



CENTRO DE EXCELENCIA GEODÉSICO MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS

**MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
TALLER DE DESARROLLO DE CAPACIDADES**

Datums de altura y modelos geoidales

Nicholas Brown
Jefe de oficina, UN-GGCE

CÓMO

Día 3, Sesión 2 [3_2_1]

Agradecimientos: Kevin Ahlgren (USA); David Ávalos (MEX); Jack McCubbine (AUS); Nikolaos Pavlis (USA); Anna Riddell (AUS); Laura Sánchez (GER); Michael Sideris (CAN).

Resumen

- Tradicionalmente, la gente desea conocer la altura de algo con respecto al nivel del mar.
 - Se trata de las denominadas "alturas físicas".
- Los sistemas de posicionamiento por satélite (GNSS y teledetección) determinan alturas relativas al elipsoide.
 - Son las denominadas "alturas geométricas".
- Los modelos de geoide proporcionan la diferencia entre el elipsoide y el geoide y ofrecen una forma eficaz de transformar la altura geométrica en altura física.
- Para crear un modelo de geoide que sea preciso a un nivel de 2-3 centímetros para un país, se necesita una combinación de gravedad espacial, aérea y terrestre.



La altura es difícil... pero importante

- ¿Hacia dónde fluye el agua?
- ¿Qué corre peligro durante una inundación?
- ¿Cómo construir un sistema de alcantarillado en la ciudad?
- ¿Cómo desarrollar un sistema de riego eficaz para la agricultura?
- ¿Cómo garantizar la correcta inclinación de vías férreas y carreteras?
- ¿Cómo saber el espacio libre bajo la quilla de un barco?
- ¿Cómo controlar el cambio del nivel del mar?
- ¿Cuál es la altura de la cima de la montaña?



<https://www.welt.de/vermisches/weltgeschehen/gallery9348988/Das-Jahrzehnt-der-Wetterkatastrophen.html>

**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Introducción a la altura

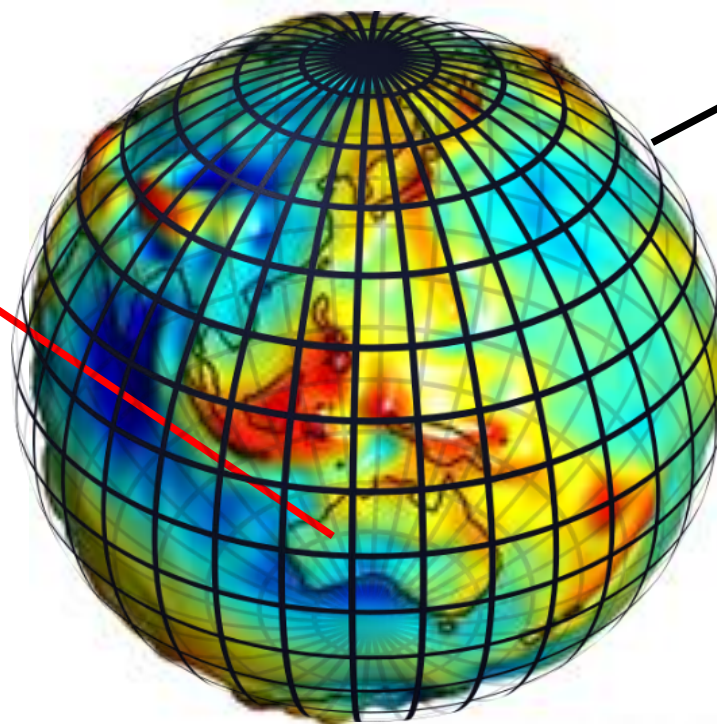
- Tradicionalmente, la gente desea conocer la altura de algo con respecto al nivel del mar.
 - Se trata de las denominadas "alturas físicas"
- Los sistemas de posicionamiento por satélite (GNSS y teledetección) determinan alturas relativas al elipsoide.
 - Son las denominadas "alturas geométricas"
- Es importante comprender en qué se diferencian estos sistemas y cómo se pueden utilizar conjuntamente los datos procedentes de ellos.



Alturas físicas frente a geométricas

Potencial
gravitatorio
igual

- Complejo
- Físicamente significativo
- Preciso
- Es necesario un modelo para utilizar con GNSS
- El agua siempre fluye hacia abajo



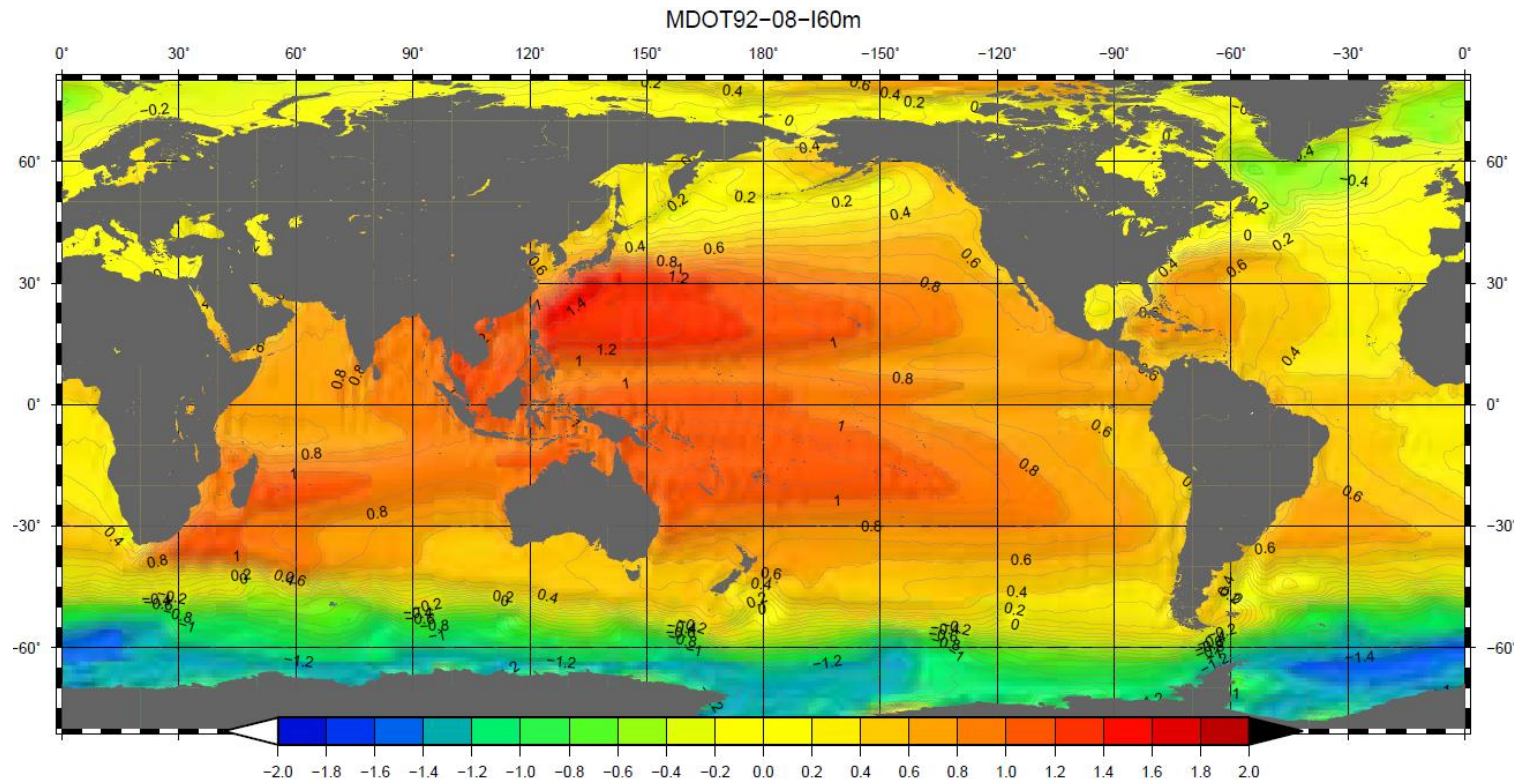
Geométrico

o

- Simple
- Físicamente no significativo
- Preciso
- Utilizado por GNSS
- El agua no siempre fluye hacia abajo

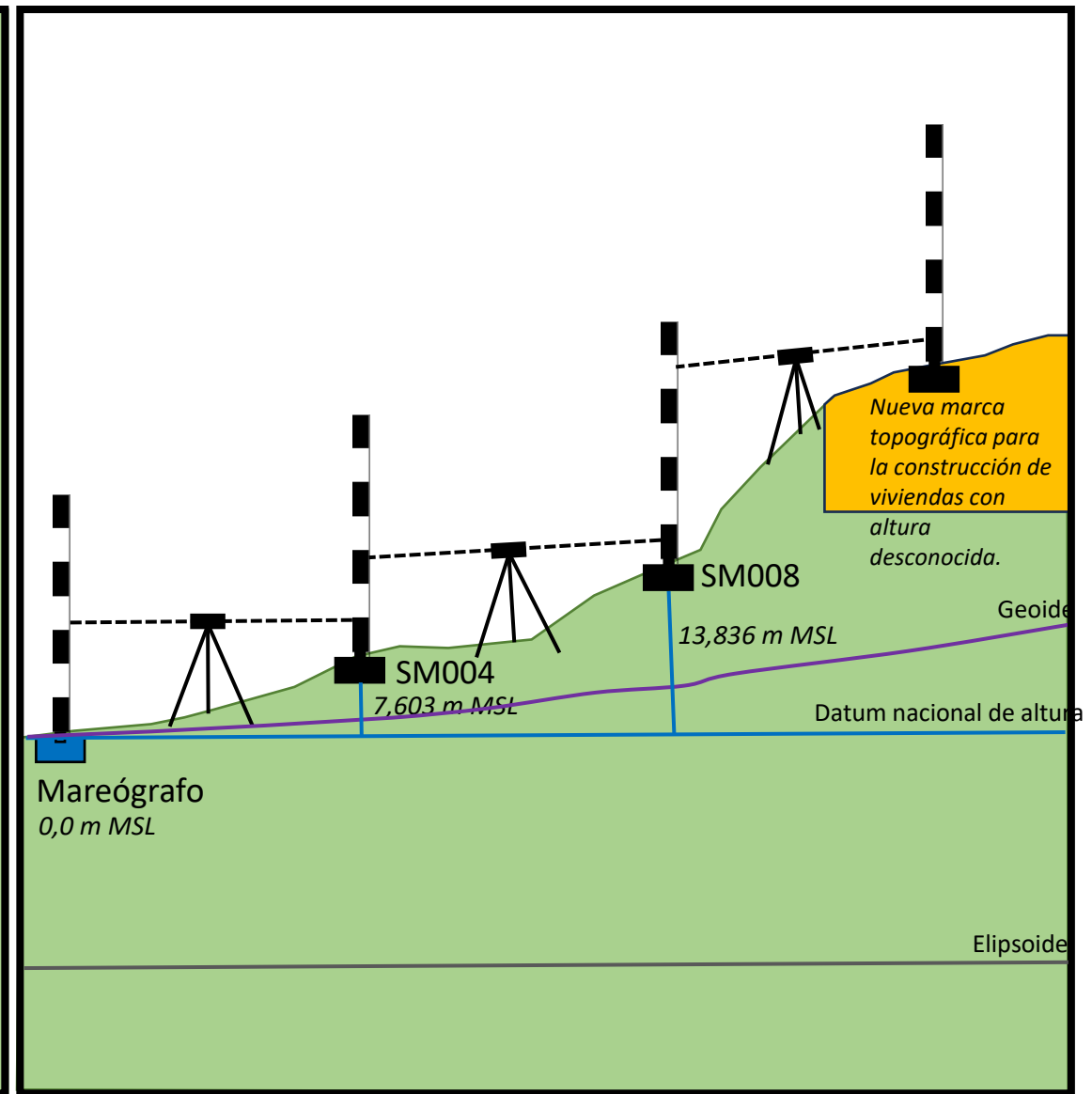
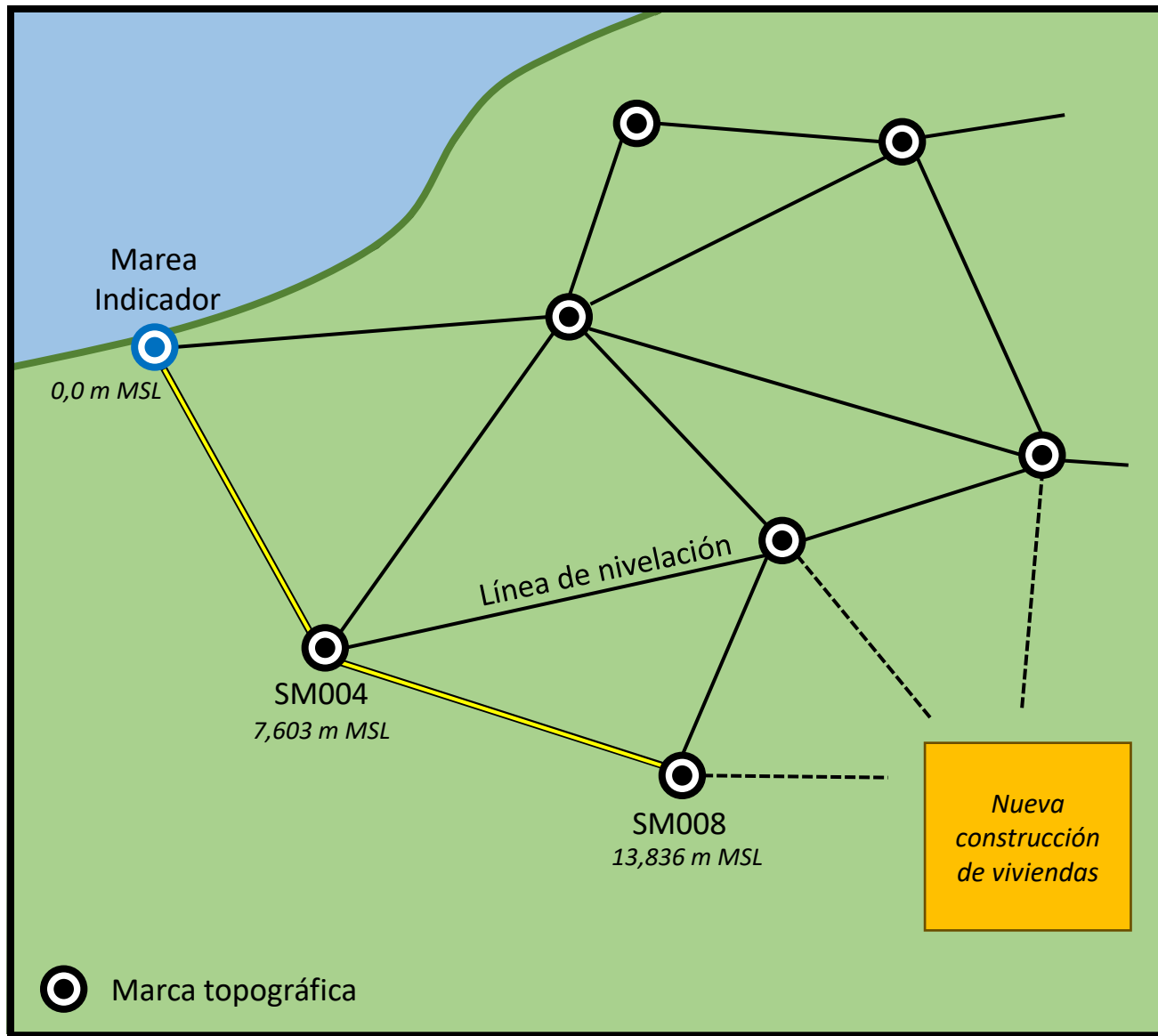
Alturas referidas al nivel medio del mar

- Las alturas niveladas (a menudo) se refieren al nivel medio del mar determinado en mareógrafos seleccionados.
- La superficie del mar no está siempre a la misma altura sobre el geoide, sino que varía debido a las corrientes oceánicas, la temperatura del agua y la salinidad.
- El nivel medio del mar puede estar más cerca o más lejos de la figura de equilibrio de la Tierra (geoide) en función de la situación geográfica.
- Así, la cota cero definida por un país (o región) difiere hasta ± 2 metros de la cota cero definida por otros países.

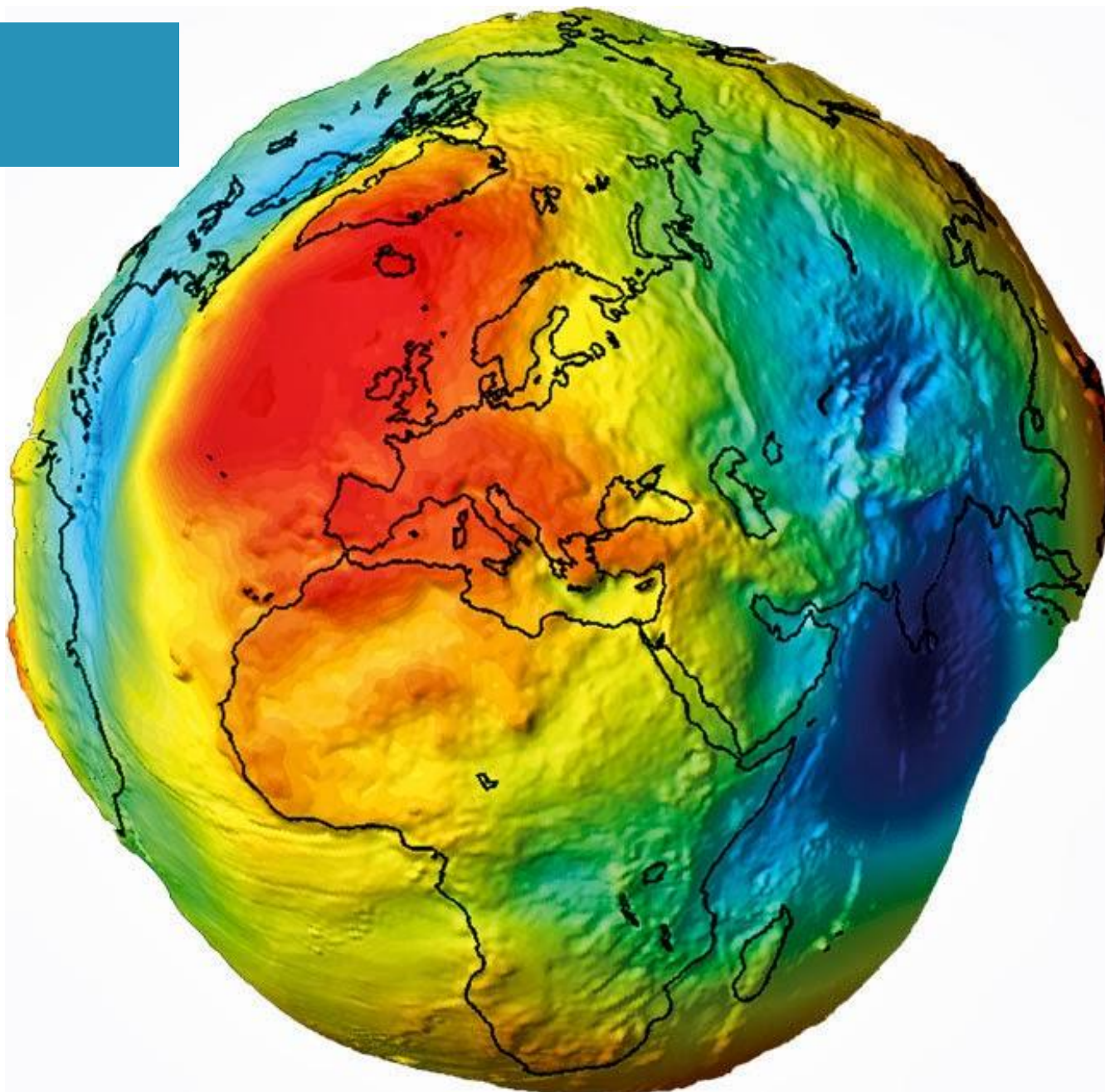


Topografía de la
superficie media
del mar en metros
(©DGFI-TUM)

Datum de altura referenciado al mareógrafo



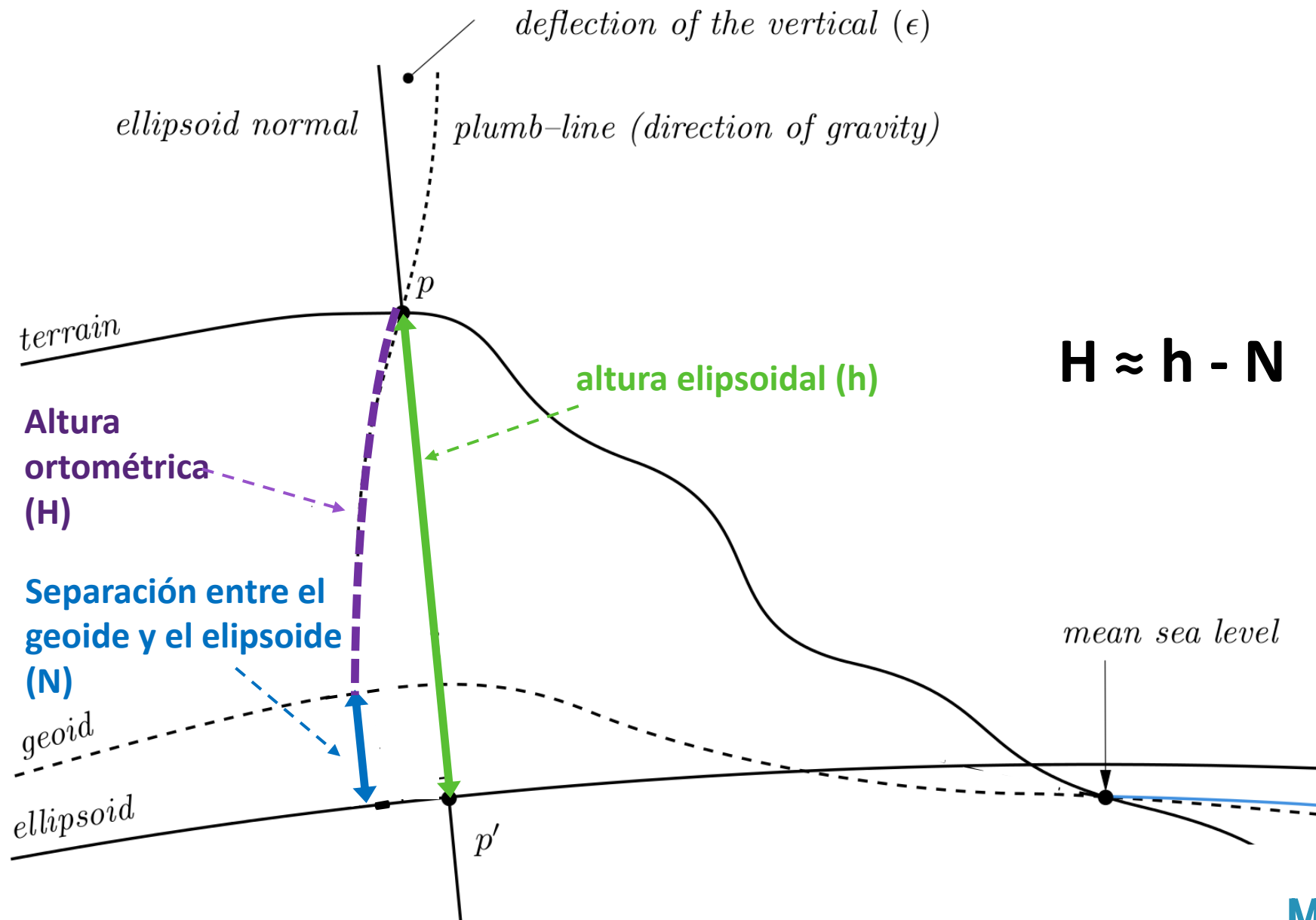
El Geoide

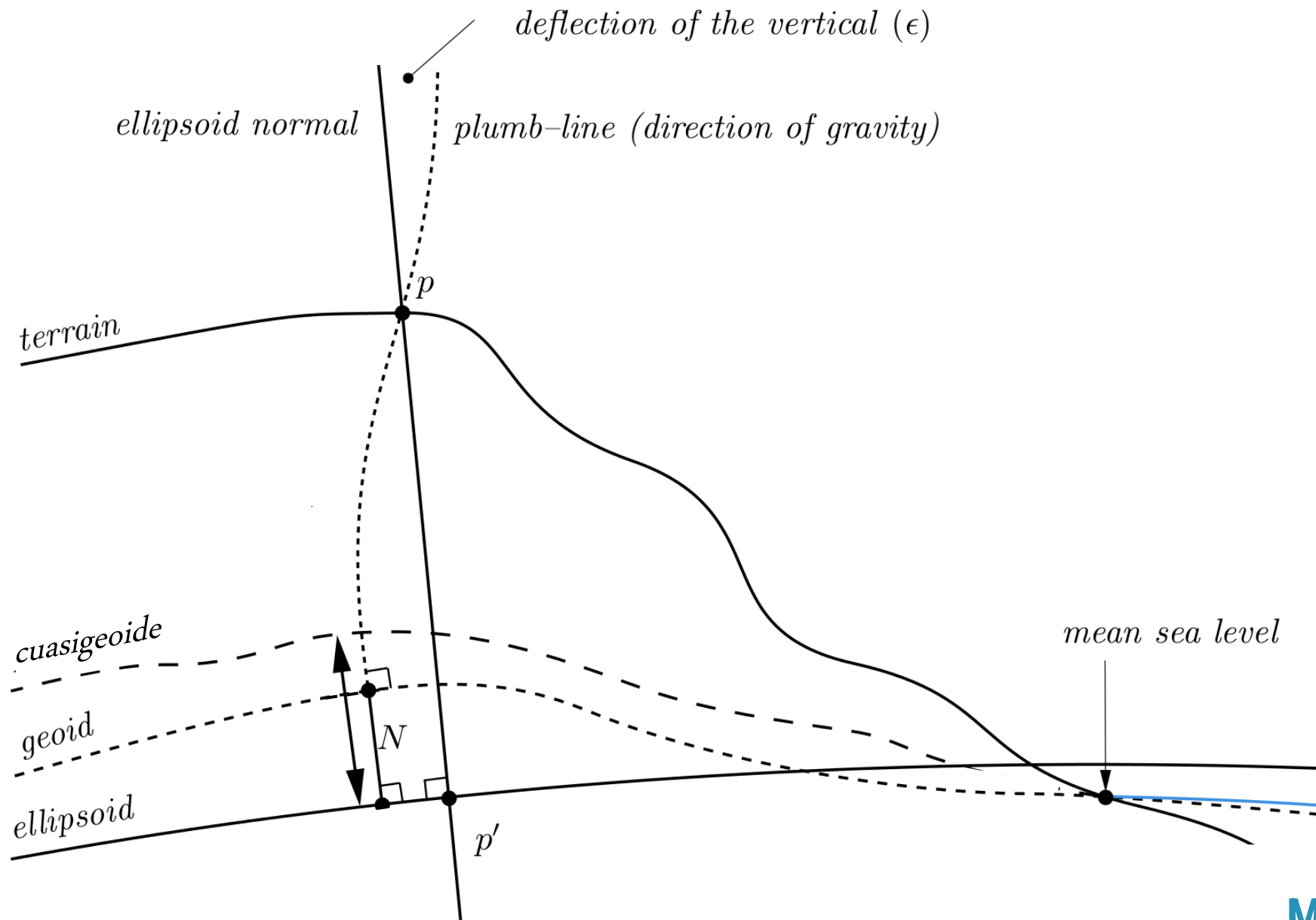


Escala exagerada
para hacer visible la
diferencia. En
realidad, ± 150 m.

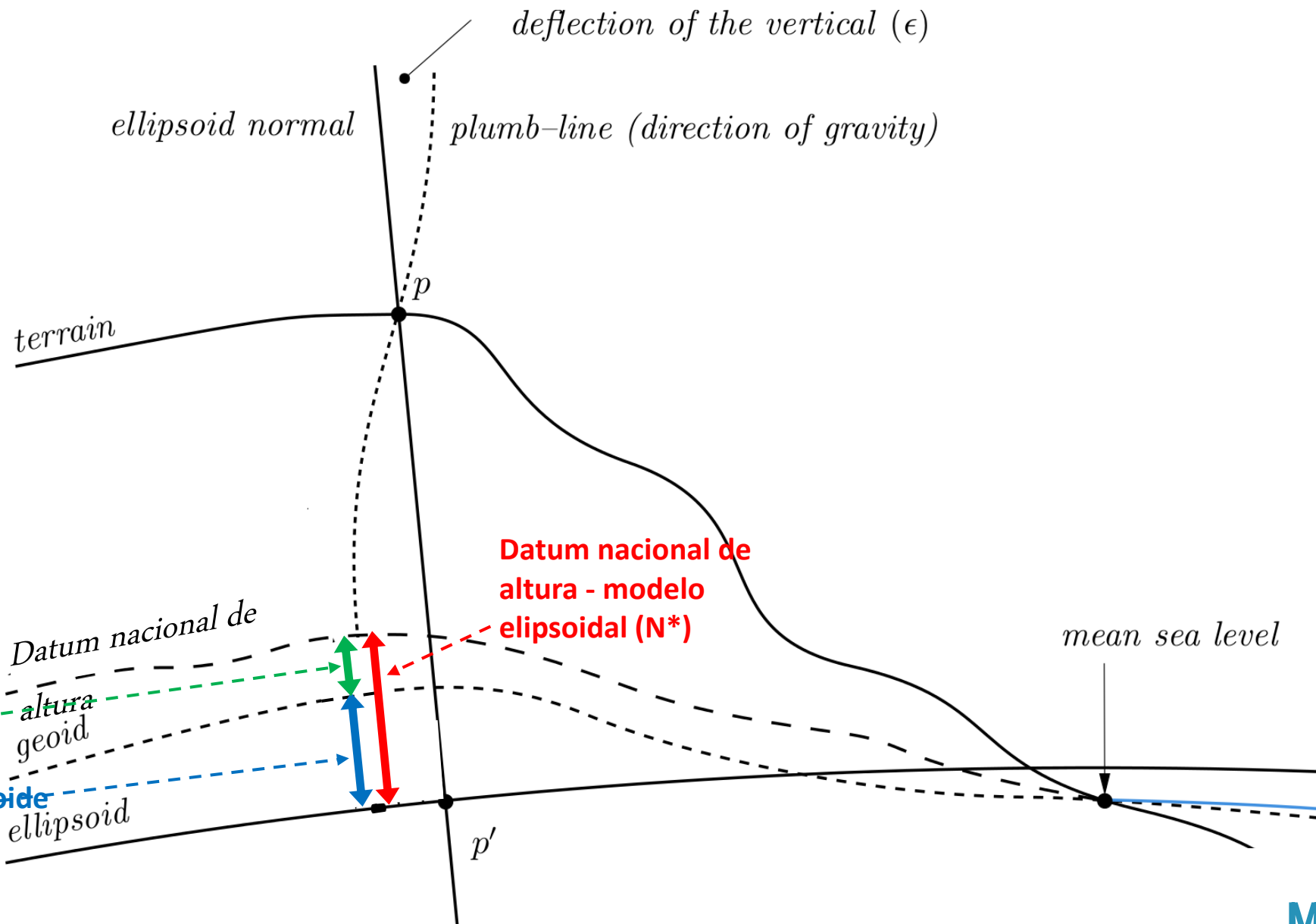


**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**





**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**



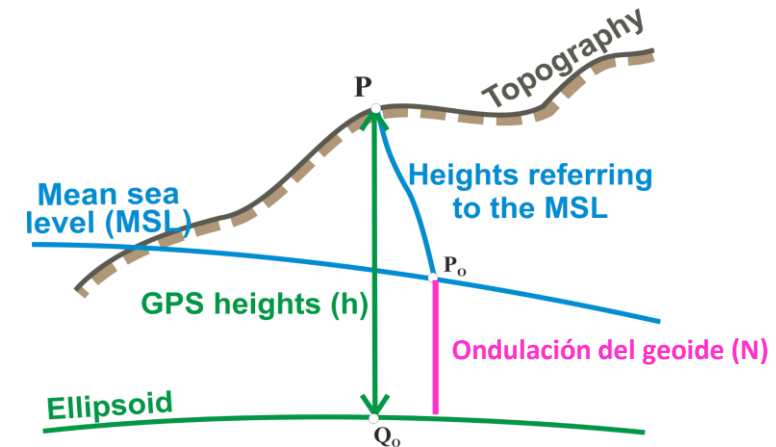
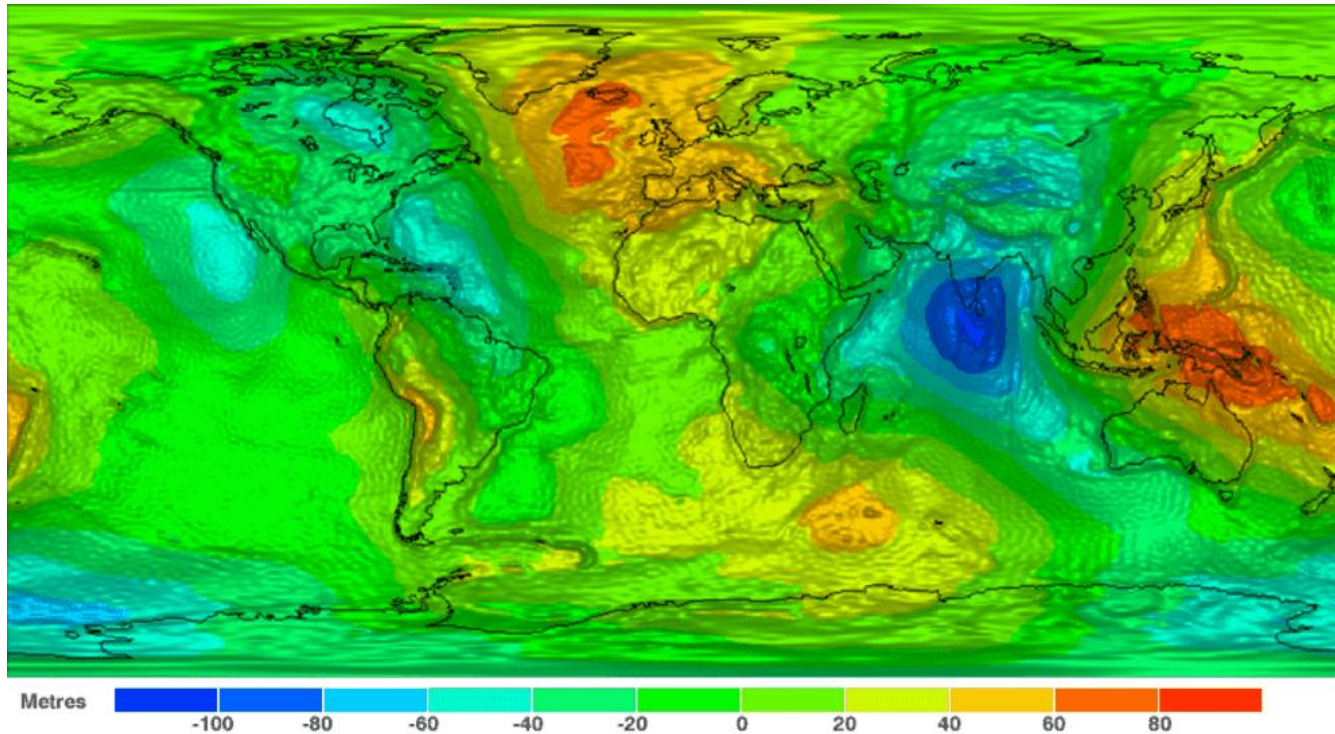
Modelo nacional de
superficie de
corrección (C)
Separación entre el geoid
y el elipsoide (N)



MÁS
FUERTES.
JUNTOS

Altura física frente a geométrica

- Para determinar las alturas se utilizan distintas técnicas.
- Sin embargo, no hay garantía de que cada técnica produzca la misma altura.
- Las alturas determinadas con GNSS no se refieren a la superficie media del mar, sino al elipsoide (un modelo geométrico de la Tierra).
- Las diferencias entre las alturas GNSS y las referidas a la superficie media del mar pueden alcanzar hasta ± 100 m.

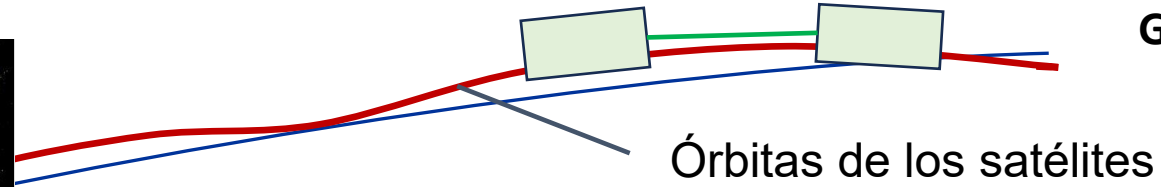
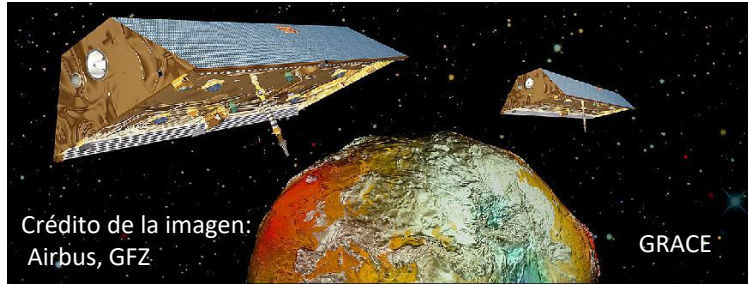


Diferencias en metros
entre las alturas
GNSS y
las alturas referidas al
nivel medio del mar
(©ESA)

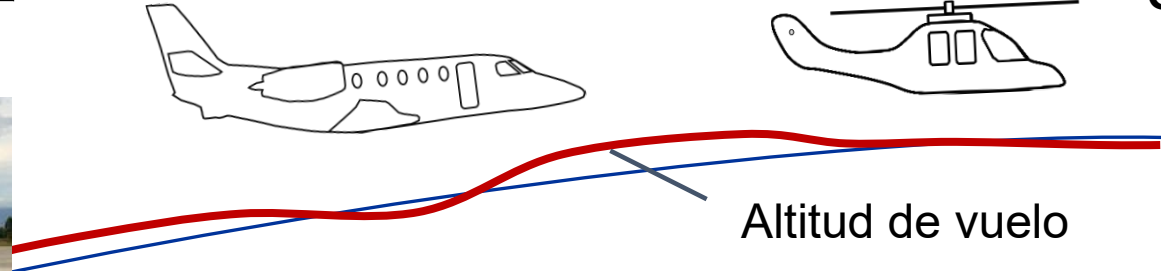
$$H = h - N$$

Creación de un modelo geoidal

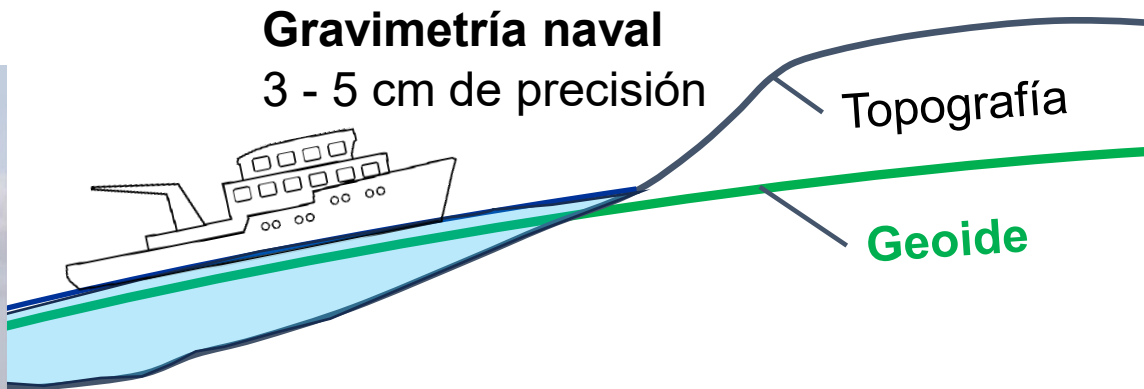
Mediciones de la gravedad



Gravimetría por satélite
20 cm de precisión



Gravimetría aérea
3 - 5 cm de precisión



Gravimetría naval
3 - 5 cm de precisión

Topografía

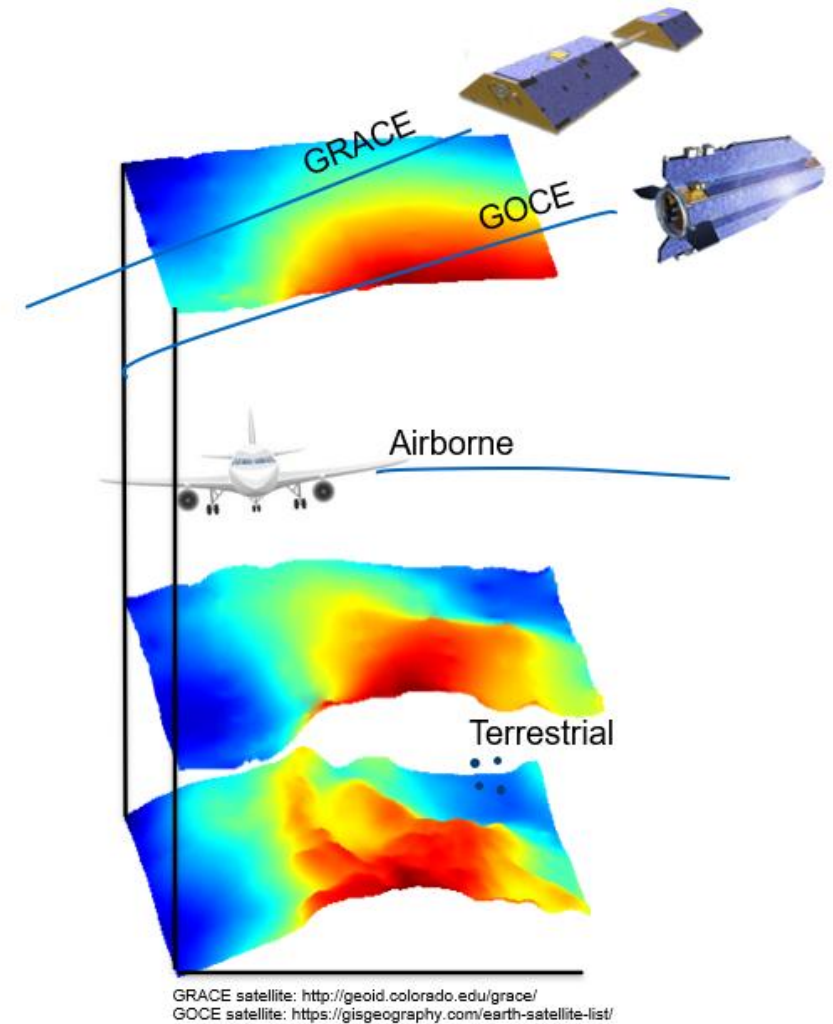
Geoide



Gravimetría terrestre
2 cm de precisión

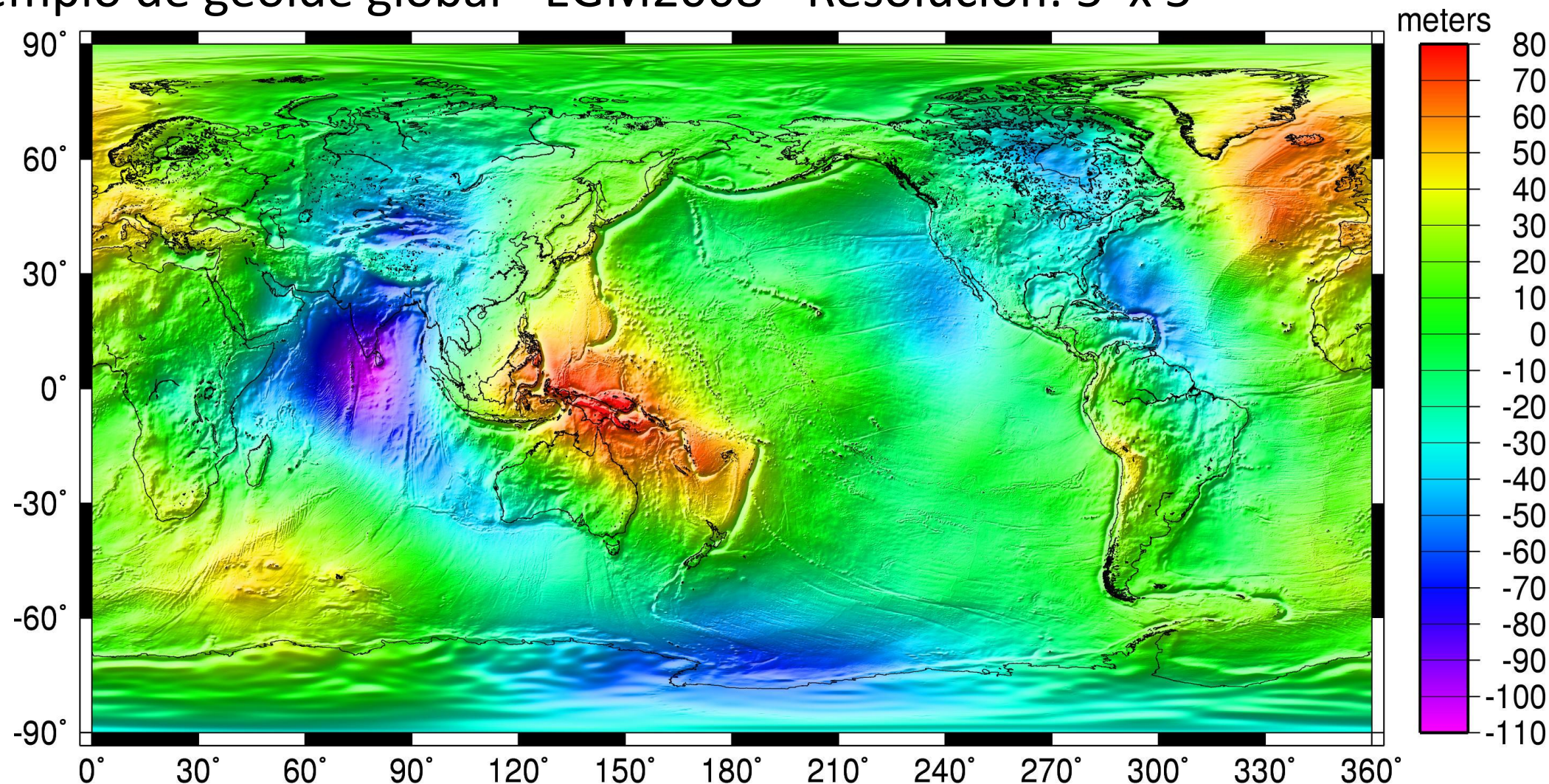
Datums físicos

- La determinación del potencial gravitatorio en cualquier punto requiere anomalías gravitatorias en toda la Tierra.
 - La contribución de longitud de onda larga N_G la proporciona un conjunto de coeficientes armónicos esféricos (modelo geopotencial o de gravedad global);
 - La contribución de longitud de onda media N_L se estima a partir de las anomalías locales (gravedad terrestre, marina o aerotransportada en la zona de estudio)
 - La contribución de longitud de onda corta N_T se calcula utilizando un modelo digital del terreno (alturas topográficas)
 - La ondulación del geoide (o anomalía de altura) viene dada por $N = N_G + N_L + N_T$



Modelo geoidal global (EGM2008)

Ejemplo de geoide global - EGM2008 - Resolución: 5' x 5'



Créditos: N.Pavlis

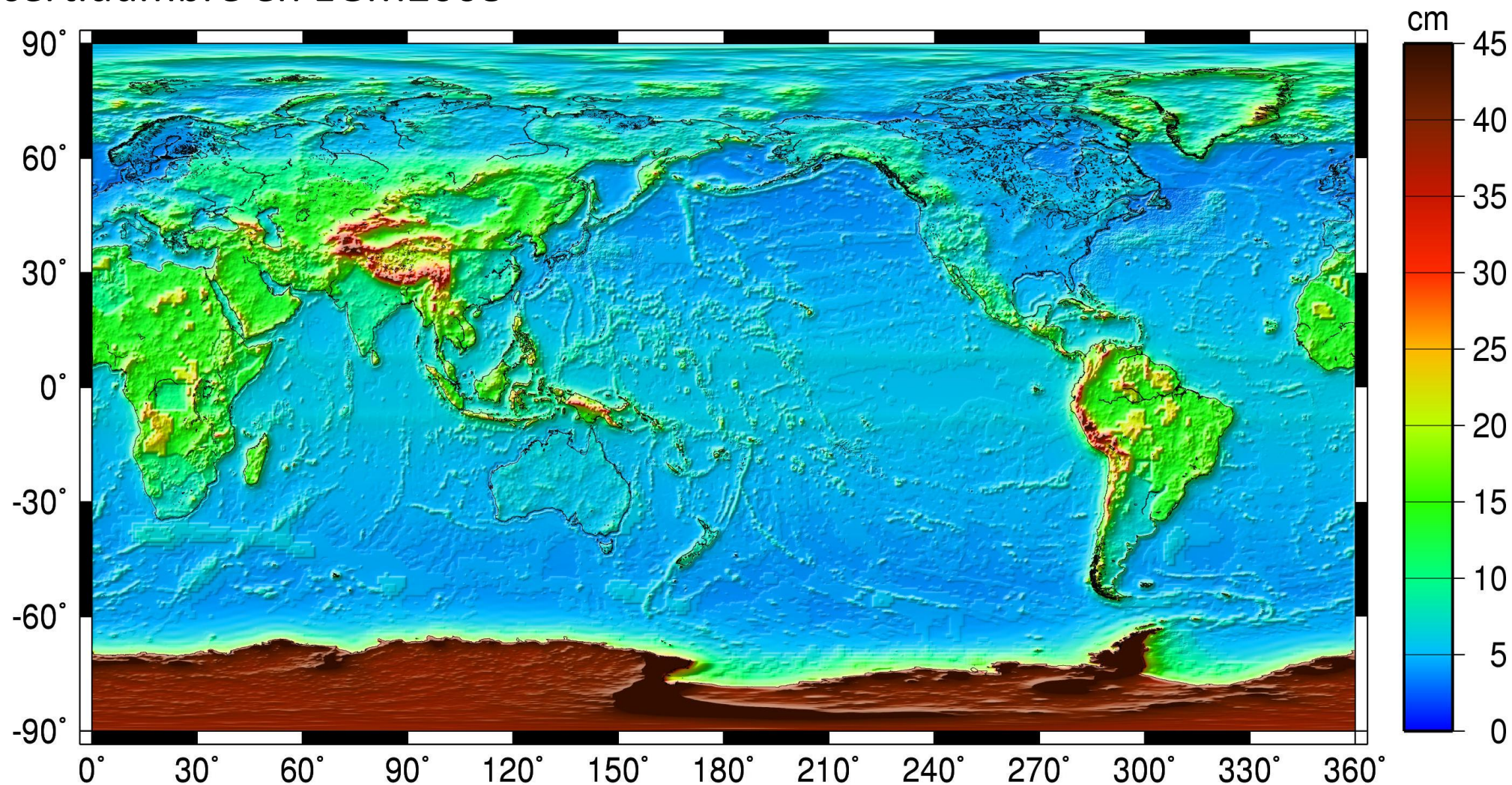
Modelo geoidal global (EGM2008)

- Modelos como el Earth Geopotential Model 2008 son una combinación de la gravedad espacial, aérea, naval y terrestre y pueden constituir la base de un datum de altura de un país.
- La cantidad de datos de las distintas regiones en EGM2008 no es la misma.
- En algunos casos, los países han añadido a los modelos EGM2008 datos adicionales sobre la gravedad para mejorar la precisión del modelo.



Modelo geoidal global (EGM2008)

Incertidumbre en EGM2008



Créditos: N.Pavlis

Otros modelos de gravedad global



https://icgem.gfz-potsdam.de/tom_longtime

ICGEM

Global Gravity Field Models

We kindly ask the authors of the models to check the links to the original websites of the models from time to time.
Please let us know if something has changed.

The table can be interactively re-sorted by clicking on the column header fields (Nr, Model, Year, Degree, Data, Reference).

In the data column, the datasets used in the development of the models are summarized, where **A** is for altimetry, **S** is for satellite (e.g., GRACE, GOCE, LAGEOS), **G** for ground data (e.g., terrestrial, shipborne and airborne measurements) and **T** is for tide.

The links [calculate](#) and [show](#) in the last columns of the table directly invoke the *Calculation Service* and *Visualization page* for the selected model.

For models with a registered **doi** ("digital object identifier") the last column contains the symbol , which directly opens the page on "http://dx.doi.org/".

If you click on the reference, the complete list of references can be seen.

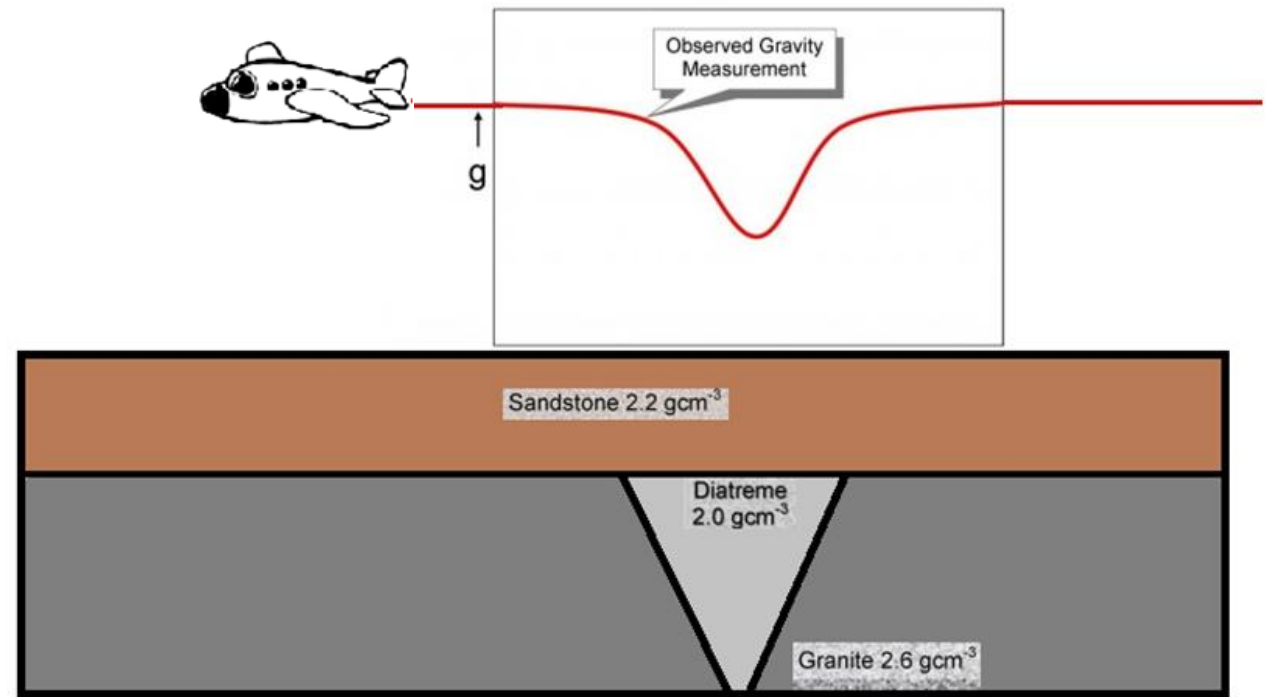
Nr	Model	Year	Degree	Data	References
180	WHU-SWPU-GOGR2022S	2023	300	S (Goce), S (Grace)	Zhao, Yongqi et al 2023
179	GOSG02S	2023	300	S (Goce)	Xu, Xinyu et al 2023
178	Tongji-GMMG2021S	2022	300	S (Goce), S (Grace)	Chen, J. et al, 2022
177	SGG-UGM-2	2020	2190	A, EGM2008, S(Goce), S(Grace)	Liang, W. et al, 2020
176	XGM2019e_2159	2019	2190 5540 760	A, G, S(GOCO06s), T	Zingerle, P. et al, 2019
175	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6e	2019	300	G (Polar), S(Goce)	Zingerle, P. et al, 2019
174	ITSG-Grace2018s	2019	200	S(Grace)	Mayer-Gürr, T. et al, 2018
173	EIGEN-GRGS.RL04.MEAN-FIELD	2019	300	S	Lemoine, J.M. et al, 2019
172	GOCO06s	2019	300	S	Kvas, A. et al, 2021
171	GO_CONS_GCF_2_TIM_R6	2019	300	S(Goce)	Brockmann, J. M. et al, 2021
170	GO_CONS_GCF_2_DIR_R6	2019	300	S	Bruinsma, S. L. et al, 2014
169	IGGT_R1C	2018	240	G, S(Goce), S(Grace)	Lu, B. et al., 2019
168	Tongji-Grace02k	2018	180	S(Grace)	Chen, Q. et al, 2018
167	SGG-UGM-1	2018	2159	EGM2008, S(Goce)	Liang, W. et al., 2018 & Xu, X. et al. (2017)
166	GOSG01S	2018	220	S(Goce)	Xu, X. et al., 2018
165	IGGT_R1	2017	240	S(Goce)	Lu, B. et al, 2017
164	IFE_GOCE05s	2017	250	S	Wu, H. et al, 2017
163	GO_CONS_GCF_2_SPW_R5	2017	330	S(Goce)	Gatti, A. et al, 2016
162	GAO2012	2012	360	A, G, S(Goce), S(Grace)	Demianov, G. et al, 2012
161	XGM2016	2017	719	A, G, S(GOCO05s)	Pail, R. et al, 2017
160	Tongji-Grace02s	2017	180	S(Grace)	Chen, Q. et al, 2016
159	NULP-02s	2017	250	S(Goce)	A.N. Marchenko et al, 2016
158	HUST-Grace2016s	2016	160	S(Grace)	Zhou, H. et al, 2016
157	ITU_GRACE16	2016	180	S(Grace)	Akyilmaz, O. et al, 2016

Gravedad aérea

Mide la aceleración vertical total. Se necesitan datos GPS muy precisos e IMU para eliminar el efecto del movimiento de la aeronave y recuperar una señal de gravedad.

Ventajas de las observaciones de la gravedad desde el aire

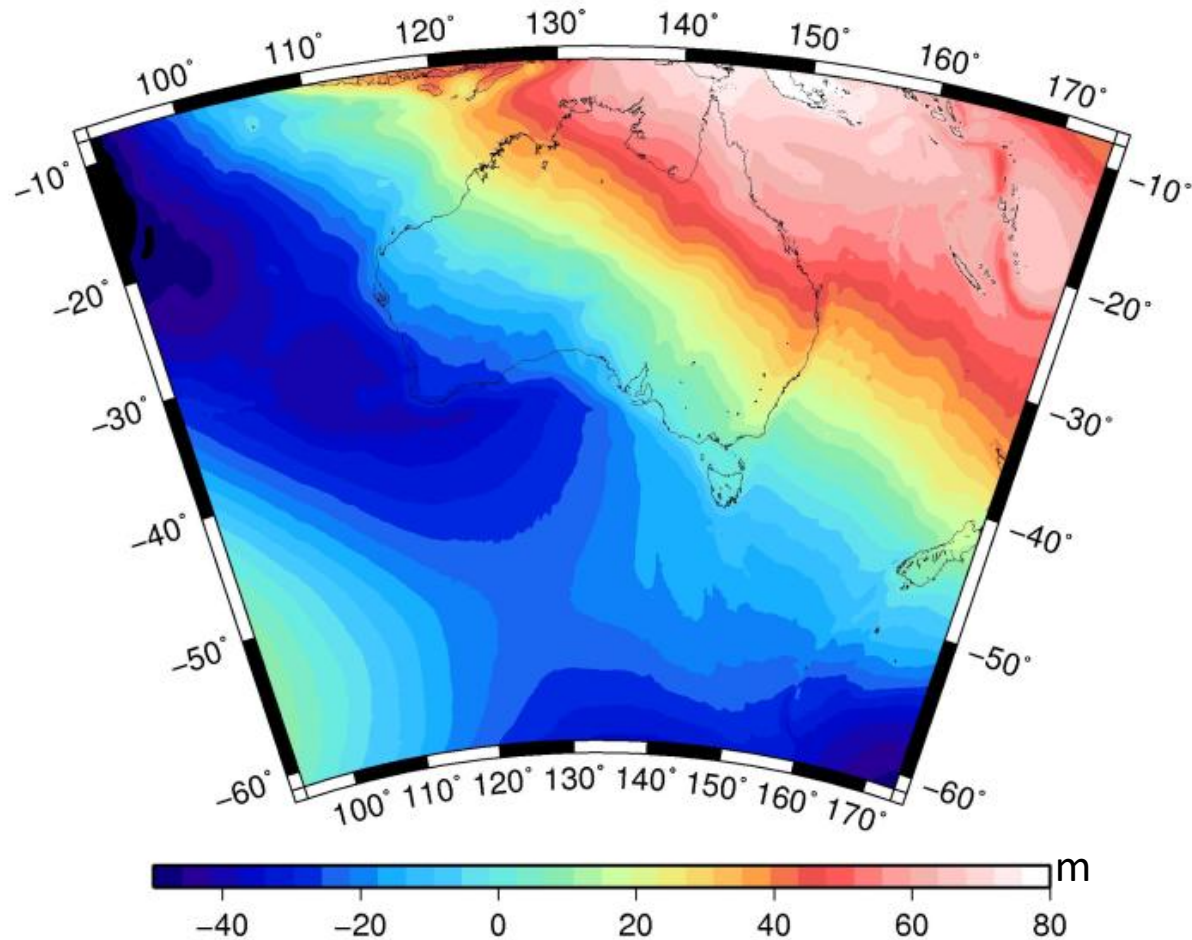
- ✓ Facilidad para obtener una cobertura homogénea en zonas inaccesibles de otro modo (montañas, regiones costeras poco profundas).
- ✓ Cubre grandes zonas de forma rápida y barata en comparación con los métodos terrestres.
- ✓ Puede cubrir fácilmente la zona litoral, donde hay grandes errores en la altimetría por satélite y los métodos terrestres y marítimos no son prácticos.



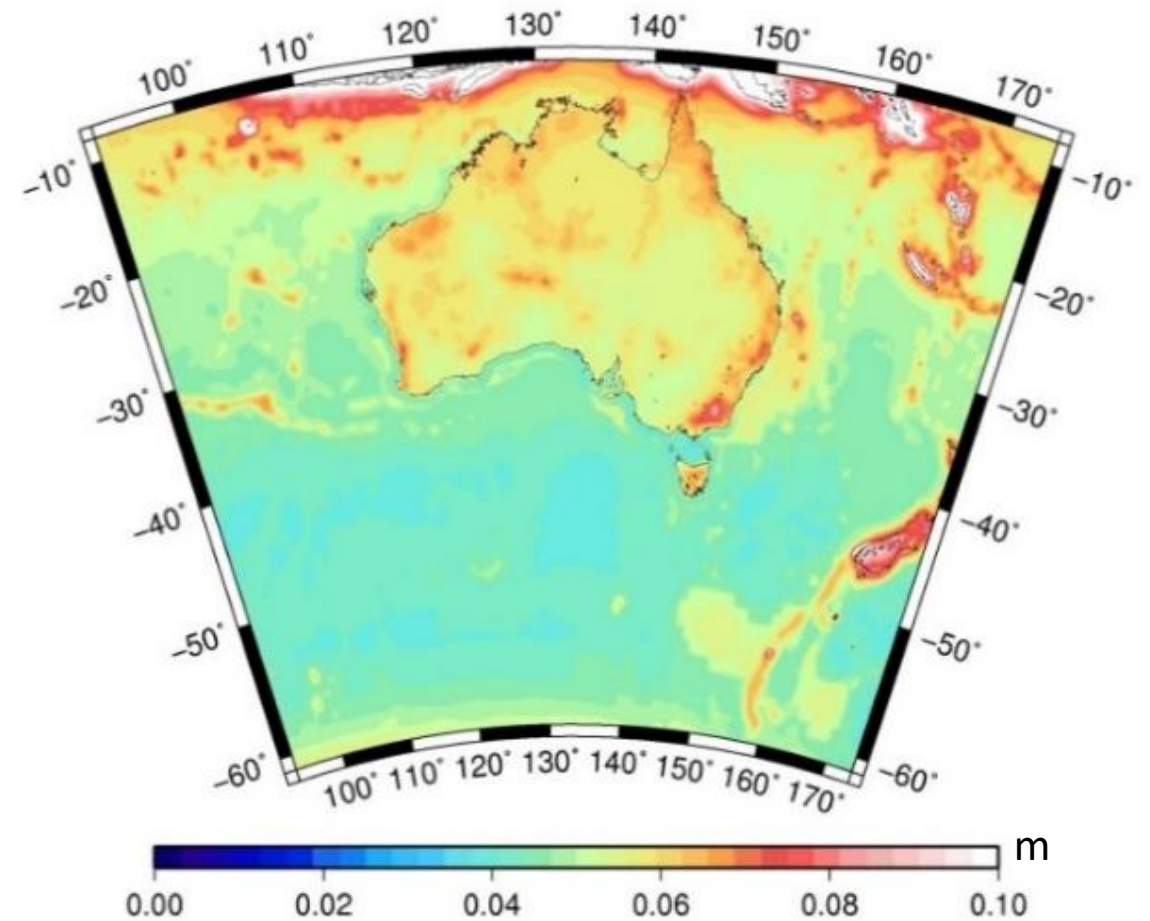
**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Ejemplo de modelo geoidal EGM2008+aéreo(parcial)+terrestre

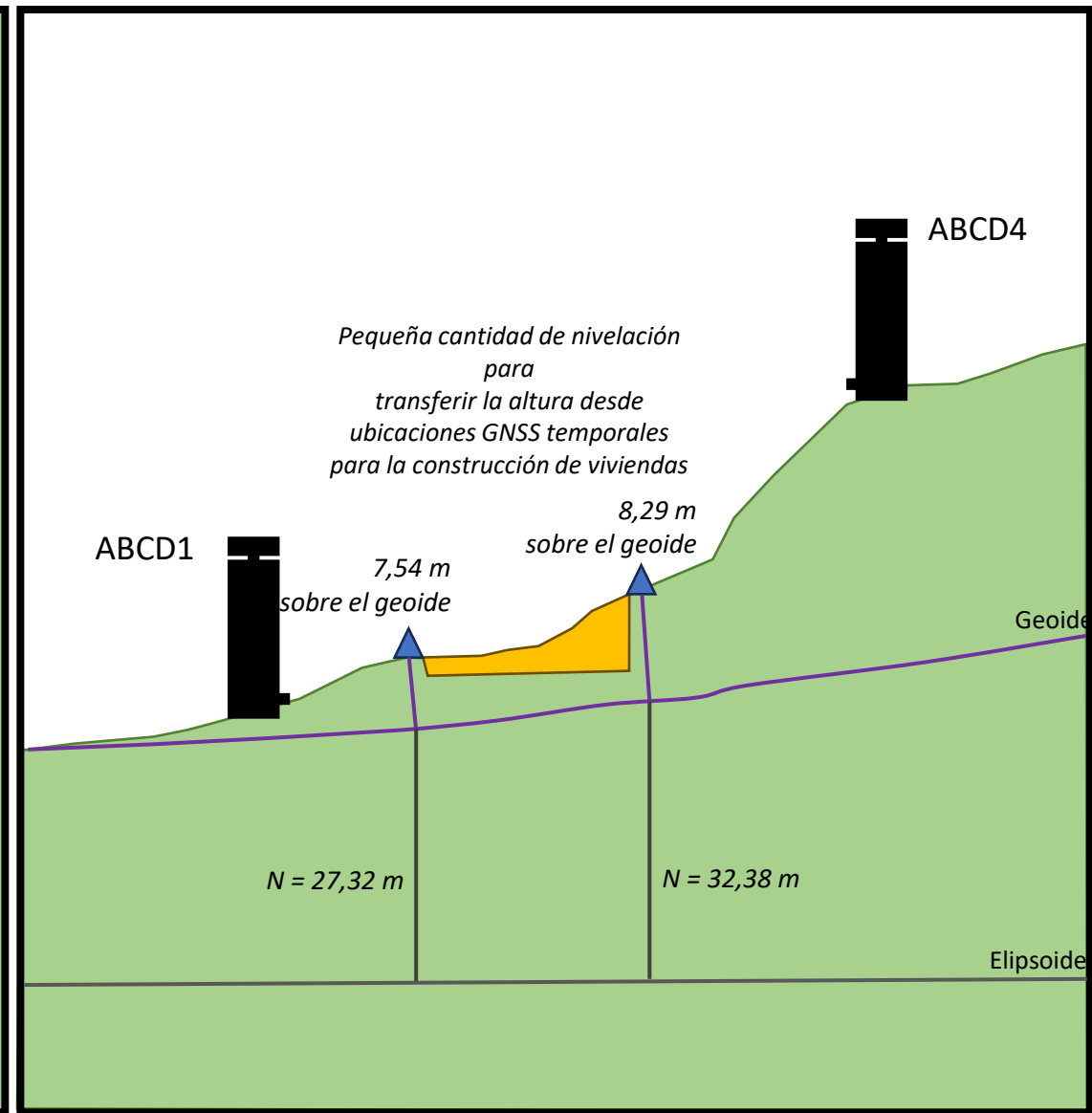
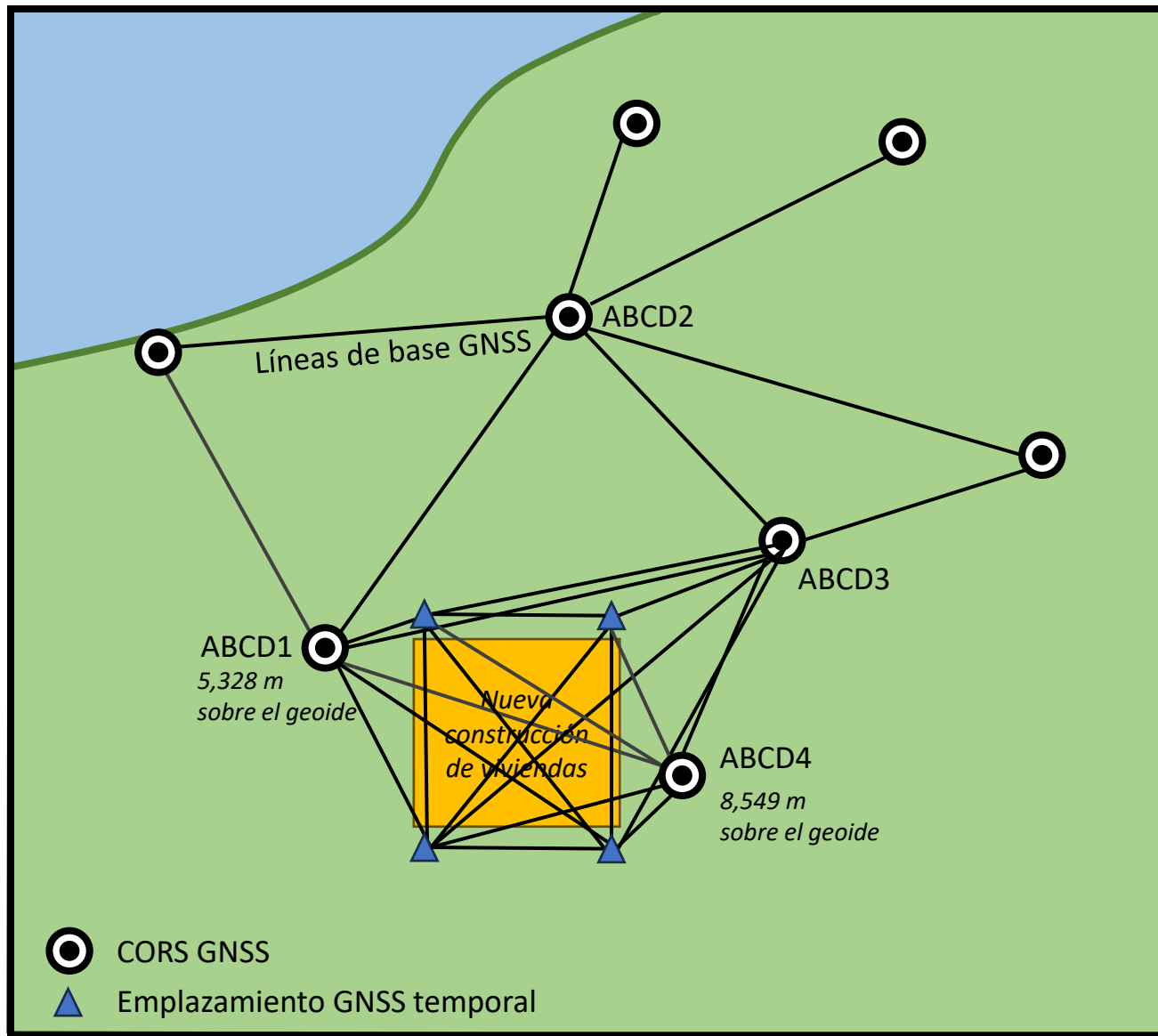
Cuasigeoide Gravimétrico
Australiano 2017 (AGQG2017)



AGQG2017 - Incertidumbre



Datum de altura referenciado al modelo geoide



Consideraciones para un datum vertical basado en un modelo geoidal

- Requiere el funcionamiento permanente de una red CORS con una amplia distribución de estaciones por todo el país.
- En gran parte del mundo, los conjuntos de datos disponibles para evaluar la calidad de los modelos precisos del geoide son escasos (GNSS de alta calidad y redes de nivelación). Muchos países carecen también de los datos de gravedad necesarios.
- La técnica más popular para crear el modelo de gravedad de entrada es la combinación de datos aerotransportados por satélite y terrestres.
- La transición de cualquier datum vertical a otro debe ir acompañada de una superficie de transformación que permita la trazabilidad a la norma antigua.

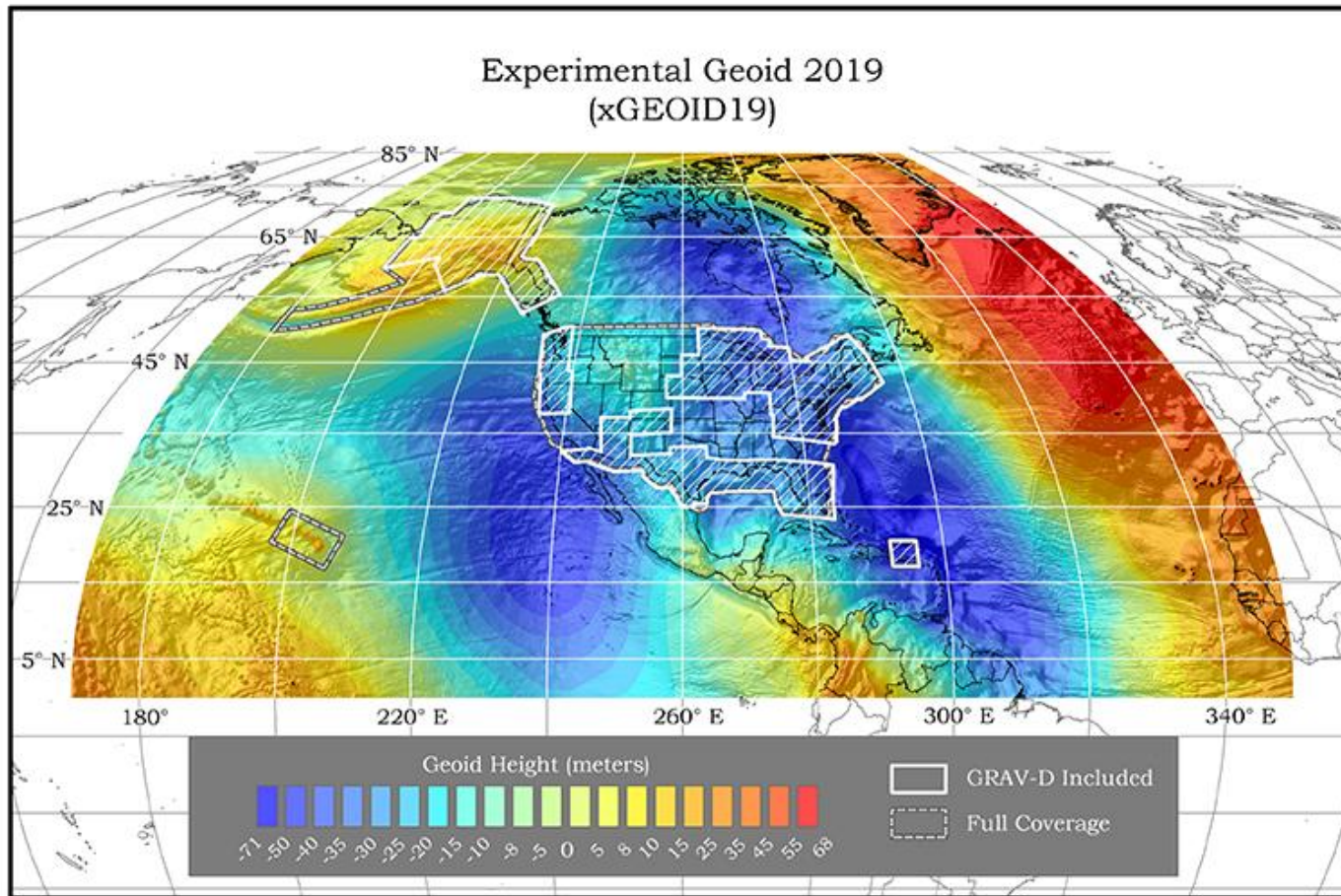


Consideraciones para un datum vertical basado en un modelo geoidal

- Es necesaria una red CORS GNSS fiable
- Se necesita un modelo geoidal más preciso que su red de nivelación actual
- Los usuarios deben dominar el uso del GNSS para determinar una red de altura local
- Puede permitir la reasignación de los costes de mantenimiento en curso de las marcas terrestres para destinarlos a las observaciones de la gravedad y al modelo del geoide
- Especialmente relevante para países grandes y/o con oleaje superficial (por ejemplo, más fríos).

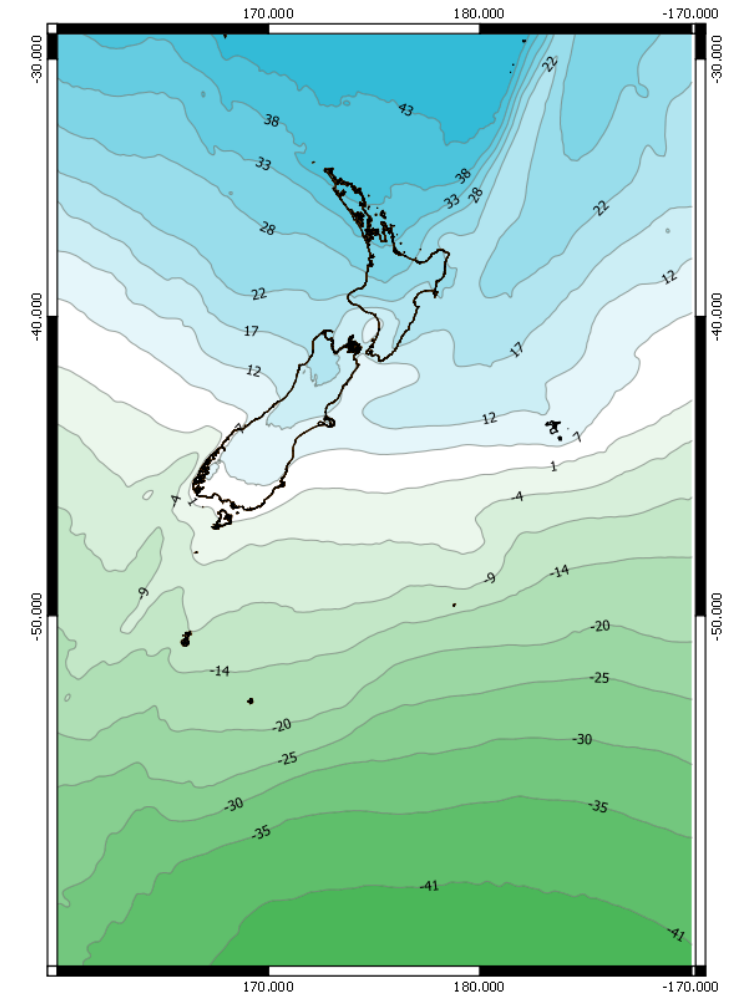


Modelos geoidales de EE.UU. y Nueva Zelanda



Fuente: <https://beta.ngs.noaa.gov/GEOID/xGEOID19/>

NZGeoid2016



Fuente: <https://www.linz.govt.nz/data/geodetic-system/datums-projections-and-heights/vertical-datums/new-zealand-quasigeoid-2016-nzgeoid2016>

Flujo de trabajo LSC en GitHub

 GeoscienceAustralia / analysis-ready-gravity-data-workflow

Type / to search

[Code](#) [Issues](#) [Pull requests](#) [Actions](#) [Projects](#) [Security](#) [Insights](#) [Settings](#)

 **analysis-ready-gravity-data-workflow** Public

Edit Pins Watch 3 Fork 0 Star 1

main 1 Branch 1 Tags

Go to file

Add file

Code

 **Darbeheshti** news

3c0fa54 · 4 days ago 36 Commits

document	doc folder	2 weeks ago
functions	little change	2 weeks ago
runPlots	Add files via upload	2 months ago
runPreparation	Add files via upload	2 months ago
runScripts	news	last month
.gitignore	Add files via upload	2 months ago
LICENSE	Create LICENSE	3 weeks ago
README.md	Update README.md	2 weeks ago
RunDemo.m	news	4 days ago

README CC0-1.0 license

About

Analysis ready data for gravity observations is a set of Matlab files to calculate gravimetric quasigeoid.

gravity geoid

Readme

CC0-1.0 license

Activity

Custom properties

1 star

3 watching

0 forks

Report repository

Releases

1 tags

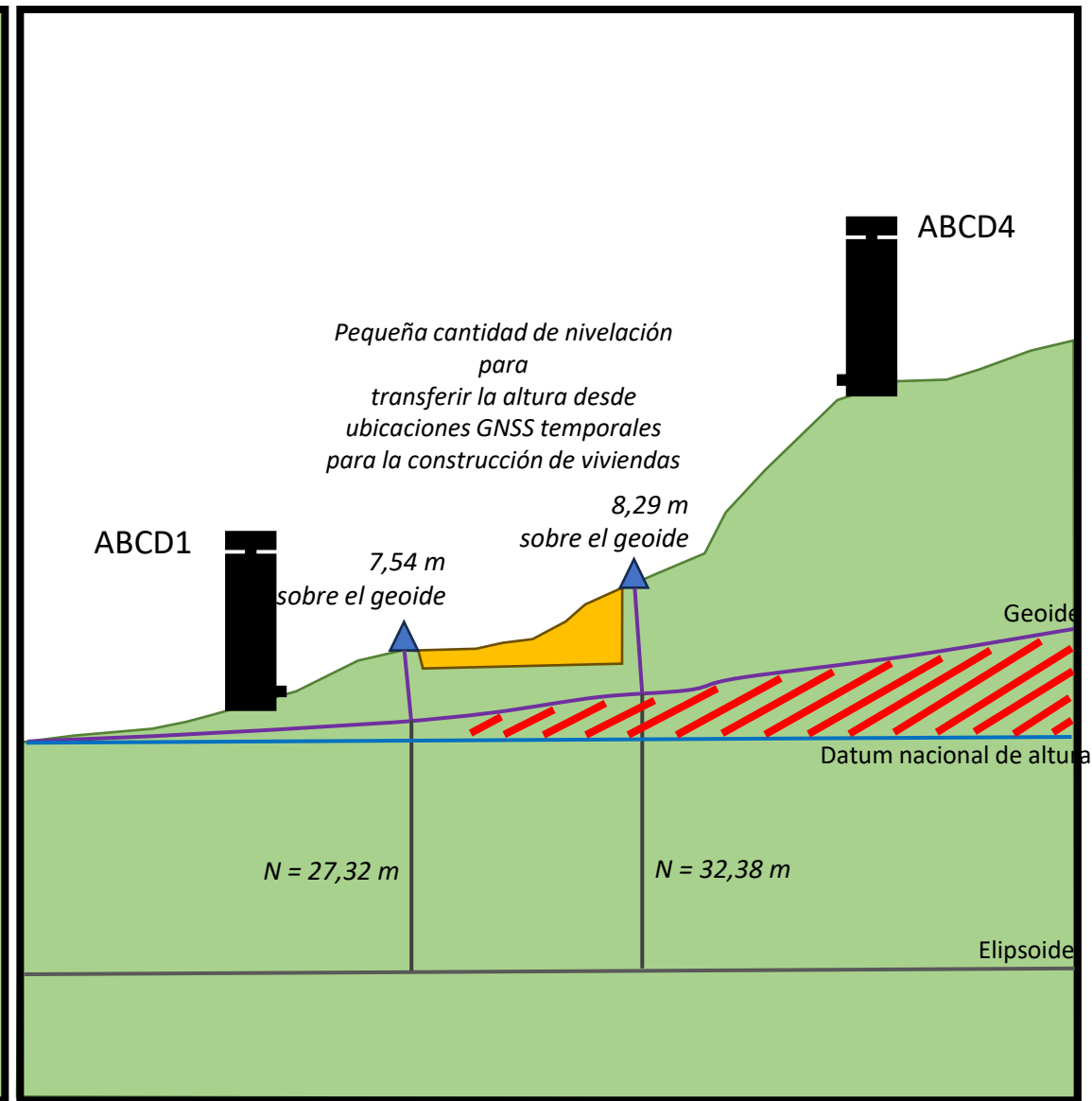
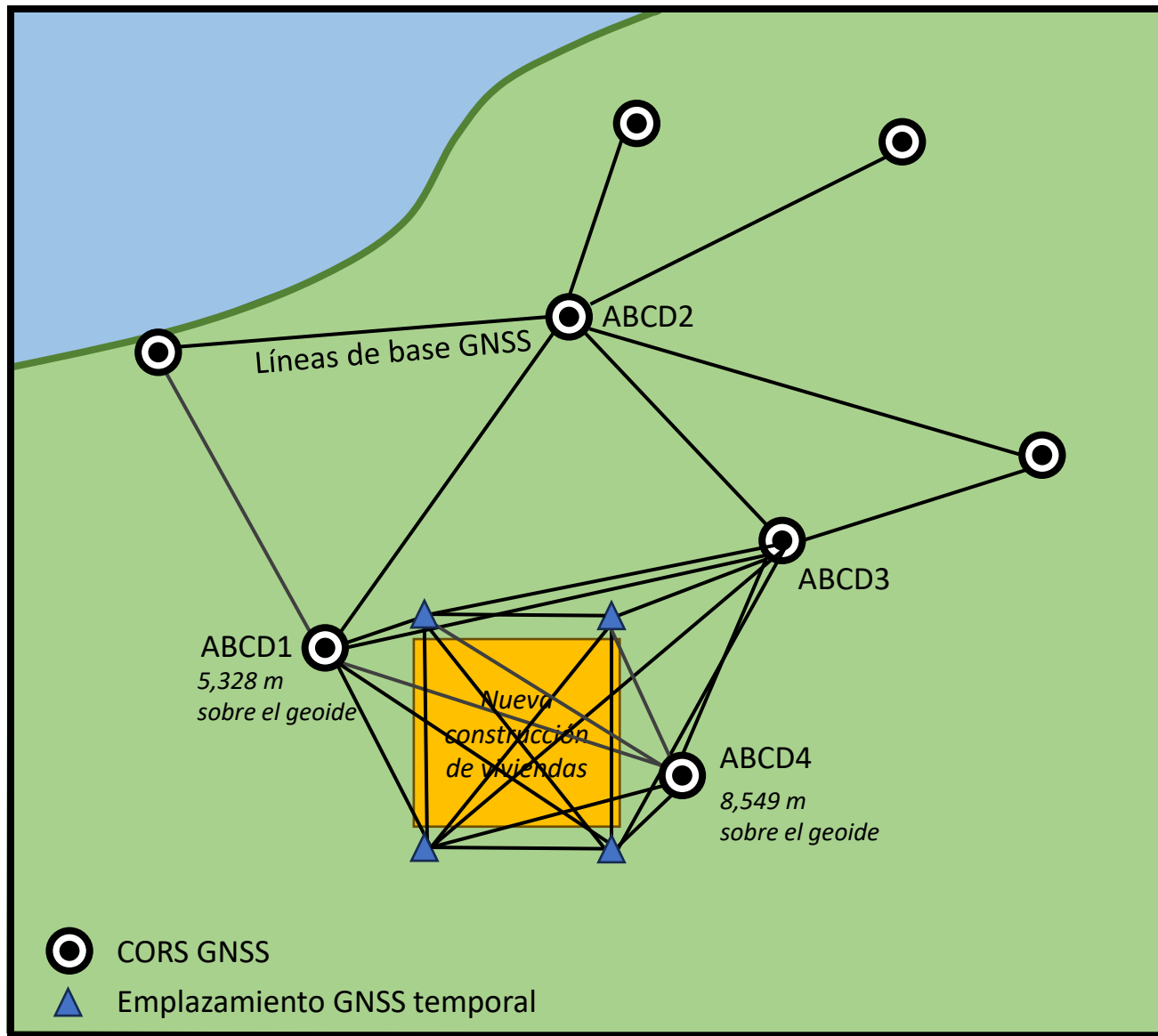
Create a new release

<https://github.com/GeoscienceAustralia/analysis-ready-gravity-data-workflow>

Superficie correctora (h,H,N)

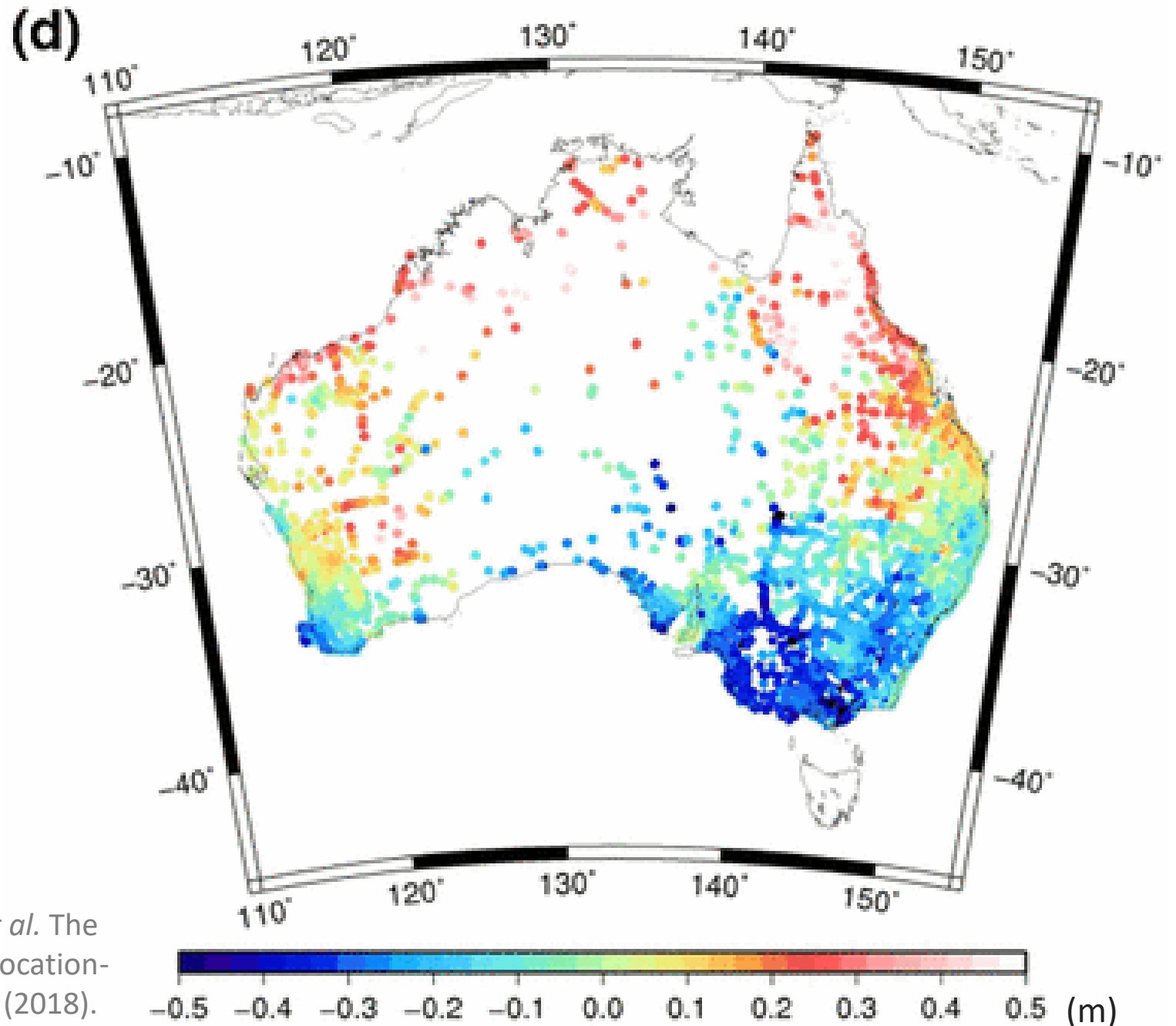
- Corrección entre un modelo de geoide y un datum de altura implantado en un país.
- Modelo de sesgo, discrepancias y efectos sistemáticos en un dato de altura cuando se realizó o desde su realización.
 - Los errores residuales $\varepsilon = h - H - N$ se modelizan mediante un modelo paramétrico (superficie correctora), que puede basarse en un sesgo simple, un sesgo y una inclinación, polinomios de orden superior con diferentes funciones de base, modelos de elementos finitos, series de Fourier o enfoques basados en la colocación por mínimos cuadrados.
 - Los parámetros desconocidos de la superficie correctora seleccionada se obtienen mediante un ajuste común por mínimos cuadrados de los datos elipsoidales, ortométricos y de altura del geoide sobre una red de puntos de referencia de nivelación GNSS cubricados.

Datum de altura referenciado al modelo geoide + superficie correctora



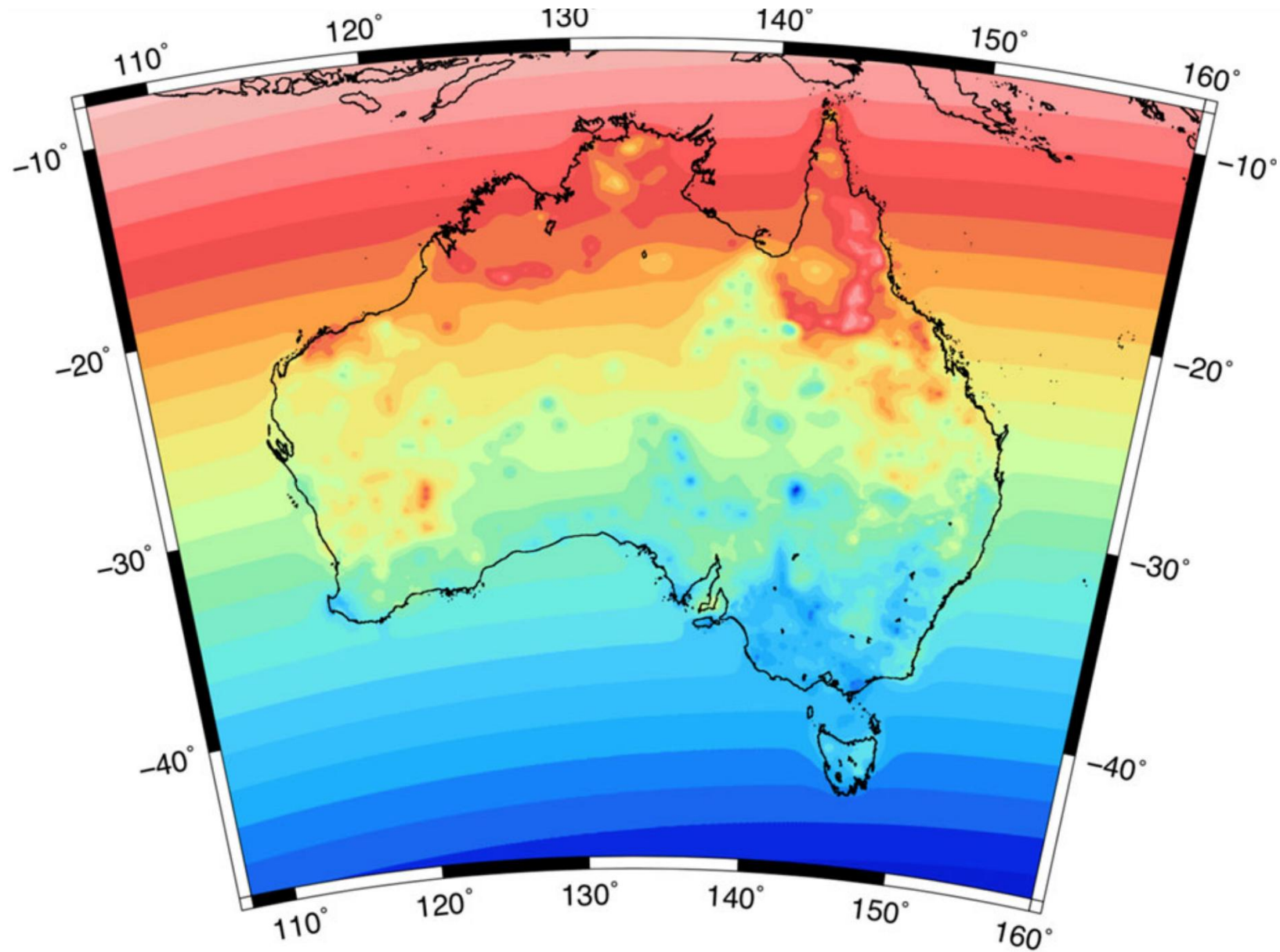
Diferencias entre el cuasigeoide gravimétrico y el geométrico en las 7224 estaciones GNSS-AHD del continente

- Inclinación norte-sur
- Sesgos regionales
- Errores de nivelación



Featherstone, W.E., McCubbine, J.C., Brown, N.J. *et al.* The first Australian gravimetric quasigeoid model with location-specific uncertainty estimates. *J Geod* **92**, 149–168 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00190-017-1053-7>

Superficie correctora (h,H,N)



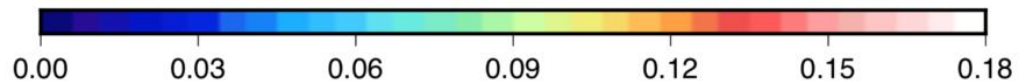
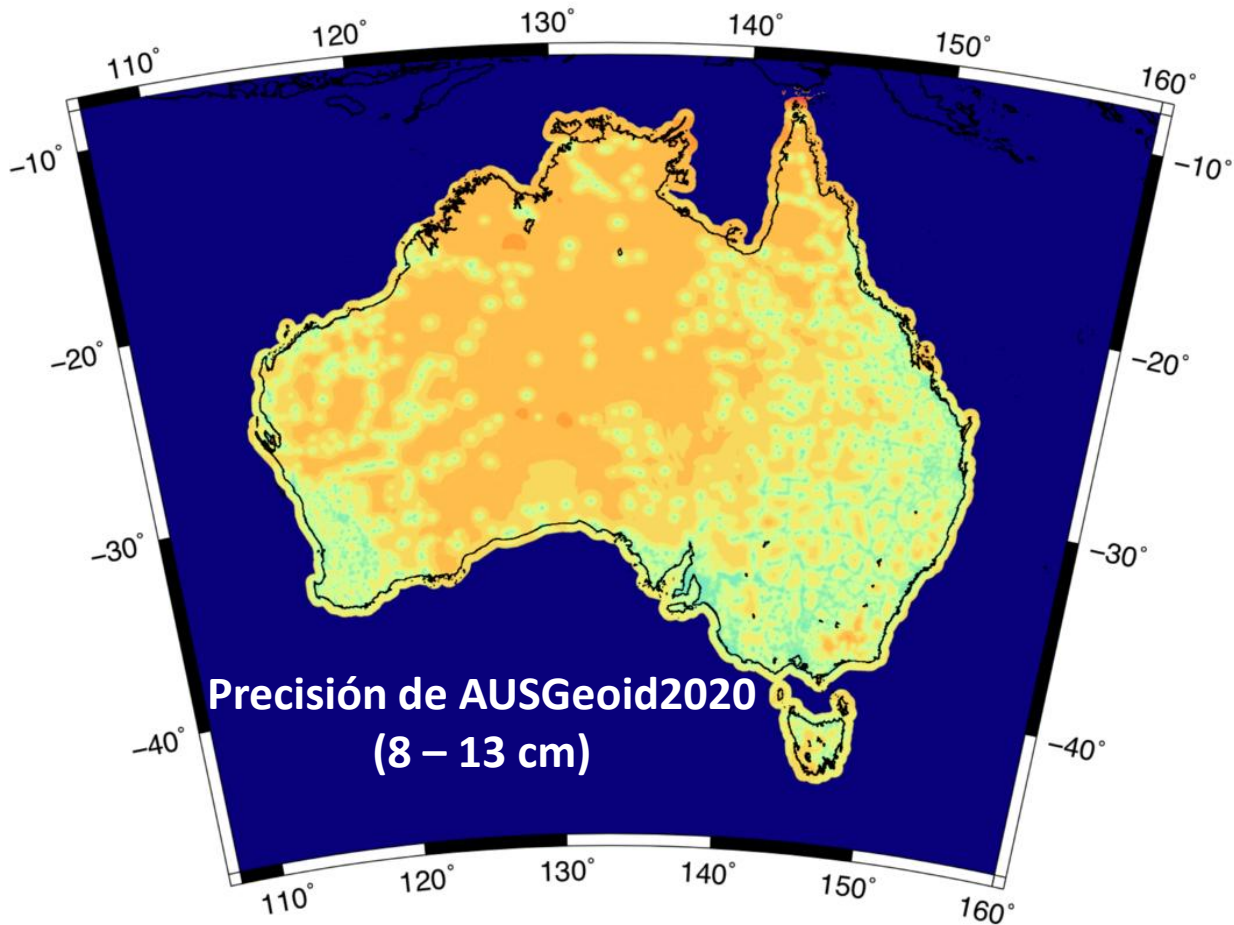
Superficie correctora (h,H,N)

Observaciones:

- Se desea disponer de un conjunto bien distribuido de puntos de nivelación ubicados conjuntamente con el posicionamiento GNSS;
- La aplicabilidad de la superficie correctora depende del número y la calidad de los puntos incluidos con datos coubicados (h, H, N);
- Cuantos más puntos, mejor será la superficie correctora;
- Cuanto mejor sea la distribución geográfica de los datos coubicados, mejor será la superficie correctora;
- Los puntos GNSS y los puntos de nivelación de bajo orden no deben incluirse;
- Los datos previstos son las incertidumbres de altura; los datos originales no se mejoran.

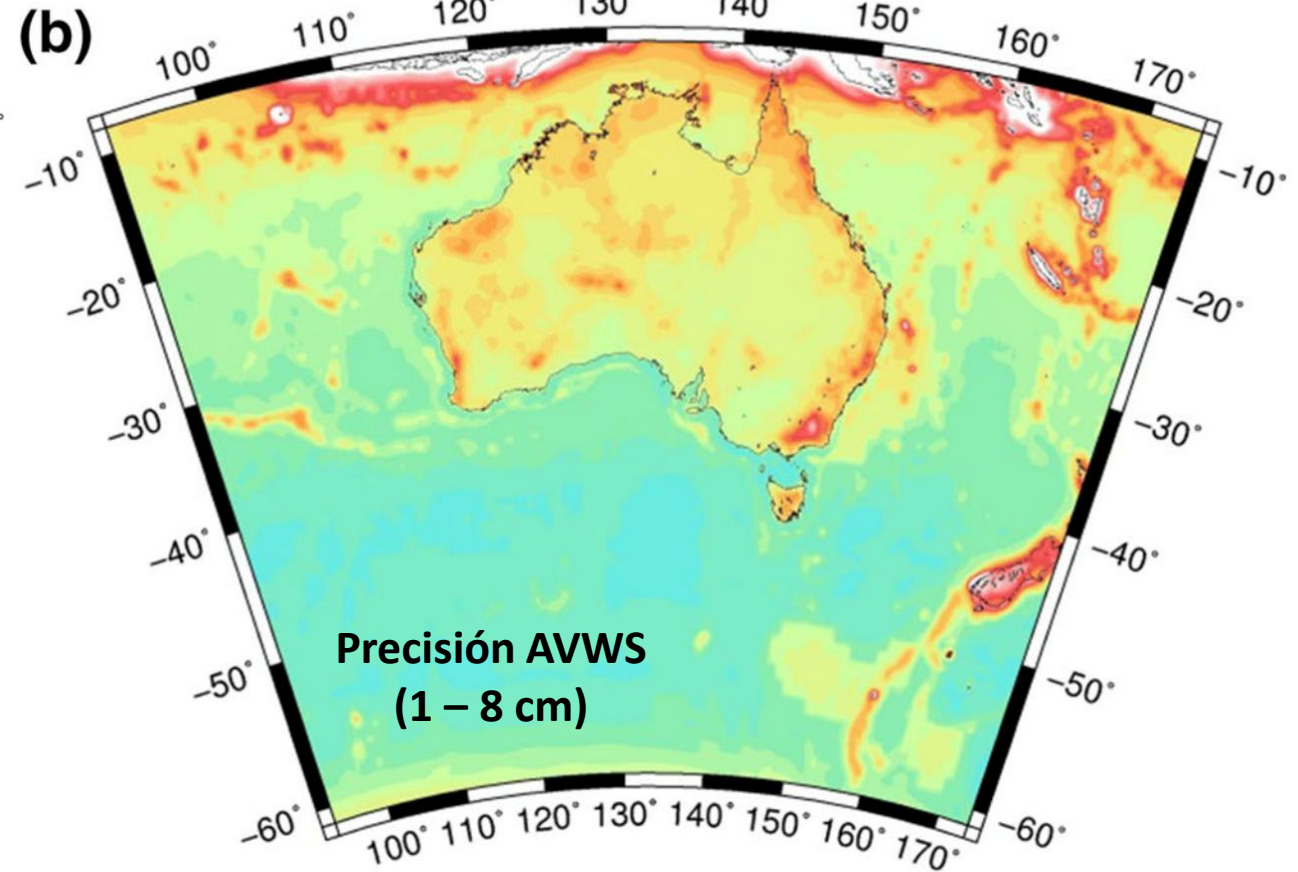
Solución de dos marcos

Gravimétrico + Geométrico



Brown et al. (2018), Journal of Geodesy

Gravimétrico



Featherstone et al. (2017), Journal of Geodesy