

Sistema Internacional de Alturas: Definición (IHRF), realización (IHRF), estado actual

Laura Sánchez (lm.sanchez@tum.de)

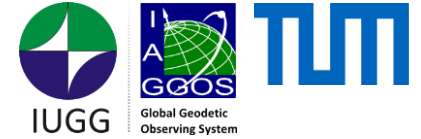
Vicepresidente del Sistema Global de Observación Geodésica - GGOS
(*Global Geodetic Observing System*)

Coordinadora de GGOS Focus Area “Unified Height System”

Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut
Technische Universität München (DGFI-TUM)
Alemania

Contenido

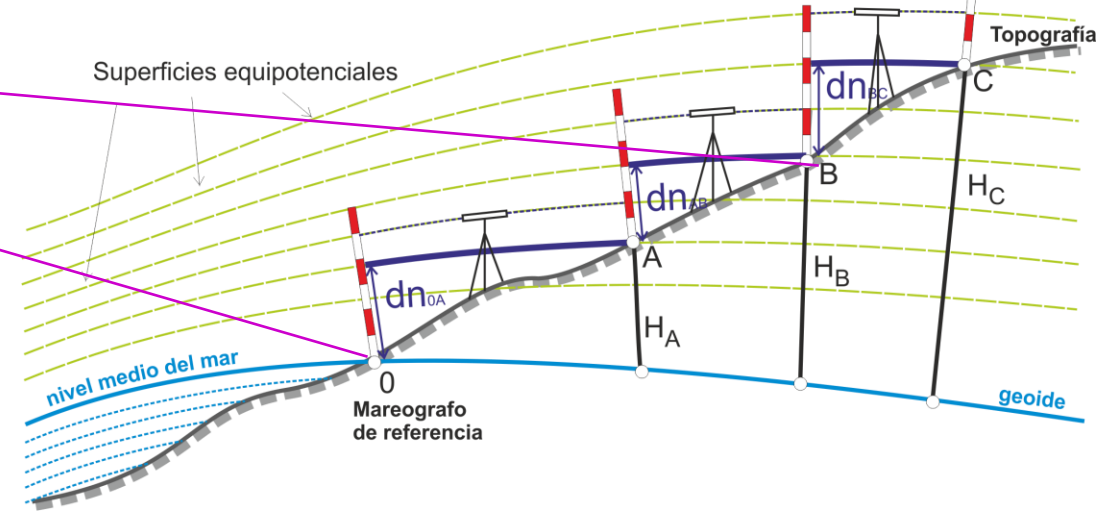
- Introducción
 - Sistemas de alturas existentes
 - Necesidad de un sistema global unificado de alturas
 - Modelado del campo de gravedad
- Definición del Sistema Internacional de Alturas (IHRF)
- Realización del Sistema Internacional de Alturas (IHRF)
- Consideraciones sobre la determinación de coordenadas IHRF
- Avances en la primera solución del IHRF



Sistemas de alturas existentes

$$C_B = W_0 - W_B = \int_0^B g \delta n \cong \sum_0^B g \, dn$$

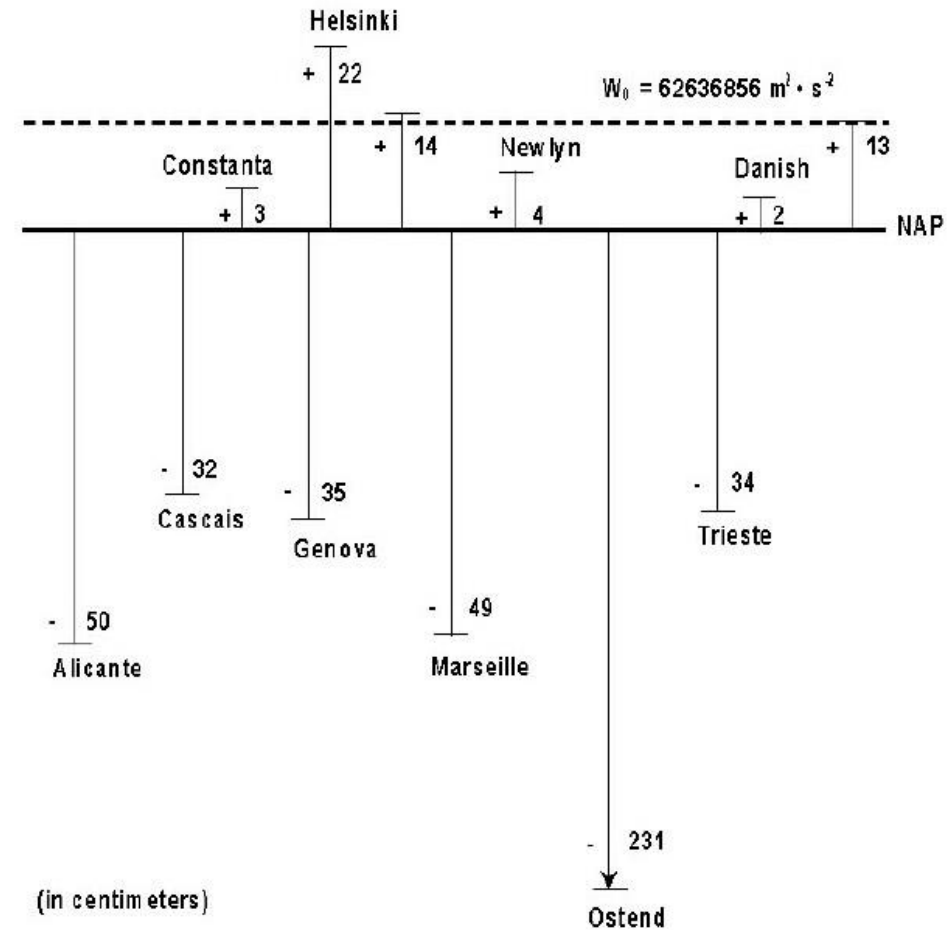
$$H_P = \frac{C_P}{\hat{g}} = \frac{W_0 - W_P}{\hat{g}}$$



- Basados en **nivelación geodésica** referida a un registro local del nivel medio del mar (mareógrafo), pero **diferentes “niveles medios”** del mar;
- Corrección de la nivelación por gravedad → **números geopotenciales (alturas físicas)**, pero **no siempre**;
- Determinación de **alto costo** en tiempo y dinero → alturas en **diferentes épocas**, **omisión de mov. verticales**;
- Precisión mejor que **±1 mm entre puntos vecinos**, pero errores sistemáticos de hasta **dm en regiones remotas**;
- En uso desde hace **150 años** (cartografía, desarrollo urbano y rural, acueductos, construcción de obras de ingeniería, etc.), pero se quiere que sean **compatibles con posicionamiento GNSS**.

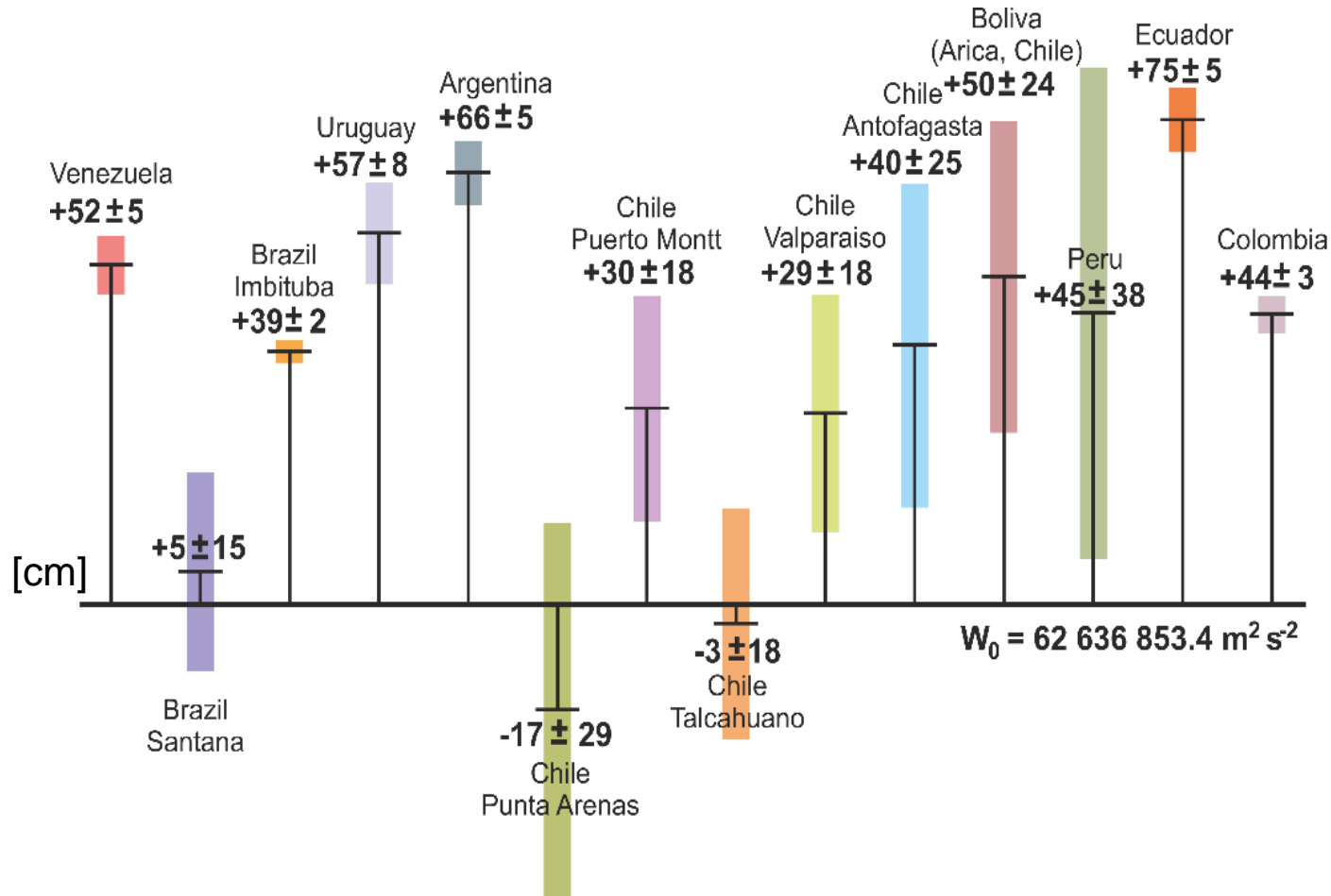
Discrepancias entre los sistemas de alturas existentes

Reference Tide Gauges of European Height Systems



Fuente: <http://www.bkg.bund.de/geodIS/EVRS/>

Discrepancias entre los sistemas de alturas existentes

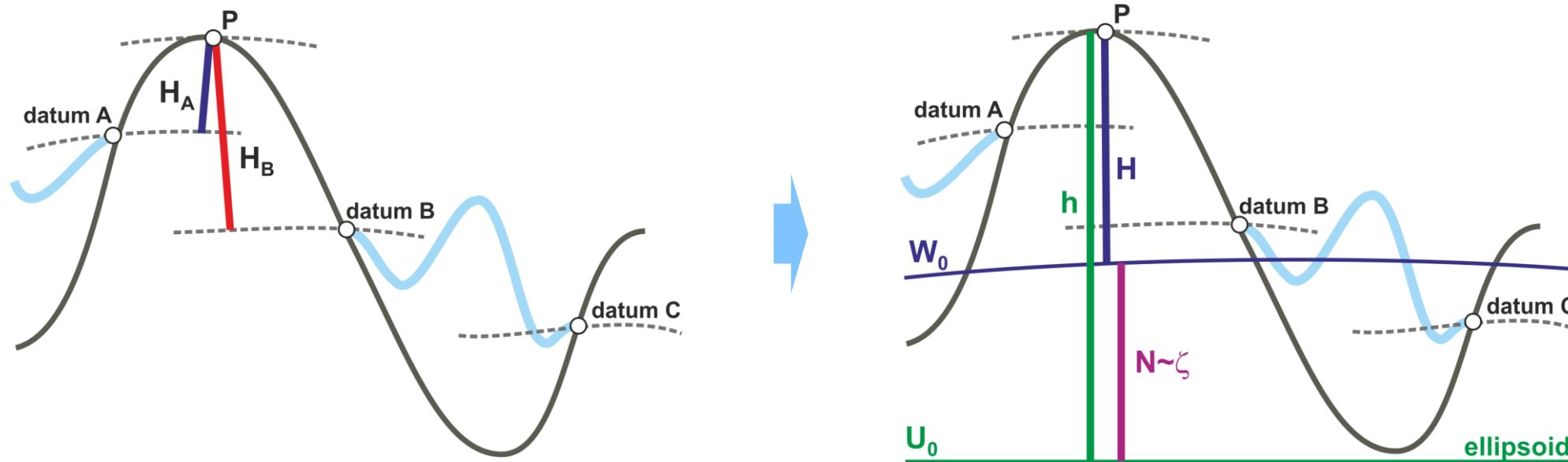


Fuente: <https://doi.org/10.1093/gji/ggx025>

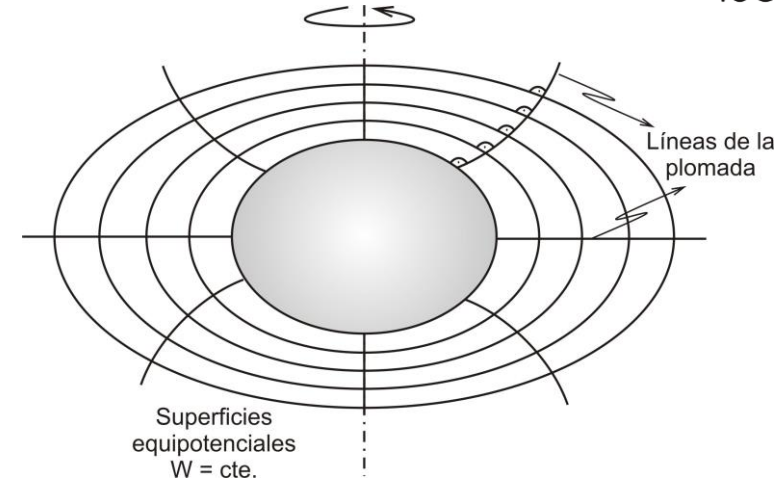
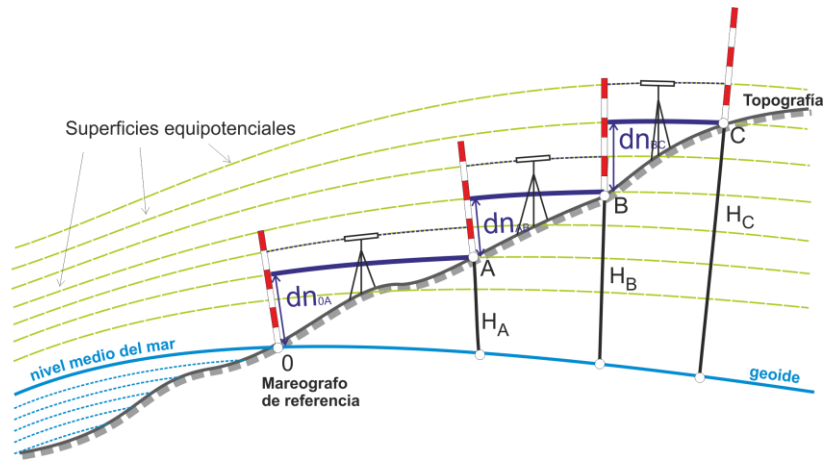
Sistema global unificado de alturas

Sistema de referencia moderno

- que sirva de estándar para la determinación de alturas físicas precisas en cualquier lugar del mundo,
- que permita referir las alturas físicas de cualquier país a una única superficie equipotencial global (W_0),
- que tenga en cuenta el cambio de coordenadas a través del tiempo,
- que facilite la combinación precisa del posicionamiento GNSS con alturas físicas ($h = H + N$).



Sistemas locales vs sistema global de alturas



- **Nivel de referencia:** mareógrafo con W_0 local
- **Coordenada vertical:** números geopotenciales locales

$$H_P^{local} = \frac{W_0^{local} - W_P}{\hat{g}} = \frac{C_P^{local}}{\hat{g}}$$

- **Método:** nivelación + gravimetría
- **Coordenada horizontal** secundaria
- **Monitoreo:** complicado porque una renivelación es dispendiosa y costosa

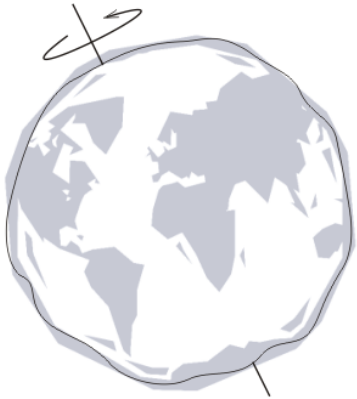
- **Nivel de referencia:** superficie equipotencial global W_0
- **Coordenada vertical:** números geopotenciales globales

$$-\Delta W_P = C_P = W_0 - W_P \text{ Coordenada primaria}$$

- **Método:** modelado del campo de gravedad terrestre para la determinación de W_P
- **Coordenada horizontal geocéntrica** con GNSS
- **Monitoreo:** con posicionamiento continuo GNSS y cambios del campo de gravedad terrestre

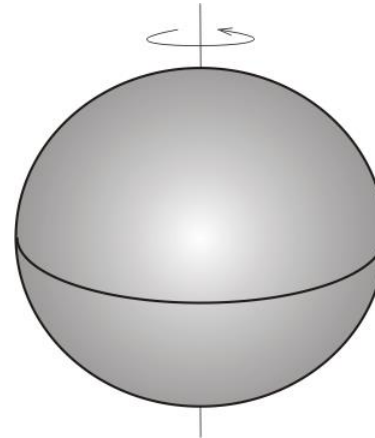
Modelado del campo de gravedad

Geoide (realidad)



- Radio ecuatorial: **a**
- Aplanamiento: **C_2**
- Velocidad de rotación: ω
- Masa: **M**
- Distribución **heterogénea** de masas
- Variación radial de gravedad **desconocida**
- Campo de gravedad real: **g**
- Campo de potencial real: **W**
- Superficie de nivel principal (**W_0 , H_0**):
geoide

Elipsoide (modelo)



- Radio ecuatorial: **a**
- Aplanamiento: **f (J_2)**
- Velocidad de rotación: ω
- Masa: **M**
- Distribución **homogénea** de masas
- Variación radial **constante** de gravedad
- Campo de gravedad teórico: γ
- Campo de potencial teórico: **U**
- Superficie de nivel principal (**U_0 , h_0**):
elipsoide de nivel

Diferencias:

Diferencias en gravedad

$$\rightarrow \Delta g = g - \gamma$$

$$\rightarrow \delta g = g - \gamma$$

Potencial de perturbación

$$\rightarrow T = W - U$$

Ondulación (altura) geoidal

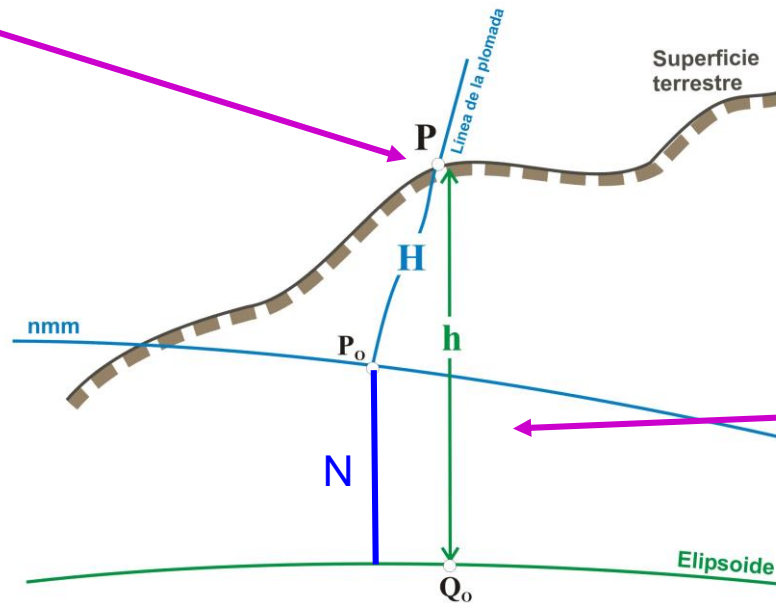
$$\rightarrow N = T/\gamma = h - H$$

→ Para determinar el potencial W ($= U + T$) en cualquier punto, debe conocerse el potencial de perturbación T ; el cual a su vez, se necesita para determinar el geoide.

Modelado del campo de gravedad

Perturbación de gravedad:

$$\delta g = g_P - \gamma_P$$



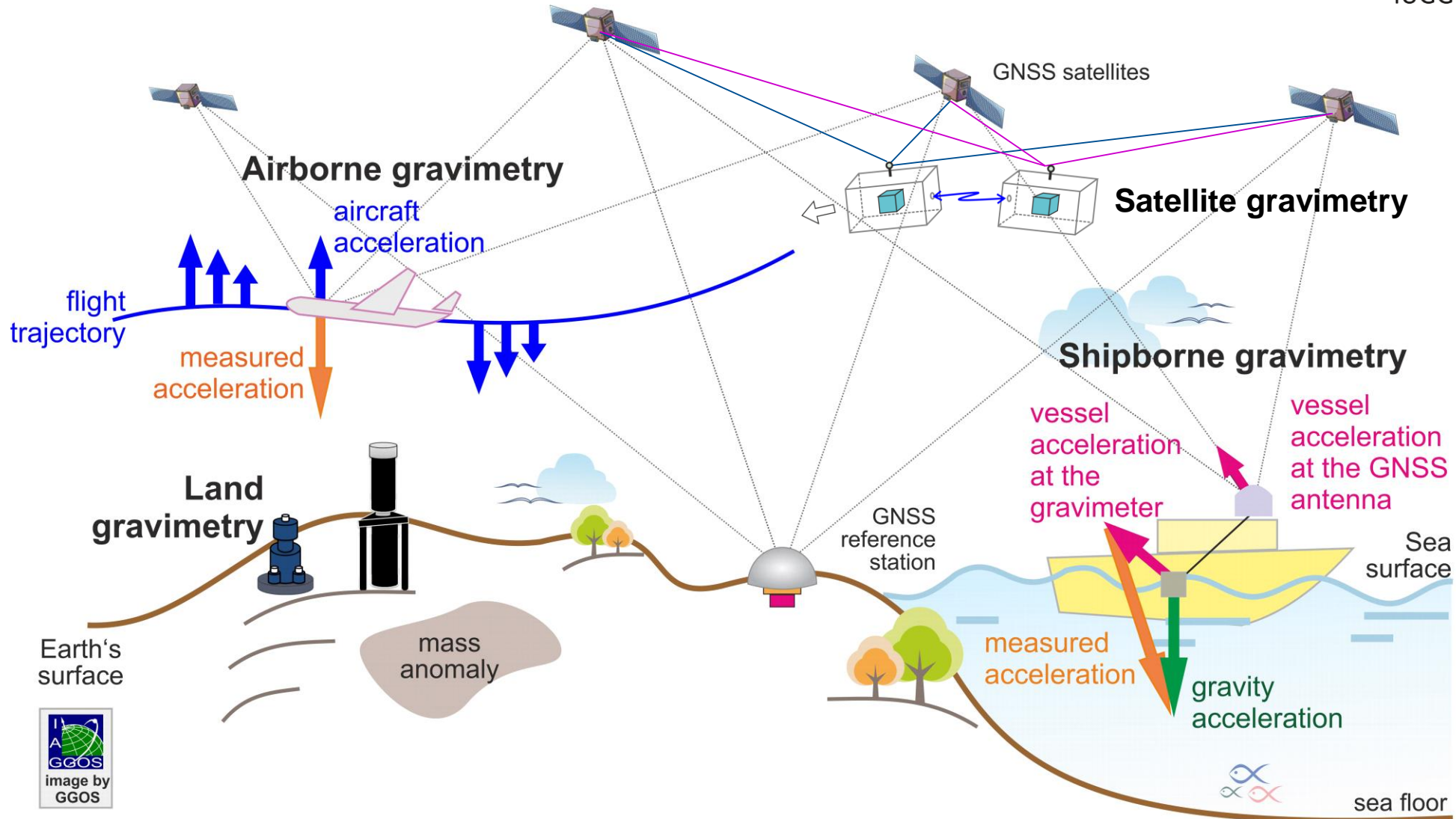
Anomalía de gravedad:

$$\Delta g = g_{P_0} - \gamma_{Q_0}$$

Ecuación fundamental de la Geodesia Física:
$$\Delta g = \delta g + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T = -\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T$$

Ecuación de Bruns:
$$N = \frac{T}{\gamma}$$

Modelado del campo de gravedad

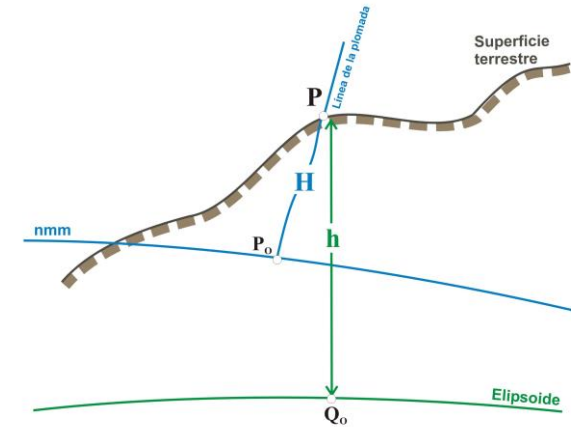


Modelado del campo de gravedad

Ecuación fundamental de la Geodesia Física:
$$\Delta g = \delta g + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T = -\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T$$

La confiabilidad de T depende de:

- La calidad y distribución de las mediciones g
- El traslado (reducción) de las mediciones satelitales, aéreas, marinas a la superficie terrestre (punto P)
- El traslado de los valores de g de la superficie terrestre (punto P) a la superficie del geoide (punto P_0)
- Las aproximaciones necesarias para resolver la ecuación fundamental de la geodesia física:
 - El potencial de atracción gravitacional tiende a cero en el infinito
 - No puede haber atracción gravitacional fuera del geoide (Sol, Luna, masas topográficas deben “removearse”)
 - La ecuación debe ser válida en cualquier momento (Δg , δg , T , h deben ser cuasiestacionarios)
 - Métodos matemáticos para la solución de la ecuación (Colocación por mínimos cuadrados, Fourier, series binomiales, wavelets, etc.)

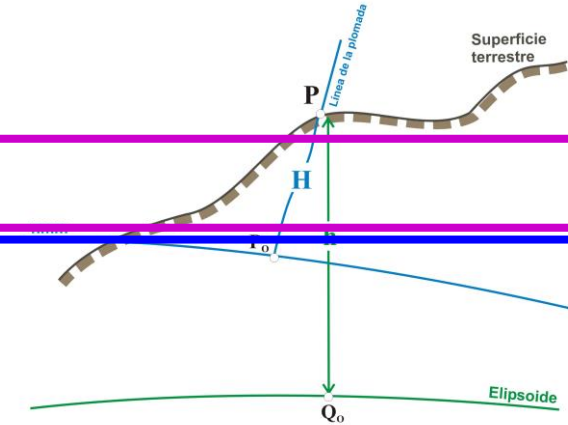


Modelado del campo de gravedad

Ecuación fundamental de la Geodesia Física:
$$\Delta g = \delta g + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T = -\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T$$

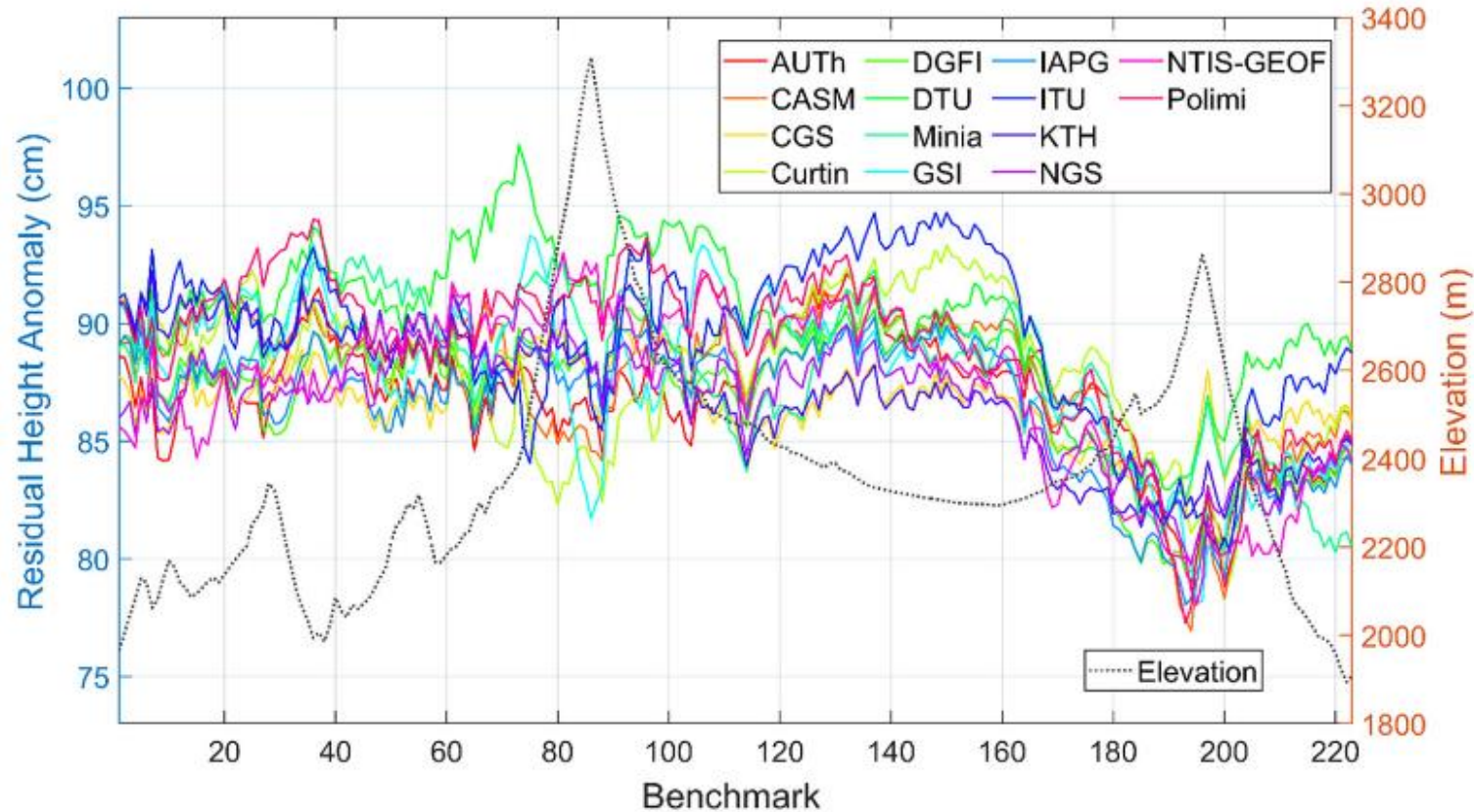
La confiabilidad de T depende de:

- La calidad y distribución de las mediciones g (datos iniciales)
- El traslado (reducción) de las mediciones satelitales, aéreas, marinas a la superficie terrestre (punto P)
- El traslado de los valores de g de la superficie terrestre (punto P) a la superficie del geoide (punto P_0)
- Las aproximaciones necesarias para la ecuación fundamental de la geodesia física
 - El potencial de atracción gravitacional tiende a cero en el infinito
 - No puede haber atracción gravitacional fuera del geoide (Sol, Luna, masas topográficas deben “removearse”)
 - La ecuación debe ser válida en cualquier momento (Δg , δg , T , h deben ser cuasiestacionarios)
 - Métodos matemáticos para la solución (Colocación por mínimos cuadrados, Fourier, series binomiales, wavelets)



Modelado del campo de gravedad

La determinación de T requiere de una serie de aproximaciones, las cuales influyen en los resultados: diferentes métodos, producen resultados diferentes aún cuando se utilicen los mismos datos de entrada.



Fuente: Wang et al. (2021). Colorado geoid computation experiment: overview and summary. J Geod 95, 127, <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01567-9>

Sistema Internacional de Alturas IHRS

International Height Reference System (IHRS)

- 1) Sistema de referencia **convencional** definido por la **Asociación Internacional de Geodesia** (Resolución IAG No. 1, Praga, julio 2015)
- 2) Coordenada vertical son **diferencias de potencial** con respecto a un valor W_0 convencional:

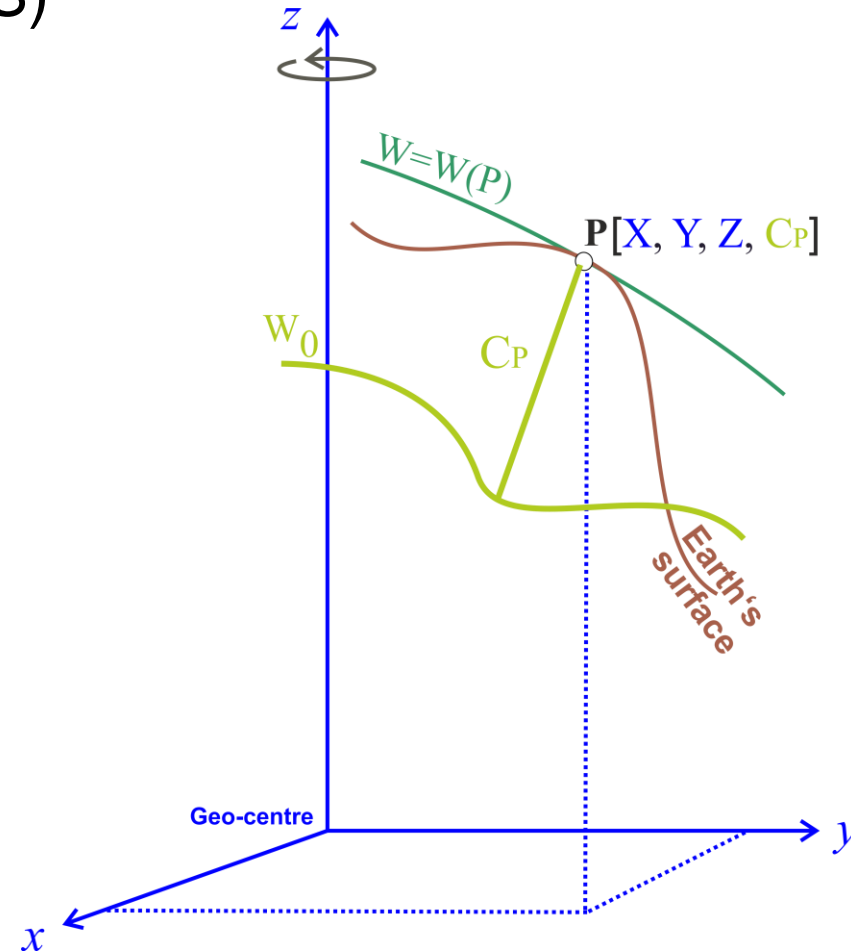
$$C_P = C(P) = W_0 - W(P) = -\Delta W(P)$$

$$W_0 = \text{const.} = 62\,636\,853.4 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$$

- 2) La posición de P se define en el ITRF

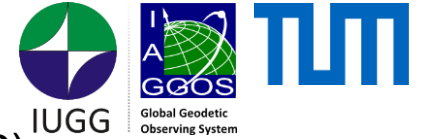
$$\mathbf{X}_P (X_P, Y_P, Z_P); \text{ i.e., } W(P) = W(\mathbf{X}_P)$$

- 3) La determinación de $\mathbf{X}(P)$, $W(P)$ (o $C(P)$) incluye sus cambios a través del tiempo, $\dot{\mathbf{X}}(P)$, $\dot{W}(P)$ (o $\dot{C}(P)$).
- 4) Coordenadas en **mean-tide system / mean (zero) crust.**
- 5) Las unidades son **metro y segundo (SI)**.



Ver: Ihde J. et al.: *Definition and proposed realization of the International Height Reference System (IHRS)*. *Surv Geophys* 38(3), 549-570, <https://doi.org/10.1007/s10712-017-9409-3>, 2017
 Sánchez L. et al.: *A conventional value for the geoid reference potential W_0* , *J Geod*, 90(9): 815-835, <https://doi.org/10.1007/s00190-016-0913-x>, 2016.

Realización del IHRS: International Height Reference Frame (IHRF)



Un marco de referencia materializa un sistema de referencia de dos maneras (Drewes, 2009):

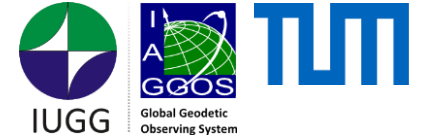
- físicamente, mediante el establecimiento de puntos de referencia materializados con pilares o instrumentos de observación,
- matemáticamente, mediante la determinación de coordenadas asociadas al sistema de referencia.
- Las coordenadas de los puntos de referencia se obtienen a partir de las mediciones pero siguiendo la definición del sistema de referencia.

La implementación del IHRS requiere principalmente:

- 1) Una red global de referencia
- 2) La determinación de coordenadas precisas (W , \dot{W} , \mathbf{X} , $\dot{\mathbf{X}}$) en las estaciones de referencia
- 3) Estándares, convenciones y procedimientos detallados para asegurar que la realización (IHRF) obedece estrictamente la definición (IHRS)
- 4) Una infraestructura operacional y organizacional que garantice el mantenimiento, la continuidad y la disponibilidad del IHRF a largo plazo.

Drewes H. (2009). *Geodetic Reference Frames*, IAG Symposia, Vol. 134, [10.1007/978-3-642-00860-3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-00860-3)

Configuración de la red de referencia del IHRF



1) Jerarquía:

- Una red global → distribución homogénea con
- Una red principal o primaria (**core network**) → para asegurar estabilidad y perdurabilidad a largo plazo
- **Densificaciones regionales y nacionales** → para asegurar acceso al marco de referencia desde cualquier lugar

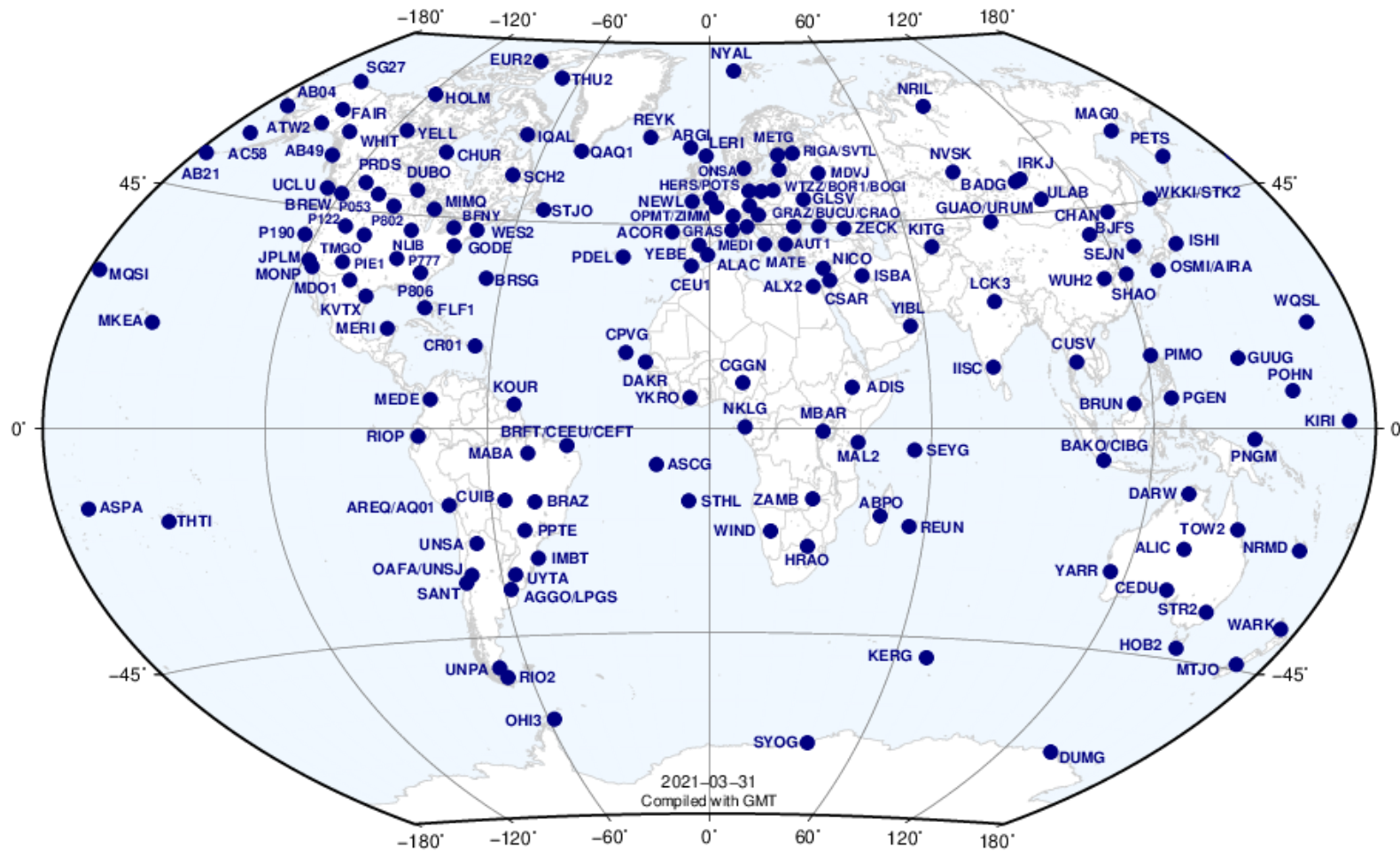
2) Co-localizada con:

- **Observatorios geodésicos fundamentales** → conexión directa entre \mathbf{X} , W , g y realización del tiempo (relojes de referencia);
- **Estaciones GNSS de operación continua** → para detectar deformaciones del marco de referencia (preferencia por estaciones ITRF y sus densificaciones regionales SIRGAS, EPN, APREF, etc.);
- **Mareógrafos de referencia y redes verticales nacionales** → para vincular los sistemas de alturas existentes al IHRF;
- Estaciones del **Marco de Referencia de Gravedad - ITGRF** (Resolución IAG 2 (2015)).

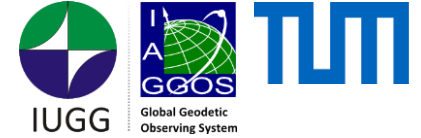
3) Requerimiento primordial: **disponibilidad de gravimetría terrestre (aérea) alrededor de las estaciones para la determinación precisa de valores de potencial W .**

Red primaria (core network) del IHRF (~170 estaciones)

- Selección de estaciones coordinada por **GGOS-FA Unified Height System** con el apoyo de **GGOS Bureau of Networks and Observations**, el **Bureau Gravimétrique International** (estaciones absolutas de gravedad) y las subcomisiones regionales de la **IAG** para marcos de referencia y modelado del geode.
- No es una “red inamovible o eterna” pueden agregarse o retirarse estaciones según necesidades específicas.
- Esta red primaria debe ser **densificada mediante redes regionales y nacionales**.

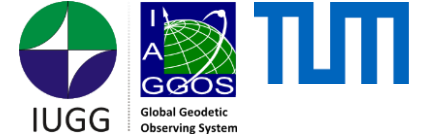


Consideraciones sobre las coordenadas IHRS/IHRF



- 1) El IHRS/IHRF está basado en la combinación de
 - una componente geométrica dada por el vector de coordenadas \mathbf{X} en the ITRS/ITRF y
 - una componente física dada por la determinación del potencial de gravedad W en la posición \mathbf{X} .
- 2) La determinación de \mathbf{X} se hace de acuerdo con las convenciones del IERS (International Earth Rotation and Reference Systems' Service);
- 3) La precisión “deseada” para W es
 - Posiciones: $\approx \pm 3 \times 10^{-2} \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ($\sim 3 \text{ mm}$)
 - Velocidades: $\approx \pm 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{s}^{-2}/\text{a}$ ($\sim 0.3 \text{ mm/a}$)
- 4) Por el momento, el objetivo es alcanzar una precisión de $\pm 1 \times 10^{-1} \text{ m}^2\text{s}^{-2}$ ($\sim 1 \text{ cm}$)
- 5) Las coordenadas IHRF incluyen la determinación (o modelado) de variaciones a través del tiempo. Por el momento, solo se está considerando una solución estática (estacionaria).

Posibilidades para la determinación de coordenadas IHRF



1) Modelos globales de gravedad de alta resolución (GGM-HR)

$$W(X, Y, Z) = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n [C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda] P_{nm}(\cos\theta) \right] + \frac{1}{2} \omega^2 r^2 \cos(90^\circ - \theta)$$

2) Modelado regional preciso del campo de gravedad (métodos para la determinación del geoide: $N = T/\gamma$)

Geoide: $W(P) = W_0 - (h(P) - N(P)) \cdot \bar{g}(P) \quad [\text{m}^2\text{s}^{-2}]$ with
 $\bar{g}(P) = g(P) + 0.424 \times 10^{-6} \cdot (h(P) - N(P)) + TC(P) \quad [\text{ms}^{-2}]$

3) Conversión de los sistemas de alturas existentes al IHRF, ver detalles en Sánchez L, Sideris MG (2017). *Vertical datum unification for the International Height Reference System (IHRF)* Geophysical Journal International, 209(2), 570-586, <https://doi.org/10.1093/gji/ggx025>.

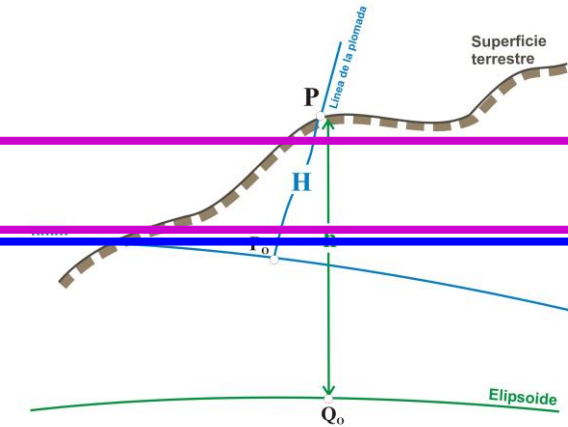
$$W_P = (W_0^{local} + \delta W) - C_P; \quad \delta W = W_0^{IHRF} - W_0^{local}$$

Modelado del campo de gravedad

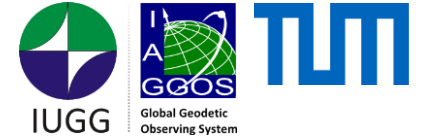
Ecuación fundamental de la Geodesia Física:
$$\Delta g = \delta g + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T = -\frac{\partial T}{\partial h} + \frac{1}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial h} T$$

La confiabilidad de T depende de:

- La calidad y distribución de las mediciones g (datos iniciales)
- El traslado (reducción) de las mediciones satelitales, aéreas, marinas a la superficie terrestre (punto P)
- El traslado de los valores de g de la superficie terrestre (punto P) a la superficie del geoide (punto P_0)
- Las aproximaciones necesarias para la ecuación fundamental de la geodesia física
 - El potencial de atracción gravitacional tiende a cero en el infinito
 - No puede haber atracción gravitacional fuera del geoide (Sol, Luna, masas topográficas deben “removearse”)
 - La ecuación debe ser válida en cualquier momento (Δg , δg , T , h deben ser cuasiestacionarios)
 - Métodos matemáticos para la solución (Colocación por mínimos cuadrados, Fourier, series binomiales, wavelets)

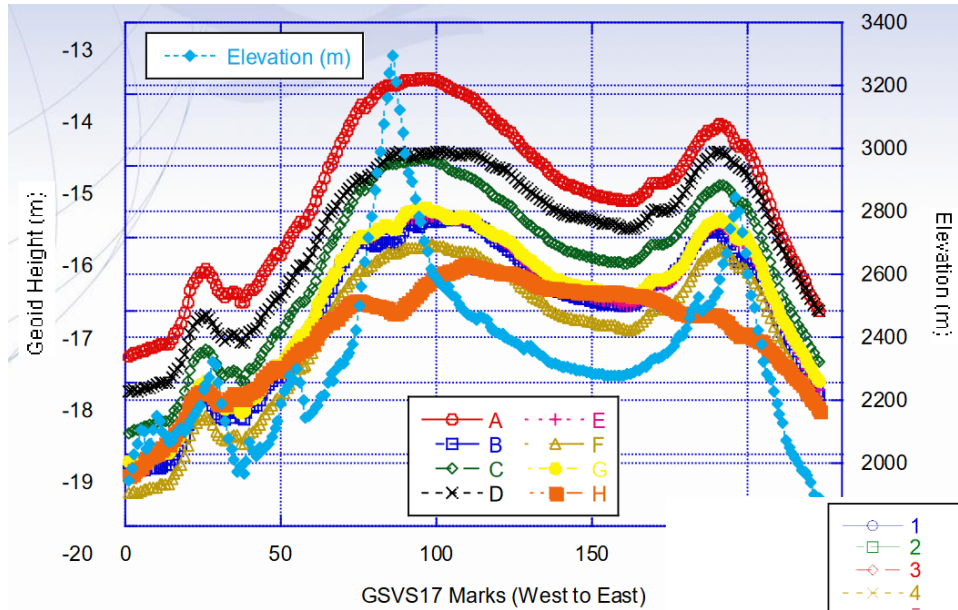


Consideraciones sobre las coordenadas IHRS/IHRF

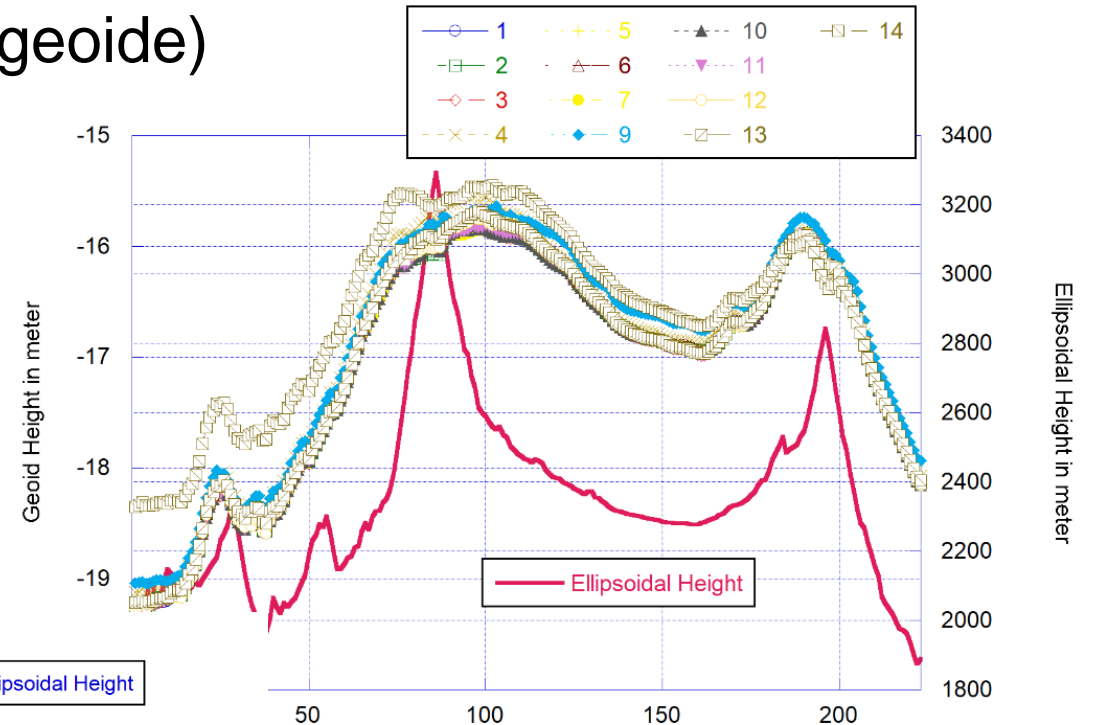


- Un cálculo “**centralizado**” de los valores de potencial es muy complicado porque la gravimetría terrestre (aérea, marina) es reservada → por tanto, expertos regionales/nacionales deben ser involucrados en el cálculo de las coordenadas IHRF en sus regiones.
- Un procedimiento “**estándar**” de cálculo no es apropiado porque
 - La disponibilidad y calidad de datos gravimétricos son muy diferentes de region a región
 - Zonas de diferentes características demandan diferentes aproximaciones (p.ej. Modificación de las funciones kernel, extensión de los radios de integración, reducciones geofísicas como GIA, etc.).
- Es claro que para el cálculo de las coordenadas de potencial en el IHRF van a utilizarse **diferentes métodos** con **aproximaciones o modificaciones específicas** en zonas específicas,
- Es necesario “**cuantificar**” las discrepancias entre dichos métodos: una cosa son las divergencias causadas por la calidad de los datos o por la preparación de los datos, y otra cosa son las divergencias causadas por diferentes modelos matemáticos,
- Se necesita una especie de “**calibración**” de los métodos de cálculo para tener certeza que la **calidad de las coordenadas IHRF refleja la calidad de los datos de gravedad** y no discrepancias en el tratamiento de los datos o posibles errores en los programas de cálculo.

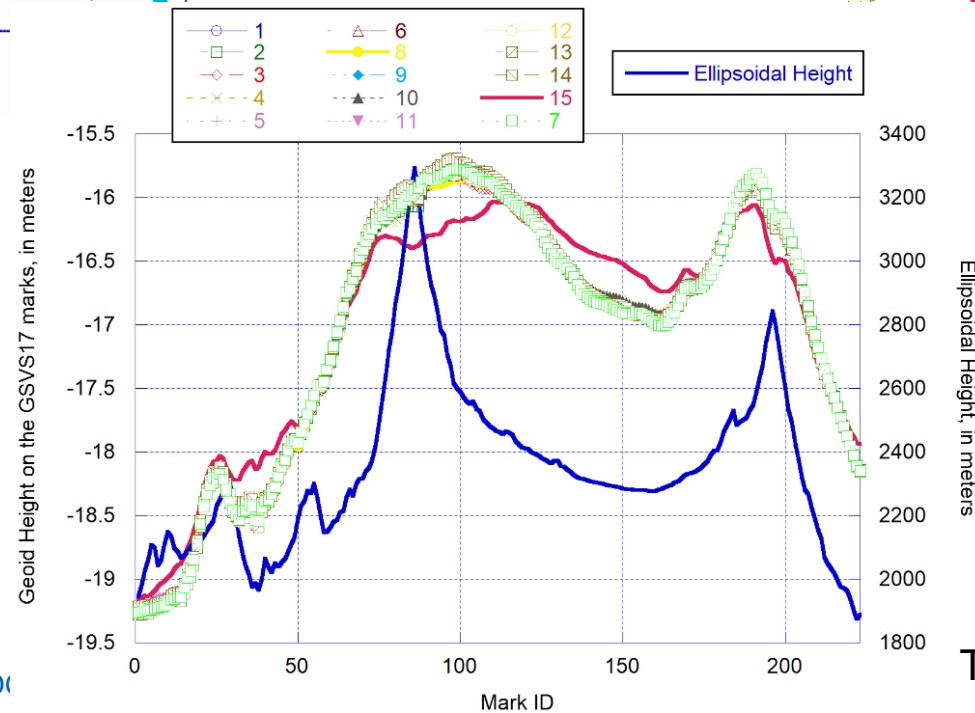
Necesidad (beneficio) del cálculo redundante (geoide)



Primer cálculo



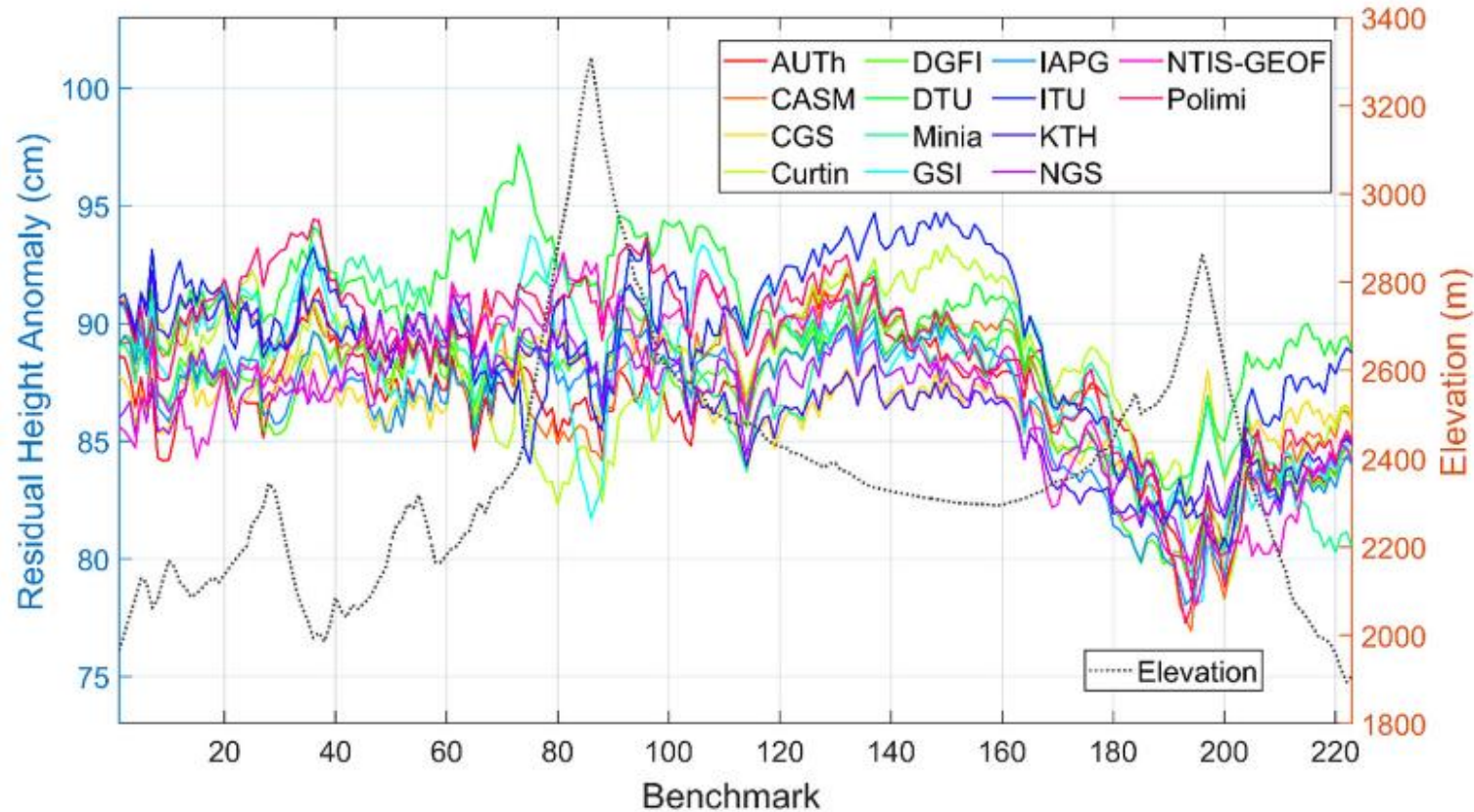
Segundo cálculo



Tercer cálculo

Modelado del campo de gravedad (geoide)

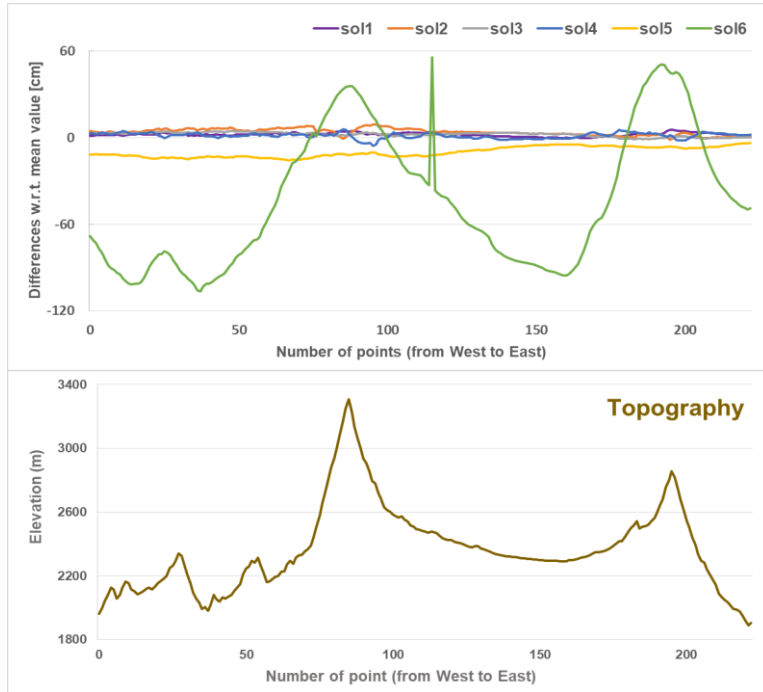
La determinación de T requiere de una serie de aproximaciones, las cuales influyen en los resultados: diferentes métodos, producen resultados diferentes aún cuando se utilicen los mismos datos de entrada.



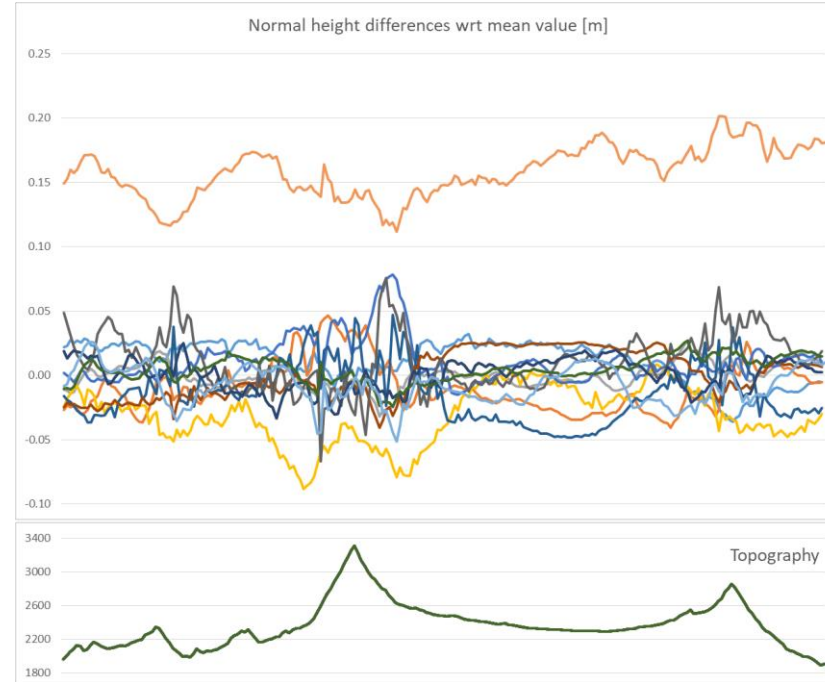
Fuente: Wang et al. (2021). Colorado geoid computation experiment: overview and summary. J Geod 95, 127, <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01567-9>

Necesidad (beneficio) del cálculo redundante (num geop, alturas físicas)

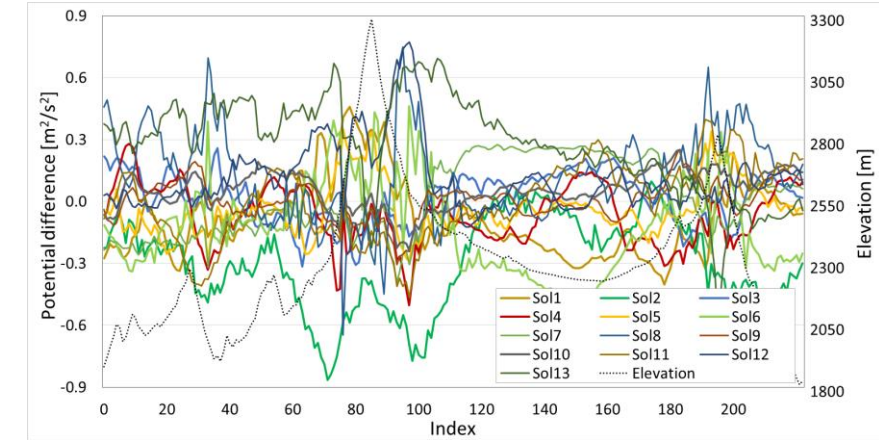
Primer cálculo



Segundo cálculo



Tercer cálculo



Áreas de investigación actuales:

- 1) Desarrollo de estrategias (modelos) que permitan mejorar el modelado de efectos topográficos.
- 2) Desarrollo de estrategias para la determinación de índices de precisión confiables (separación de las causas de baja precisión: en calidad de las mediciones, preprocesamiento de los datos, método de cálculo).

1) Regiones sin (o con muy pocos) datos de gravedad terrestre (áerea)

- Única opción para determinar los valores de potencial es el uso de modelos globales de gravedad (GGM)
- Precisión esperada en torno a ± 40 cm o incluso peores en regiones con fuertes gradientes topográficos (en Los Andes se han registrado precisiones peores que 3 m)
- Podrían alcanzarse precisiones en torno a ± 10 cm si se incluyen nuevos y mejores datos de gravedad terrestre en los GGM (p. ej. EGM2020)
- Para evitar múltiples valores de potencial proporcionados por diferentes GGM en el mismo punto, es necesario seleccionar un GGM como modelo de referencia.

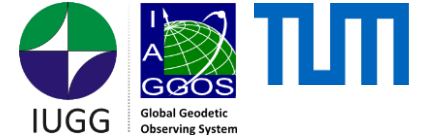
2) Regiones con algunos datos de gravedad terrestre, pero con pobre cobertura o calidad de datos desconocida

- Baja fiabilidad de los modelos de geoide existentes
- Se recomienda adelantar levantamientos gravimétricos adicionales alrededor de las estaciones IHRF para aumentar la precisión del potencial calculado en esas estaciones específicas.

3) Regiones con buena cobertura y calidad de los datos de gravedad terrestre

- Los valores de potencial pueden inferirse a partir de modelos regionales precisos del geoide
- Precisión esperada en torno a ± 3 cm hasta ± 8 cm.

Consideraciones para la determinación de coordenadas IHRS/IHRF

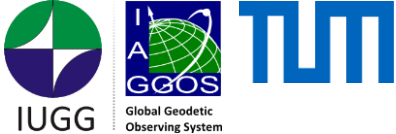


En los casos (2) y (3), se requieren estrategias de evaluación de los resultados:

- **Cálculo redundante**: dos centros de procesamiento determinan los valores de potencial utilizando los mismos datos de entrada con métodos diferentes
- **Calibración del método de cálculo**: Determinación de los valores de potencial para una estación IHRF virtual con datos de entrada específicos y comparación de dichos valores con los resultados obtenidos por otros centros de cálculo
- Establecimiento de **estaciones auxiliares** a distancias de más o menos 100 km, conectadas a las estaciones principales con nivelación (+ gravimetría) para comparar diferencias de potencial entre la nivelación y el modelado del campo de gravedad

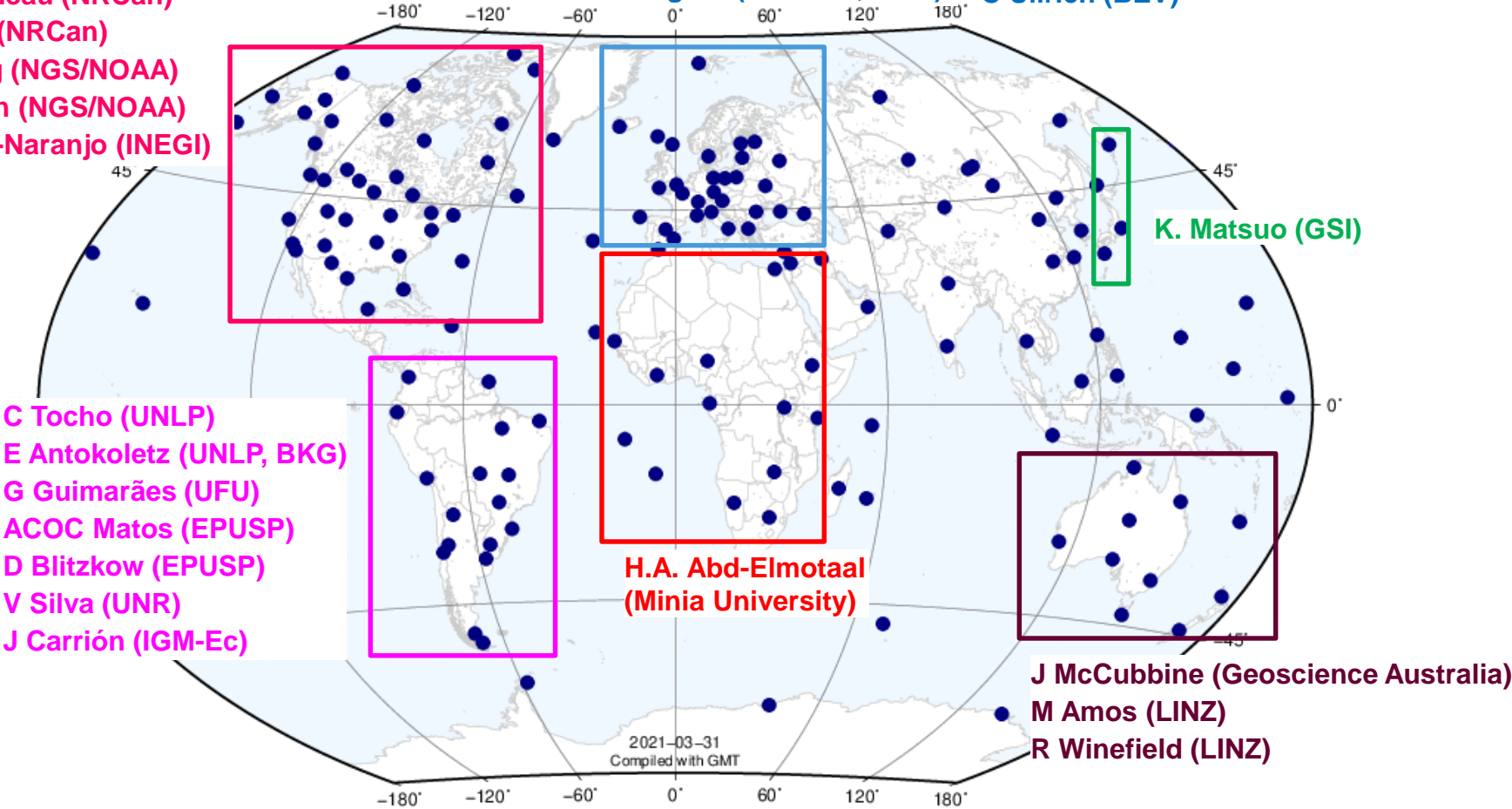
Objetivo primario: mejorar el modelado del campo de gravedad (potencial, geoide o cuasigeoide) mediante el aumento de mediciones de gravedad sobre o cerca de la superficie terrestre (aerogravimetría) y estandarización y calibración de los métodos de cálculo.

Actividades en curso: Cálculo de una primera solución para el IHRF

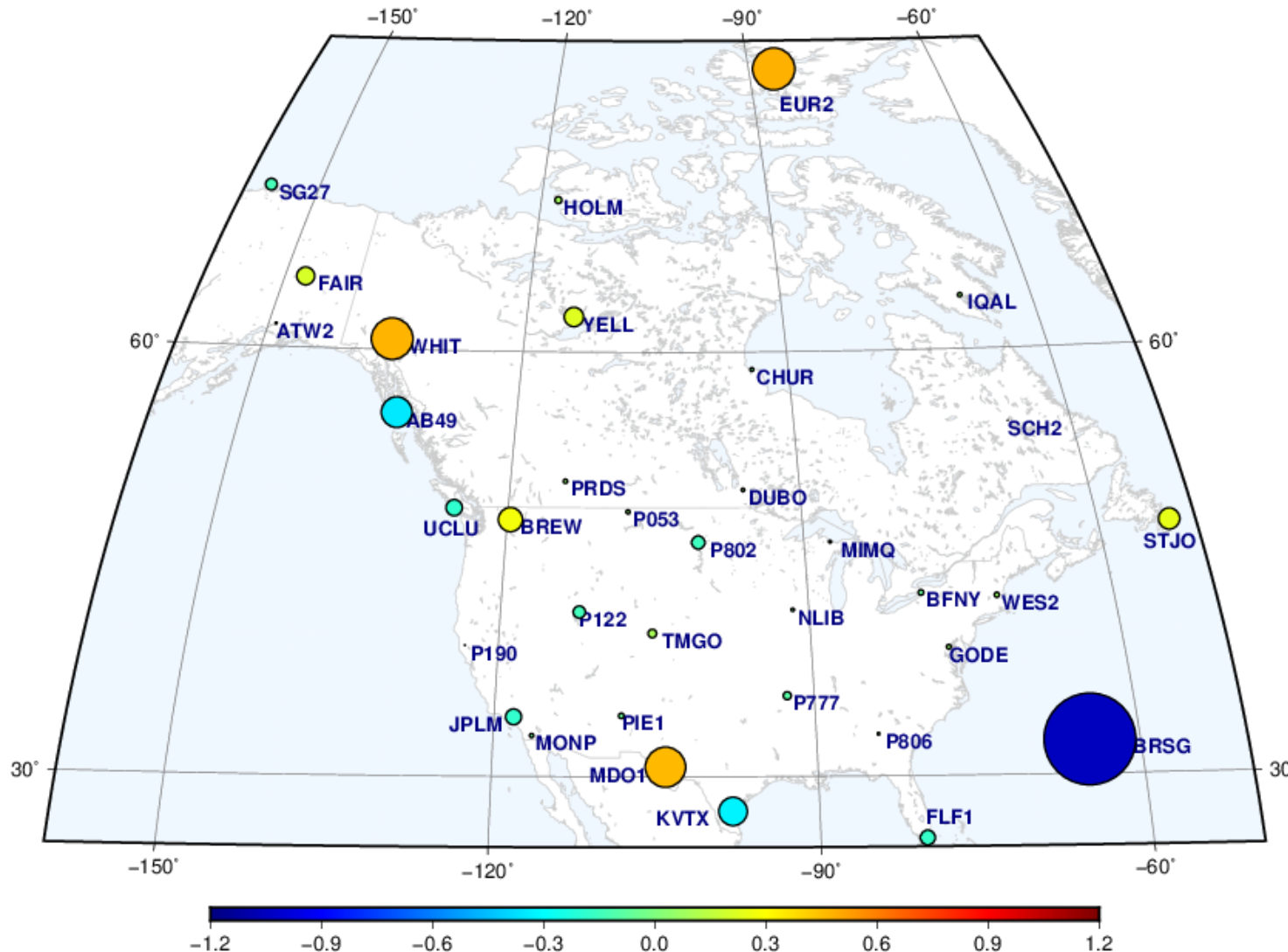


M Véronneau (NRCan)
J Huang (NRCan)
YM Wang (NGS/NOAA)
K Ahlgren (NGS/NOAA)
D Avalos-Naranjo (INEGI)

H Denker (UniHannover)
J Schwabe (BKG)
R Barzaghi (PoLiMi)
J Ågren (U. Gävle, NGK)
M Bilker-Koivula (NLS)
G. Vergos (AUTH)
U Martí (swisstopo)
C Ullrich (BEV)



Actividades en curso: Cálculo de una primera solución para el IHRF



Diferencia entre los valores de potencial obtenidos del modelo de geoides canadiense PCGG20_21A y del modelo de cuasigeoides de USA xG20B (aporte de M Véronneau, J Huang, YM Wang y K Ahlgren):

Promedio: 1 cm ($-0.01 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)
STD: 3 cm ($0.26 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)
Min.: -11 cm ($-1.05 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)
Max.: 5 cm ($0.48 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$)

EGG2016	GCG2016	Difference
18032.74	18032.81	0.07
15946.68	15946.73	0.05
15381.77	15381.78	0.02
1019.01	1018.97	-0.04
16690.78	16690.73	-0.04
6070.26	6070.18	-0.08

Números geopotenciales IHRF obtenidos de los modelos de cuasigeoide de Europa **EGG2016** y de Alemania **GCG2026** (**aporte de H Denker y J Schwabe**)

Diferencias (6 estaciones)

Promedio: 0.6 mm (-0.006 m²s⁻²)

STD: 5 mm (0.050 m²s⁻²)

Min.: -8 mm (-0.080 m²s⁻²)

Max.: 6 mm (0.065 m²s⁻²)

Actividades en curso: Cálculo de una primera solución para el IHRF

Canada (11 estaciones):
Modelo PCGG20_21A
Precisión promedio 3.5 cm

Europa (40 estaciones):
Modelo EGG2016
Precisión promedio 5 cm

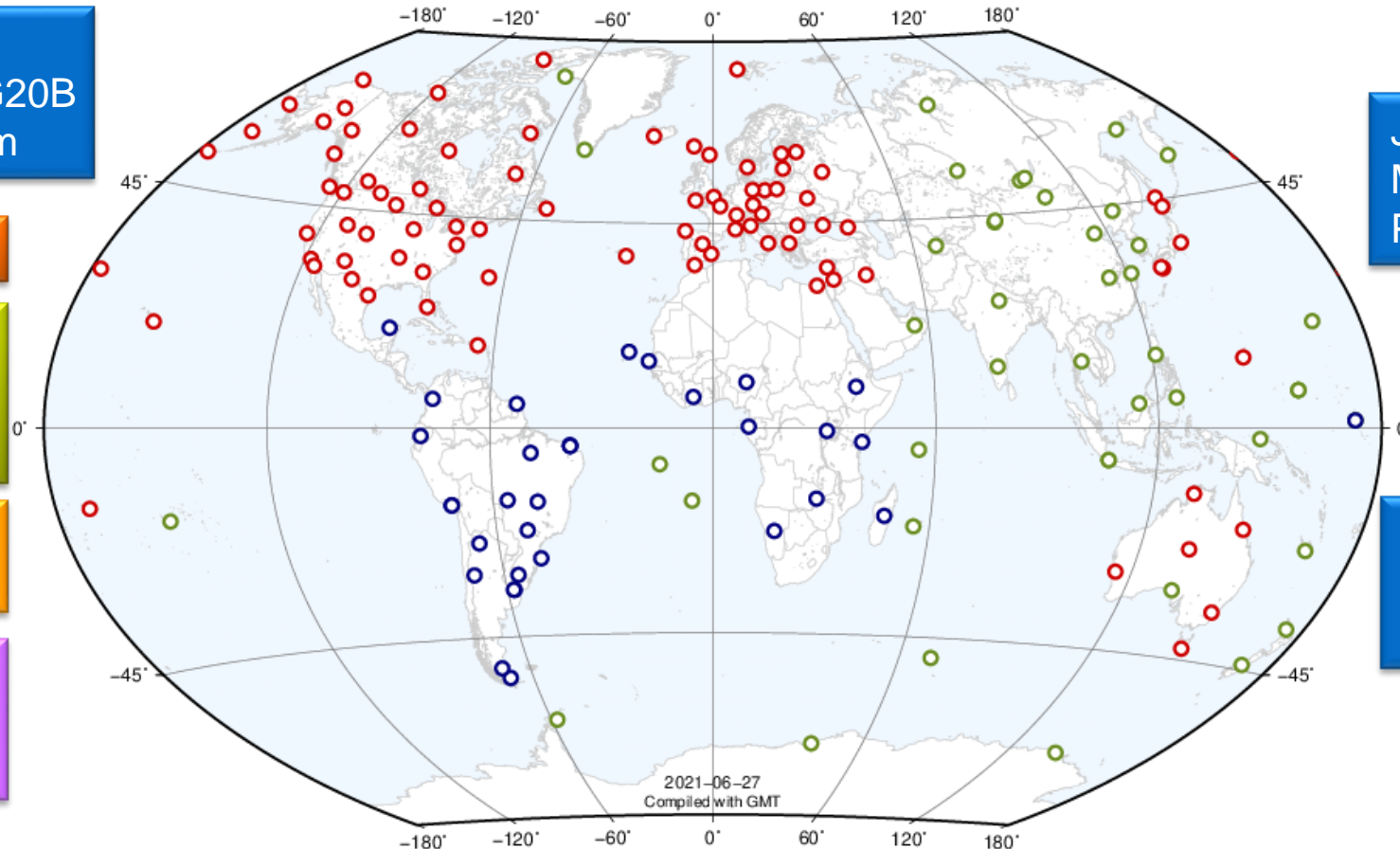
USA (30 estaciones)
Modelo NAPGD2022 - xG20B
Precisión promedio 4.5 cm

En progreso:

América del Sur:
Comparación de modelos
regionales y nacionales

Africa: uso de un modelo
continental

Asia y Oceanía:
Inventario de modelos de
geoide disponibles



Japón (5 estaciones):
Modelo JGEOID2019
Precisión promedio 5.7 cm

Australia (6 estaciones):
Modelo AGQG2017
Precisión promedio 6.2 cm

- 1) La calidad del IHRF depende de una buena cobertura de datos de gravedad, del procesamiento de estos datos y de métodos (software) de cálculo confiables: la determinación de T (geoide) tendría que ser una prioridad en las agencias responsables de los marcos geodésicos de referencia.
- 2) Una realización confiable del IHRF podría reemplazar la nivelación geométrica en distancias largas (más de 70 ... 100 km), lo que reduciría la deformación de las redes verticales por la acumulación de errores sistemáticos en nivelación. Sin embargo, la nivelación sigue siendo necesaria en aplicaciones de alta precisión (~ mejores que 1 cm).
- 3) Una realización confiable del IHRF facilitaría la unificación de los sistemas de alturas existentes, pues haría posible la materialización de la misma superficie de referencia en cualquier lugar, sin tener que depender del nivel medio del mar.
- 4) Una realización confiable del IHRF en combinación con posicionamiento GNSS permitiría identificar casi que de inmediato cambios en las coordenadas verticales por efectos sísmicos; no sería necesario esperar varios años hasta que una renivelación sea posible.
- 5) Una realización confiable del IHRF incrementaría la precisión del llamado GNSS/levelling: determinación de alturas físicas a partir de un modelo de gravedad (geoide) y posicionamiento GNSS.

Reconocimiento

