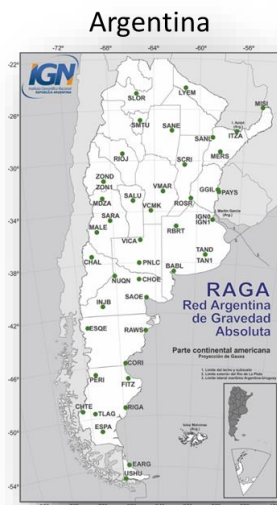
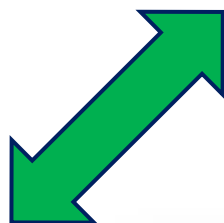


AGGO cuenta con todas las características para convertirse en una de las estaciones centrales del IGRF a nivel regional.

► 2. Comparaciones entre los gravímetros absolutos para definir un nivel medio común;

Vínculo:

- ✓ Al IGRF;
- ✓ Comparaciones entre gravímetros absolutos a nivel regional;
- ✓ Intercambio de conocimiento.



El FG5-227, en conjunto con el SG038, contribuye a establecer un nivel medio en AGGO que sirva como referencia para comparar otros gravímetros absolutos.

► Documentación e inventario de estaciones

Base de datos de la IAG: AGrav (BGI/BKG)

Toda las observaciones de gravedad absolutas podrán contribuir con la base de datos a nivel global AGrav.

¿Qué datos son necesarios?

- Valores de gravedad;
- Época de observación;
- Posición y altura de la marca;
- Correcciones aplicadas;
- Altura de medición;
- Gradiente de la gravedad con la altura.

- En el futuro:
 - Documentación y resultados de comparaciones;
 - Documentación sobre estaciones (e.g. fotos, informes, planos, responsables, etc.).

<http://agrav.bkg.bund.de/>

<http://bgi.obs-mip.fr/data-products/gravity-databases/absolute-gravity-data/>



▶ 3. Desafíos para el establecimiento del IGRF – Sus contribuciones!

proposed, representing minimum requirements.

The IGRF is realized by measurements with absolute gravimeters at any time. These instruments need to be compared at different levels, from international comparisons under guidance of the CIPM to additional comparisons for users in geosciences. This is an essential part of the concept and underlines the need to continue the common efforts of metrology and geodesy. To ensure their stability, the instruments should be further monitored at reference stations where a gravity reference function is available.

To make the IGRF accessible to users and to finally replace the previous IGSN71 network, an adequate infrastructure based on absolute gravity measurements needs to be built up. This requires the support of international and national institutions, agencies and governmental bodies in charge of geodetic infrastructure which are encouraged to establish compatible first order gravity networks and to provide information about existing absolute gravity observations. This was acknowledged by IAG with Resolution No. 4 of 2019 and provides the frame for activities IAG Joint Working Group 2.1.1. to establish the IGRF.

A modern and precise absolute gravity reference system will serve as a long-term and precise gravity reference for IAG's Global Geodetic Observing System and will contribute to the establishment of the Global Geodetic Reference Frame (GGRF) of UN-GGIM.

- ✓ Definición del Sistema de Referencia: aceleración instantánea de la caída-libre, medida en el Sistema Internacional de Unidades (SI);
- ✓ Conjunto de correcciones convencionales:
Convenciones IGRS 2020
- ✓ Materialización: estaciones de referencia y comparación;
- ✓ Comparación de gravímetros absolutos.

Desafíos:

- ❖ Selección de estaciones de referencia;
- ❖ Recomendaciones de medición;
- ❖ Infraestructura para el usuario: marcas y documentación.

¡Nuevas contribuciones a las actividades del IAG JWG 2.1.1 son bienvenidas!



► Resumen y conclusiones

- ✓ La IAG, a través del JWG 2.1.1, trabaja arduamente en el establecimiento de un Sistema de Referencia Internacional de Gravedad (IGRS) y su materialización (IGRF):
 - Mediciones de gravedad absoluta;
 - Requerimiento: monitoreo del instrumental utilizado en estaciones de referencia;
 - Comparaciones entre gravímetros absolutos;
 - Establecimiento de una infraestructura compatible para hacer el IGRF accesible a los usuarios.

- ✓ A nivel regional, AGGO cuenta con la capacidad e infraestructura para transformarse en una de las estaciones centrales del IGRF contando con:
 - Mediciones con un gravímetro absoluto FG5, vinculado a campañas de comparación internacionales;
 - Pilares a fin de realizar campañas de comparación a nivel regional;
 - Una función de referencia de gravedad provista a partir del gravímetro superconductor.

- ✓ SIRGAS, a través de las entidades nacionales que la componen, tiene la posibilidad de participar en forma activa en la realización del IGRF a nivel regional.



Muchas gracias!

*Hartmut Wziontek: hartmut.wziontek@bkg.bund.de
Ezequiel Antokoletz: ezequiel.antokoletz@gmail.com*

Webinar SIRGAS – 05 de Marzo de 2021

