

# Validación de variaciones de gravedad observadas con GRACE-FO a partir de observaciones del gravímetro superconductor SG038 instalado en AGGO

Pedro M. Granovsky<sup>a</sup>, Ezequiel D. Antokoletz<sup>b</sup>, Claudia N. Tocho<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina

<sup>b</sup>Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires (CIC-BA), Argentina

## Introducción

La variación temporal del campo gravitatorio terrestre puede ser observada a partir de diversas técnicas (terrestres, sobre plataformas móviles o satelitales). En este trabajo se utilizan observaciones derivadas de la misión satelital de gravedad GRACE-FO (misión conjunta de la NASA y la DLR) y observaciones realizadas sobre la superficie terrestre por el gravímetro superconductor SG038 ubicado en el Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO; Parque Pereyra Iraola, Buenos Aires).

Las observaciones puntuales del gravímetro superconductor son de alta precisión y estabilidad temporal. Por otro lado, las cantidades derivadas de GRACE-FO tienen una resolución espacial de aproximadamente 200 km y una cobertura global.

El principal objetivo del trabajo consiste en validar las observaciones satelitales a partir de la serie terrestre, considerando diferentes tipos de filtros aplicados sobre las variaciones de gravedad derivadas de GRACE-FO. La ventana de estudio es noviembre 2018 - abril 2023.

## Datos y metodología

### Técnica satelital

Se utilizan los datos de Nivel 2 (RL06) provistos por el GFZ. Estos consisten en sets de coeficientes mensuales de Stokes del potencial de gravedad terrestre. Se consideran los coeficientes sin filtrar y los sets con variantes del filtro anisótropo decorrelador aplicado (DDK1-3-5-7). Sobre los coeficientes sin filtrar se aplica un filtro pasa-bajos isotrópico de tipo Gaussiano con diferentes radios (400, 600, 800 y 1000 km). A partir de los coeficientes de Stokes reducidos se obtienen las variaciones de gravedad utilizando:

$$\begin{aligned} \delta g_G(\varphi, \lambda) &= \delta g + \delta g_{carga} \\ &= \frac{GM}{R^2} \sum_0^{l_{max}} (l+1 - 2h_l') \sum_{m=0}^l [\Delta C_{lm} \cos(m\lambda) + \Delta S_{lm} \sin(m\lambda)] P_{lm}(\cos(\theta)) \end{aligned}$$

Notar que se consideró el efecto de carga debido a que este efecto no está siendo observado por el satélite y sí en el caso de la técnica terrestre.

### Técnica terrestre

Se utilizan los datos del SG038 procesados por Antokoletz (2022). Este procesamiento consiste en adecuar los datos considerando las observaciones crudas del gravímetro, su función de transferencia y drift; y luego obtener los residuos de gravedad considerando los efectos de mareas, carga oceánica y movimiento del polo. La serie se decima a un intervalo mensual y se quita la tendencia lineal dentro de la ventana de estudio, de igual manera que con los datos satelitales, para centrar el estudio en variaciones de carácter anual y semianual.

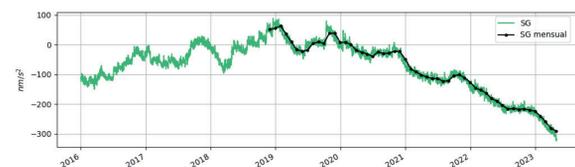


Figura 1. Residuos de gravedad del gravímetro superconductor SG038 ubicado en AGGO. En verde se grafica la serie original procesada por Antokoletz y en negro se muestra la serie acotada a la ventana de estudio y decimada con un intervalo mensual.

## Resultados

### Series de variaciones de gravedad

Para la comparación entre las dos técnicas se analiza el comportamiento de las variantes satelitales y la terrestre. En la Figura 2 se muestran las variantes satelitales en rojo y la serie terrestre en verde.

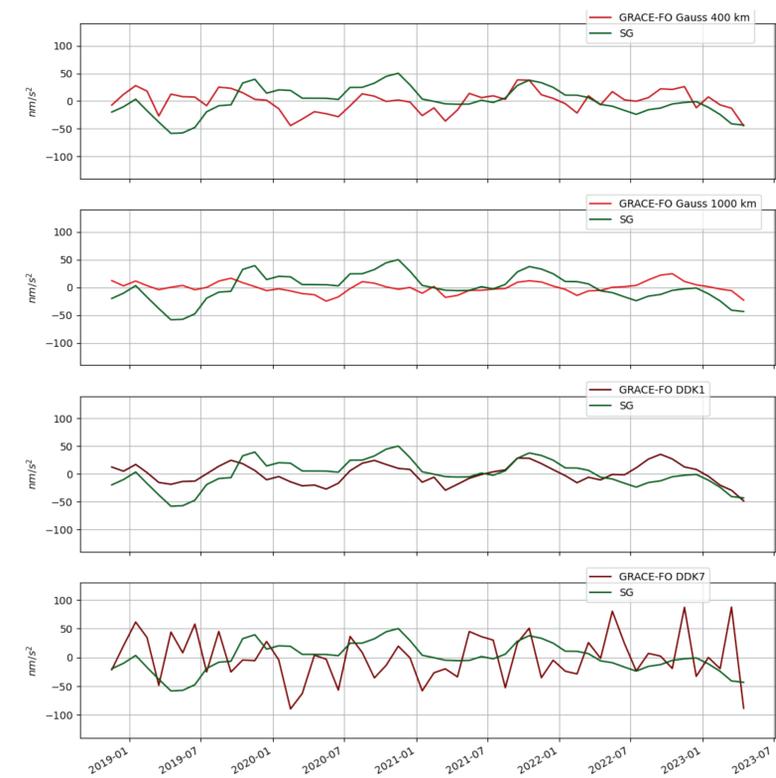


Figura 2. Se grafican cuatro variantes satelitales en rojo y la serie terrestre en color verde.

### RMS y correlación

Se calculan los coeficientes RMS (propios y diferencia) y de correlación para comparar las series de gravedad. El aporte del efecto de carga se toma por separado para analizar su contribución a las variaciones de gravedad. Se consideran las variantes satelitales con el efecto de carga debido a que éstas generan un mejor acuerdo con la serie terrestre para cualquier filtro. En la Tabla 1 se resaltan los valores de mejor acuerdo entre las dos técnicas para cada coeficiente.

Tabla 1. Valores RMS propios, RMS diferencia y la correlación entre las series satelitales y la terrestre.

SG	RMS <sub>p</sub>		ρ <sub>X<sup>SG</sup></sub>		RMS <sub>dif</sub>
	sin δg <sub>carga</sub>	con δg <sub>carga</sub>	sin δg <sub>carga</sub>	con δg <sub>carga</sub>	
GRACE-FO	24.70	24.70			
Gauss <sub>400km</sub>	15.46	0.78	19.09	0.79	29.22
Gauss <sub>600km</sub>	12.49	0.78	15.52	0.79	27.13
Gauss <sub>800km</sub>	10.19	0.78	12.67	0.79	26.18
Gauss <sub>1000km</sub>	8.21	0.79	10.22	0.80	25.81
DDK <sub>1</sub>	14.22	0.78	17.75	0.79	23.03
DDK <sub>3</sub>	18.47	0.78	22.60	0.79	29.59
DDK <sub>5</sub>	24.10	0.69	29.01	0.71	36.10
DDK <sub>7</sub>	34.98	0.48	40.36	0.53	49.40

### Análisis con EOFs

El análisis por EOF (Empirical Orthogonal Functions) arroja una representación mayor al 70% para la variante DDK1 con la solución terrestre. Para las otras variantes satelitales se obtiene un acuerdo cercano al 50%.

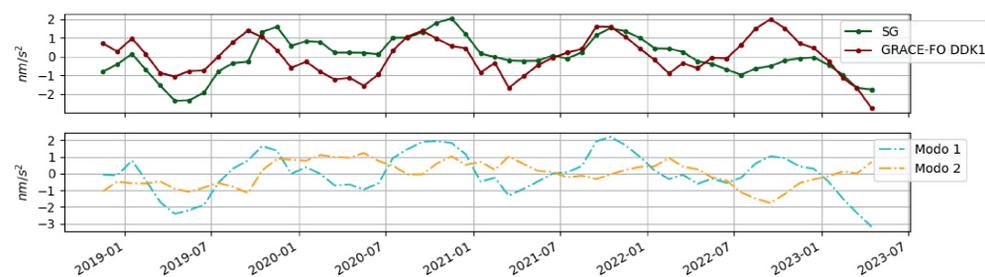


Figura 3. Series temporales con mejor acuerdo y debajo sus 2 modos principales.

### Espectro de amplitud

Se analizan las frecuencias presentes en las series provenientes de ambas técnicas a partir de sus espectros de amplitud. Se obtienen similares amplitudes para la frecuencia anual y se observa una frecuencia baja en el espectro del SG.

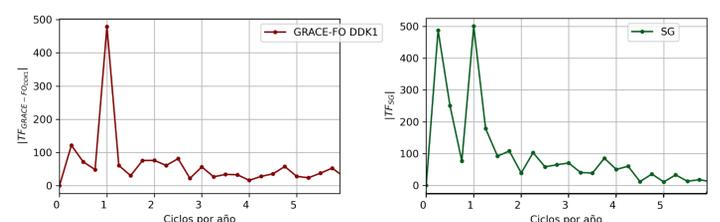


Figura 4. Espectros de amplitud de la serie terrestre y la satelital con filtro DDK1.

## Conclusiones

- Las distintas soluciones de GRACE-FO son validadas por el SG, excepto para DDK7. El mejor acuerdo entre GRACE-FO y el SG se encuentra para DDK1. Estos resultados son consistentes con los hallados por Abe et al. (2012) y Han et al. (2005) para GRACE.
- Frecuencia anual presente en ambas series. Dada la región de estudio, podría tratarse de efectos de carácter hidrológico.
- Frecuencia muy baja (período de más de 8 años) presente en la serie del SG. Se podría atribuir a efectos hidrológicos locales o no detectables por GRACE-FO ó de efectos regionales como, por ejemplo, el niño. Para distinguir estas señales sería necesario una serie temporal más extensa.

## Referencias

- Abe, M. et al. (2012). A comparison of grace-derived temporal gravity variations with observations of six european superconducting gravimeters. *Geophysical Journal International*, 191:545–556.
- Antokoletz, E. D. (2022). Análisis de variaciones temporales de gravedad registradas con un gravímetro superconductor en Argentina. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de La Plata.
- Han, S.-C. et al. (2005). Non-isotropic filtering of GRACE temporal gravity for geophysical signal enhancement. *Geophysical Journal International*, 163(1):18–25.
- Kusche, J. et al. (2009). Decorrelated GRACE time-variable gravity solutions by GFZ, and their validation using a hydrological model. *Journal of Geodesy*, 83(9):903–913.