

Gravimetría absoluta

Andreas Richter¹, Axel Rülke²

- 1) Laboratorio MAGGIA (UNLP-CIC)
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Argentina
- 2) Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Leipzig, Alemania

La gravimetría absoluta comprende aquellas técnicas gravimétricas que se dedican a la determinación observacional del valor absoluto de la aceleración de gravedad local e instantánea. Entre los campos de aplicación de estos métodos se pueden destacar tres: a) la geodesia, b) la metrología, y c) el estudio del sistema Tierra.

La principal importancia de la gravimetría para la geodesia reside en su capacidad de proporcionar el acceso a una superficie de referencia física para sistemas altimétricos. La gravimetría absoluta de alta precisión permite respaldar los sistemas de referencia gravimétricos nacionales mediante la determinación de valores absolutos de gravedad en algunos puntos gravimétricos seleccionados, garantizando así una consistencia global entre distintos países. Esto explica el papel fundamental que recae en la gravimetría absoluta en los recientes esfuerzos por la unificación internacional de la referencia gravimétrica dentro del Marco de Referencia Internacional de Gravedad (IGRF; Wziontek et al. 2021).

El principal organismo de metrología, la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), tiene como misión la definición de estándares físicos. En este empeño los gravímetros absolutos de alta precisión cumplen una función importante, ya que contribuyen a la definición metrológica de unidades de masa. Con el fin de facilitar el acceso a este estándar metrológico a nivel global con máxima exactitud y consistencia se realizan campañas internacionales de comparación de gravímetros absolutos (por ejemplo: Key Comparison 2017, Beijing, China). Los gravímetros participantes en estas campañas se convierten en portadores del nivel de referencia gravimétrico en las subsecuentes comparaciones regionales (por ejemplo: Norteamérica 2016; Europa 2018; Falk et al. 2020)).

El tercer campo de aplicación de la gravimetría absoluta se dirige al estudio observacional de procesos geodinámicos y el monitoreo del sistema Tierra. La gravimetría absoluta ha sido aplicada exitosamente en Escandinavia (Steffen and Wu 2011), Groenlandia (van Dam et al. 2017), Alaska (Tanaka et al. 2015) y Antártida (Mäkinen et al. 2007), entre otras regiones, para la observación de efectos del ajuste glacio-isostático, complementando la deformación cortical determinada mediante GNSS. Por otro lado, los gravímetros absolutos contribuyen al monitoreo de procesos de transporte de masa dentro del sistema Tierra a través de la calibración de gravímetros superconductores (Antokoletz et al. 2020).

La gran mayoría de gravímetros absolutos actualmente en uso se basan en el principio de la caída libre. Durante la caída de un cuerpo de prueba se mide repetidamente su posición vertical y el tiempo. Para la medición de la distancia se realiza mediante la interferometría láser, mientras como normal de tiempo se utilizan relojes atómicos (Rb). En la actualidad la gravimetría absoluta emplea principalmente dos instrumentos: El FG5 (Micro-g 2006) representa el gravímetro absoluto de superior precisión. En condiciones de laboratorio permite alcanzar exactitudes del orden de $\sigma = 20 \text{ nm/s}^2$ ($2 \text{ } \mu\text{Gal}$). Este tipo de instrumento se utiliza para estaciones gravimétricas de referencia (IGRF), para la calibración de gravímetros superconductores u otros gravímetros absolutos, así como en la realización de estándares metrológicos. El segundo gravímetro absoluto actualmente en amplio uso es el A10 (Micro-g 2008). Este instrumento es diseñado para observaciones en el campo y permite alcanzar exactitudes cercanas a $\sigma = 100 \text{ nm/s}^2$ ($10 \text{ } \mu\text{Gal}$) en un período de observación de una hora.



Facultad de Ciencias
Astronómicas
y Geofísicas



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie

Las mediciones de gravímetros absolutos requieren la aplicación a-posteriori de una serie de correcciones, en particular por: altura del sensor, mareas terrestres, carga oceánica, movimiento del polo y variaciones de presión atmosférica. El IGRF establece pautas con respecto a estas correcciones (Wziontek et al. 2021), tendiendo a una homogenización de la determinación de gravedad absoluta a nivel global. Con el fin de garantizar la documentación y el acceso a datos de gravimetría absoluta se creó la base de datos internacional AGrav (agrav.bkg.bund.de).

La Red Argentina de Gravedad Absoluta (RAGA; IGN 2021) del Instituto Geográfico Nacional es un ejemplo para los avances que se lograron en los últimos años en materia de la gravimetría absoluta en América Latina gracias a la cooperación, por un lado, entre países vecinos de la región y, por otro lado, de los organismos responsables de la infraestructura geodésica con las universidades e institutos de investigación (Blitzkow et al. 2018). Otra alianza de importancia estratégica para el desarrollo de la gravimetría absoluta es la cooperación entre la geodesia (representada por la Asociación Internacional de Geodesia, IAG) y la metrología (BIPM) que, frente al desafío de la consitución del IGRF en la práctica, permite unir esfuerzos con beneficio para ambas disciplinas.

Mientras tanto, se está asomando en el horizonte una tecnología innovadora con gran potencial para la determinación de gravedad absoluta en el futuro: la gravimetría cuántica. El gravímetro μ Quans AQG-A (Ménoret et al. 2018) es un ejemplo, ya en el mercado, de una nueva generación de gravímetros absolutos, que emplea átomos fríos en calidad de cuerpo de prueba.

Referencias

- Antokoletz, E. D., Wziontek, H., Tocho, C. N., Falk, R. (2020) Gravity reference at the Argentinean–German Geodetic Observatory (AGGO) by co-location of superconducting and absolute gravity measurements. *J Geod* 94(9):81. doi:10.1007/s00190-020-01434-z.
- Blitzkow, D., Oliveira Cancoro de Matos, A. C., Moraes Bjorkstrom, I., Pacino, M. C., Lauria, E. A., Xavier, E. M. L., Castro Jr., C. A. C., Flores, F., Guevara, N. O., Cano, N. (2018) Absolute gravity network in South America - Comparisons. *Geophysical Research Abstracts* 20:EGU2018-7815.
- Falk, R., Pálinkáš, V., Wziontek, H., Rülke, A., Val'ko, M., Ullrich, Ch., Butta, H., Kostelecký, J., Bilker-Koivula, M., Näränen, J., Prato, A., Mazzoleni, F., Kirbaş Coşkun, C., Van Camp, M., Castelein, S., Bernard, J. D., Lothhammer, A., Schilling, M., Timmen, L., Iacovone, D., Nettis, G., Greco, F., Messina, A. A., Reudink, R., Petrini, M., Dykowski, P., Sękowski, M., Janák, J., Papčo, J., Engfeldt, A., Steffen, H. (2020) Final report of EURAMET.M.G-K3 regional comparison of absolute gravimeters. *Metrologia* 57(1A):07019. doi:10.1088/0026-1394/1A/07019.
- IGN (2021) <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Gravimetria/RAGA>.
- Makinen, J., Amalvict, M., Shibuya, K., Fukuda, Y. (2007) Absolute gravimetry in Antarctica: status and prospects. *J. Geophys.* 43:339-357. doi:10.1016/j.jog.2006.08.002.
- Ménoret, V., Vermeulen, P., Le Moigne, N., Bonvalot, S., Bouyer, P., Landragin, A., Desruelle, B. (2018) Gravity measurements below 10–9 g with a transportable absolute quantum gravimeter. *Sci Rep* 8:12300. doi:10.1038/s41598-018-30608-1.
- Micro-g LaCoste (2006) FG5 User's Manual.
- Micro-g LaCoste (2008) A10 User's Manual.
- Steffen, H. & Wu, P. (2011) Glacial isostatic adjustment in Fennoscandia - A review of data and modeling. *J. Geodynamics* 52(3-4):169-204. doi:10.1016/j.jog.2011.03.002.
- Tanaka, Y., Sato, T., Ohta, Y., Miura, S., Freymueller, J. T., Klemann, V. (2015) The effects of compressibility on the GIA in southeast Alaska. *J. Geodynamics* 84:55-61. doi:10.1016/j.jog.2014.10.001.
- van Dam, T., Francis, O., Wahr, J., Khan, S. A., Bevis, M., van den Broeke, M. R. (2017) Using GPS and absolute gravity observations to separate the effects of present-day and Pleistocene



Facultad de Ciencias
Astronómicas
y Geofísicas



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie

ice-mass changes in South East Greenland. *Earth Plan. Sci. Lett.* 459:127-135.
doi:10.1016/j.epsl.2016.11.014.

Wziontek, H., Bonvalot, S., Falk, R., Gabalda, G., Mäkinen, J., Pálinkáš, V., Rülke, A., Vitushkin, L. (2021) Status of the International Gravity Reference System and Frame. *Journal of Geodesy* 95(1):7. doi:10.1007/s00190-020-01438-9.



Facultad de Ciencias
**Astronómicas
y Geofísicas**



Bundesamt für
Kartographie und Geodäsie