EPUSP

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

CENTRO DE ESTUDOS DE GEODESIA CENEGEO

Modelo geoidal de Colorado utilizando el paquete computacional SHGEO

Ana Cristina Oliveira Cancoro de Matos (1,2)

accmatos@alumni.usp.br

Denizar Blitzkow (1,2)

Gabriel do Nascimento Guimarães (3)

Valéria Cristina Silva (1)

(1) Laboratório de Topografia e Geodesia, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

(2) Centro de Estudo de Geodesia – CENEGEO.

(3) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Campus Santa Mônica.

SIRGAS sirgas.ipgh.org SIRGAS 2022 1:100 IAG

Cálculo del modelo de geoide

El esquema de Stokes-Helmert para la determinación del modelo geoidal se puede resumir en 5 pasos:

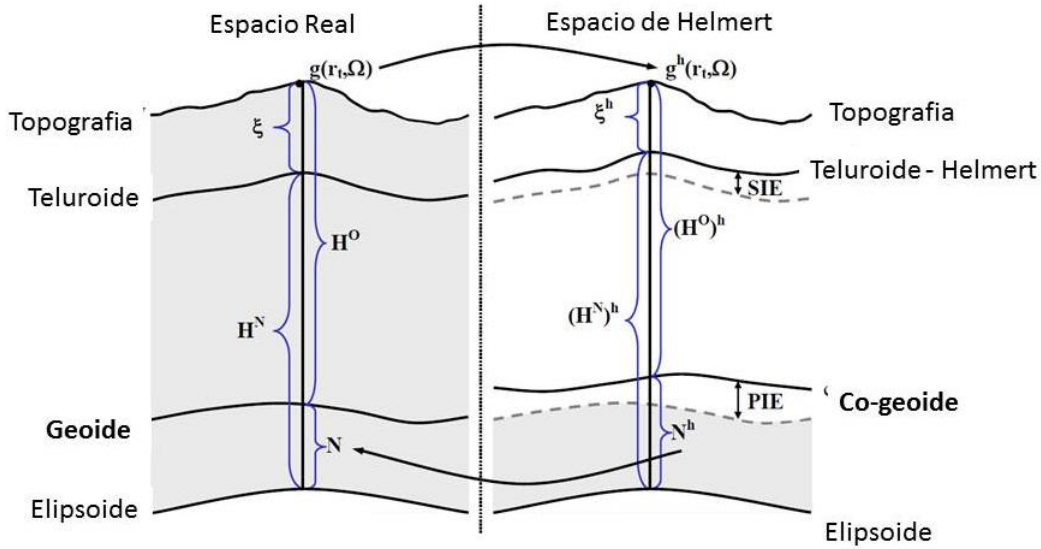
1. Formulación del problema del valor de contorno en superficie de la tierra;
2. Evaluación de las anomalías de gravedad de Helmert en superficie de la tierra;
3. Continuación hacia abajo de las anomalías de gravidad de Helmert para la superficie del geoide;
4. REMOVER-CALCULAR-RESTAURAR:

El componente de longitud de onda larga usó el modelo geopotencial XGM2019e (grado y orden 300).

El componente de longitud de onda corta fue estimada por dos métodos:

a. a Transformada Rápida de Fourier (FFT), con la modificación del Kernel propuesta por Vaníček y Kleusberg, y ;
b. por el método de colocación por mínimos cuadrados (GRAVSOFT).

5. Transformación de las alturas geoidales del espacio de Helmert al espacio real.



Vaníček P. and Kleusberg A., 1987, The Canadian geoid-Stokesian approach. Manuscr Geodaet, 12(2):86-98.

MANUAL SHGEO

Los puntos de gravedad terrestre originales son proporcionados por el Servicio Geodésico Nacional de EE. UU.

Dr. Marc Véronneau del Canadian Geodetic Survey

Medidas de campo

IAG JWG 2.2.1 (Error assessment of the 1 cm geoid experiment)

Anomalías de Aire Libre y Bouguer completa pontuales

DTE, SITE

Anomalías de Bouguer - promedio

Anomalias Aire Libre -promedio

+

Corr. geoide-cuasigeoide

Longitudes de onda largas y medias (XGM2019e n=300)

Anomalías de Helmert

Continuación hacia abajo

-

Remover- Calcular-Restaurar

Integral de Stokes modificada
y
método de colocación por mínimos cuadrados
(longitudes de onda corta)

Longitudes de onda largas y medias (XGM2019e n=300)

+

Co-geoide

+

PITE, PIAE

Modelo geoidal

Descripción de la grilla de anomalías aire libre 1’ de resolución:

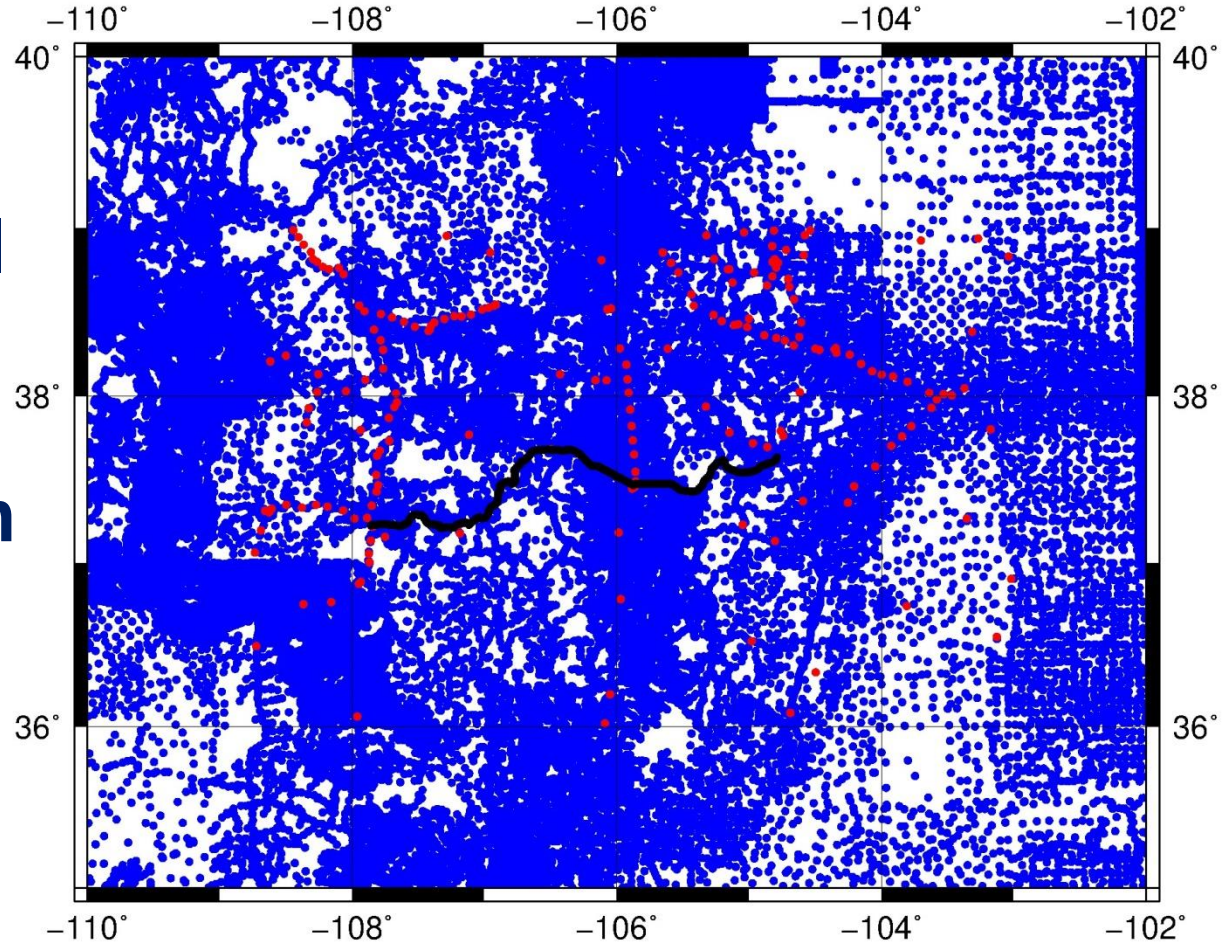
(a) Los puntos de gravedad son proporcionados por el Servicio Geodésico Nacional de EE. UU. Cada punto de gravedad se convierte en anomalías de Bouguer completas.
(b) La generación de la grilla de 30" de resolución por el método de colocación de mínimos cuadrados.
(c) Con la grilla anterior se genero una grilla de 1' resolución por promedia
(d) La placa de Bouguer se vuelve a agregar usando la altura media de la grilla de 1' resolución del DEM xGEOID20.
(e) La corrección atmosférica se agrega usando la altura del mismo DEM.
(f) Finalmente, se vuelve a agregar una corrección del terreno (CT) para obtener las anomalías del aire libre promedia en grilla de 1’ de resolución.

El formato de archivo de 'gCOFA_21A3_1m.csv' es ASCII (latitud (grados dec.), longitud (grados dec.), anomalía de aire libre (mGal).

GRAVIMETRIA

Gravidad →mGal

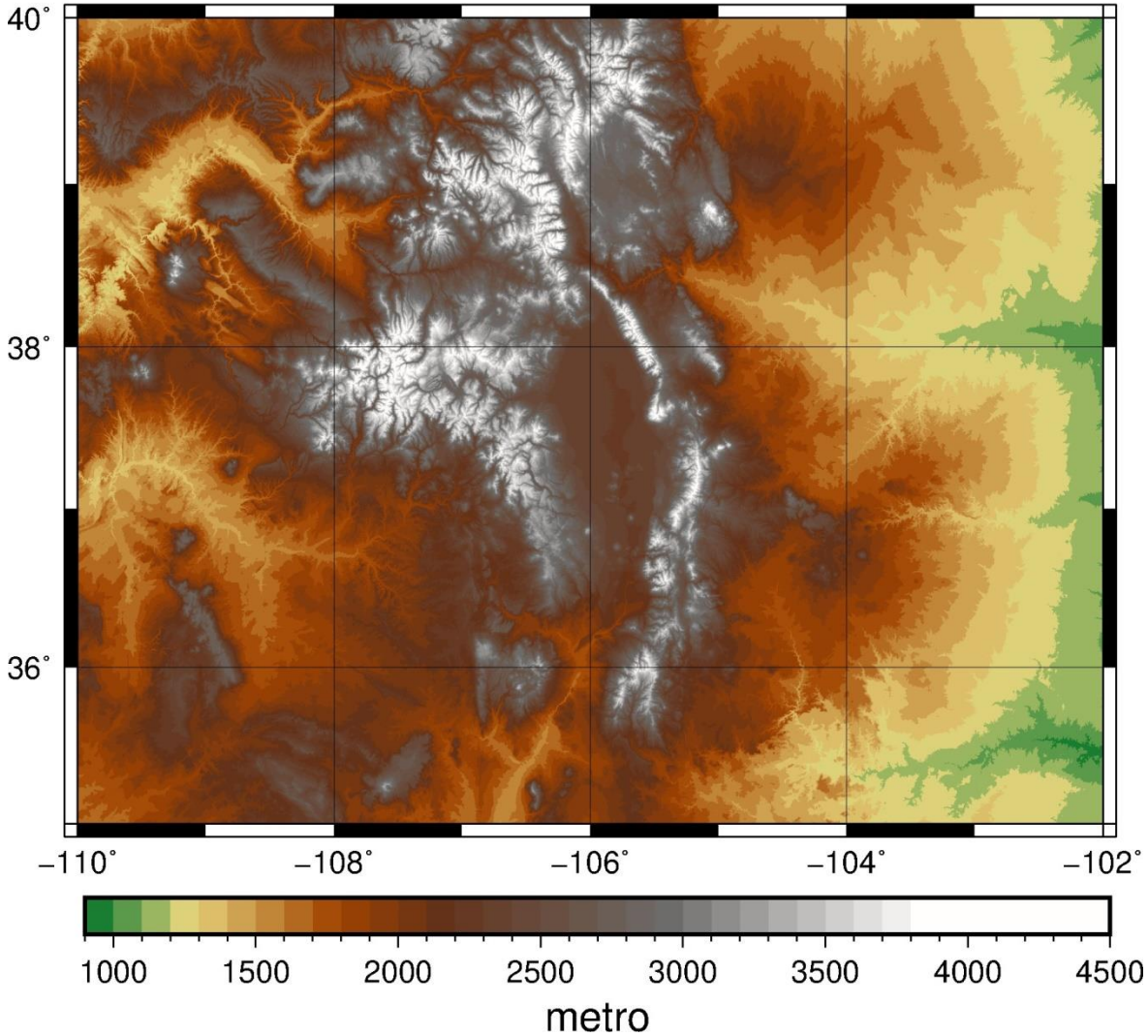
geodetic reference system →GRS80



COLORADO DATOS		
gravidad terrestre	GSV17	GPSBM_v2.2_08Feb18
59303 puntos	222 puntos	193 puntos

Colorado 1 cm Geoid Experiment: https://geodesy.noaa.gov/GEOID/research/co-cm-experiment/

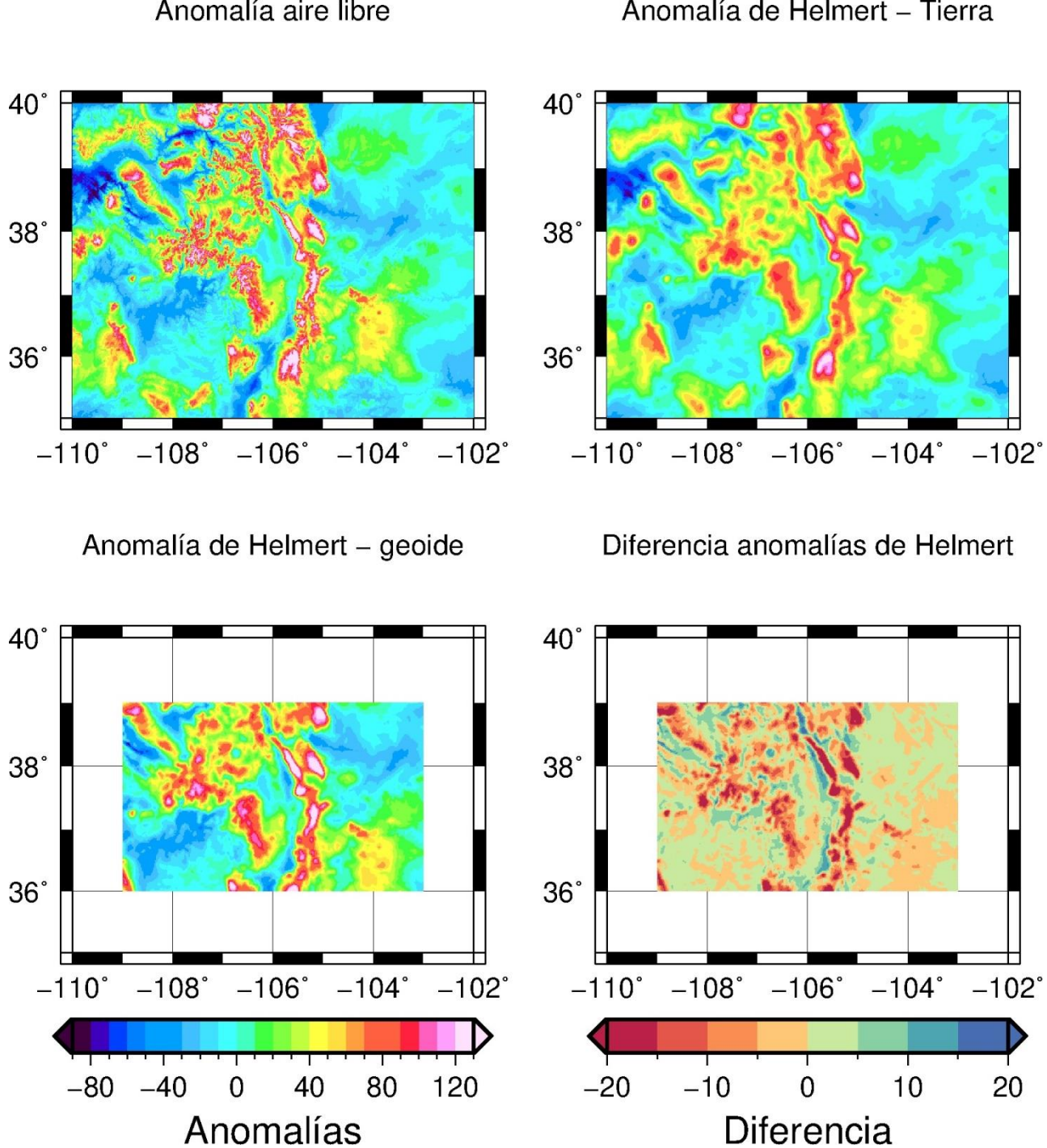
DEM SRTM 4.1



Colorado 1 cm Geoid Experiment: https://geodesy.noaa.gov/GEOID/research/co-cm-experiment/

Anomalías

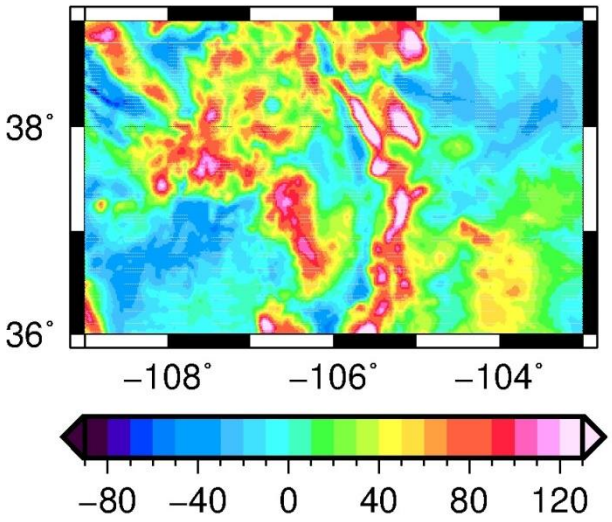
mGal



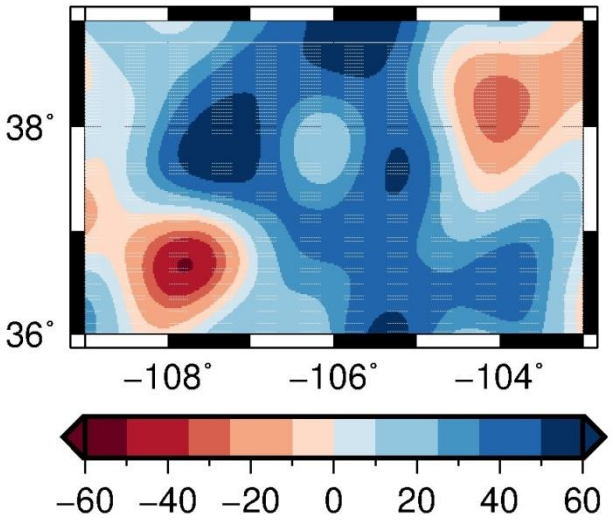
Análisis estadístico

	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar
Colorado_dem_1m_block.txt **(m)**	1171,050	4120,329	2225,313	595,191
Anomalía aire libre **(mGal)**	-80,630	200,730	17,371	38,930
Anomalía de Helmert en la superficie de la Tierra **(mGal)**	-62,686	131,373	17,994	33,087
Anomalía de Helmert en la superficie del geoide **(mGal)**	-84,243	163,627	18,954	37,869
Diferencia entre las Anomalías de Helmert (mGal)	**-39,229**	**21,557**	**-0,959**	**6,025**

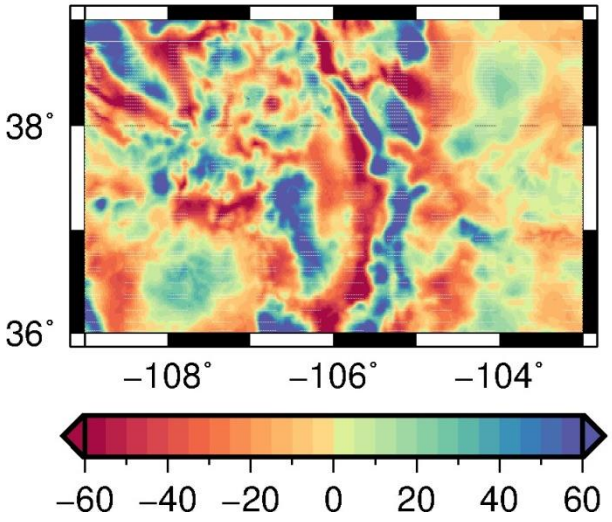
Anomalía de Helmert – geoide



Campo de referencia XGM2019e(n=m=300)



Anomalía residual



Anomalías

mGal

Análisis estadístico

mGal	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar
Anomalía de Helmert en la superficie del geoide	-84,243	163,627	18,954	37,869
Campo de referencia	-51.144	70.424	19.794	24.451
Anomalía residual	**-90.005**	**126.882**	**-0.892**	**28.138**

Modelo Geoidal

El componente de longitud de onda corta fue estimada por dos métodos:

1. a Transformada Rápida de Fourier (FFT), con la modificación del Kernel propuesta por Vaníček y Kleusberg y

2. por el método de colocación por mínimos cuadrados (GRAVSOFT).

Metro	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar
Esferoide de referencia	-22.71	-14.46	-18.12	2.12
Efecto Topográfico Indirecto Primario(PITE)	-0.83	-0.11	-0.37	0.16
Efecto atmosférico indirecto primario (PIAE)	-0.0066	-0.0062	-0.0065	0.00004

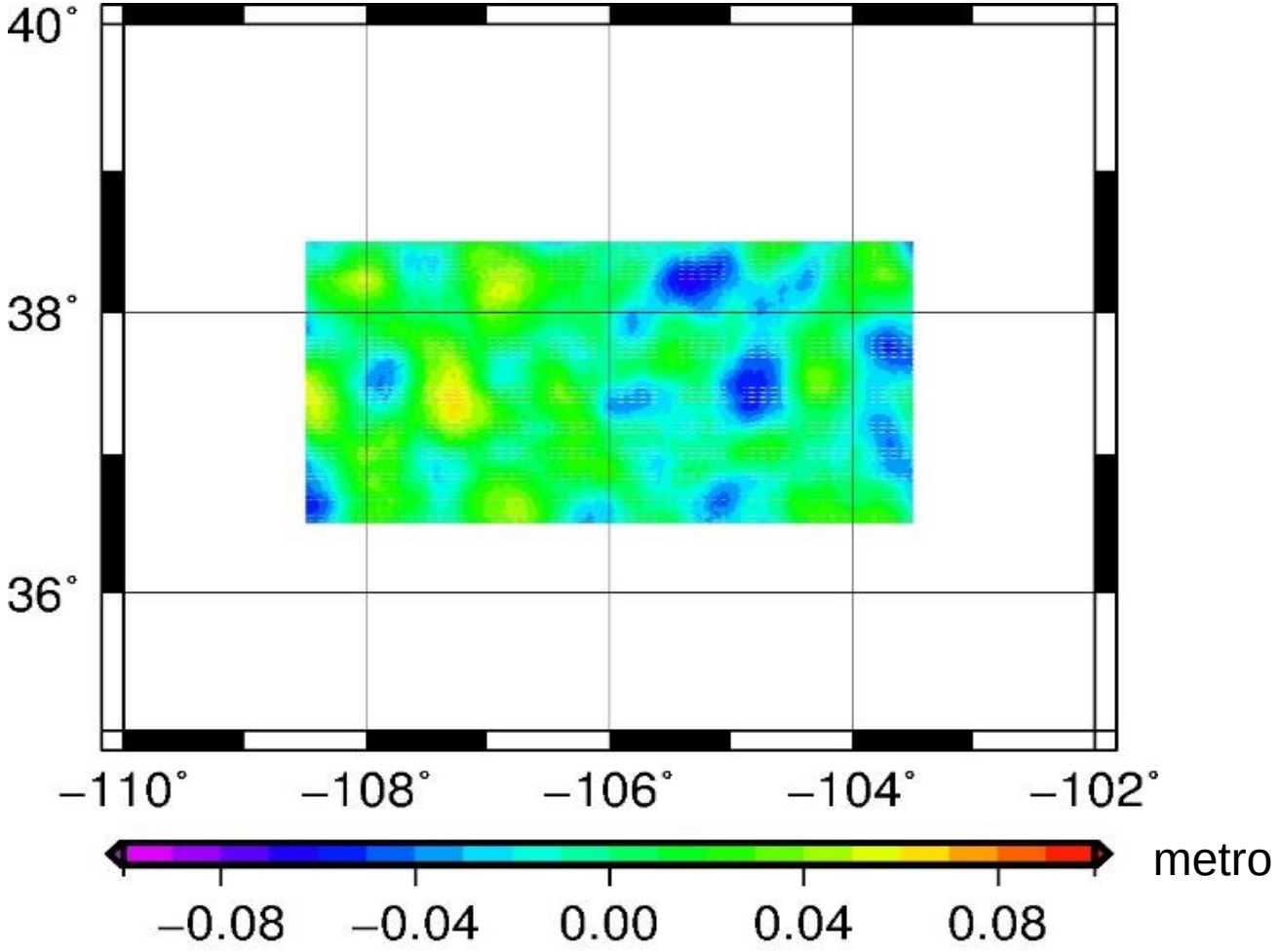
Integral modificada de Stokes - Transformada Rápida de Fourier (FFT), con la modificación del Kernel propuesta por Vaníček y Kleusberg

Metro	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar
Co-geoide residual (Stokes)	-2.58	3.66	0.02	0.85
Modelo geoidal	**-23.050**	**-14.95**	**-18.48**	**2.02**

Colocación por mínimos cuadrados (GRAVSOFT)

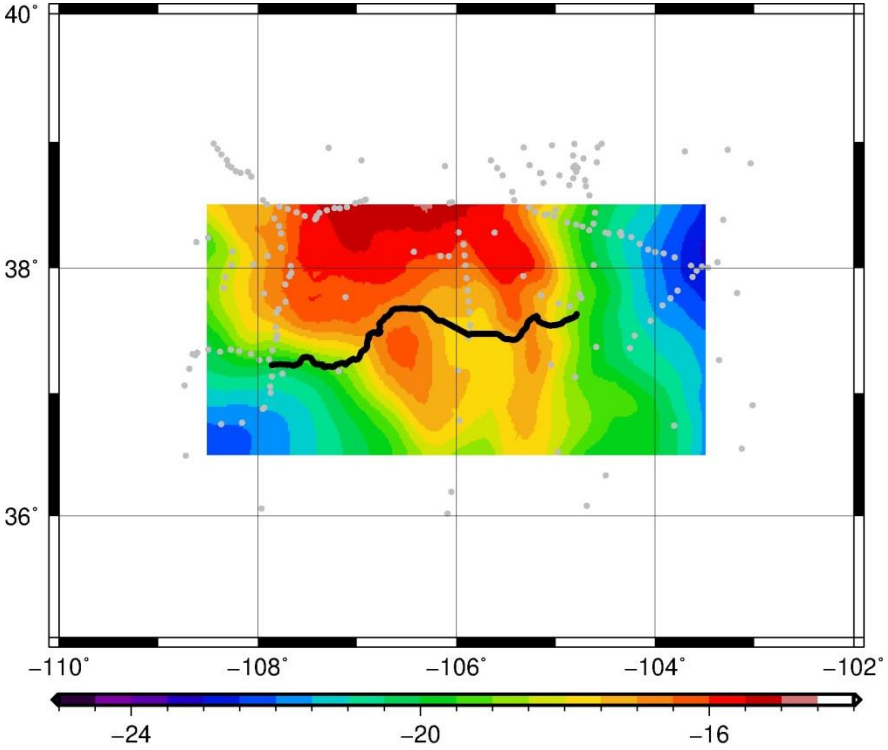
Metro	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar
Co-geoide residual (Colocación)	-0.92	1.29	0.01	0.388
Modelo geoidal	**-22.84**	**-14.89**	**-18.49**	**2.00**

Diferencia entre co-geoides residuales (Stokes) - (Colocación)

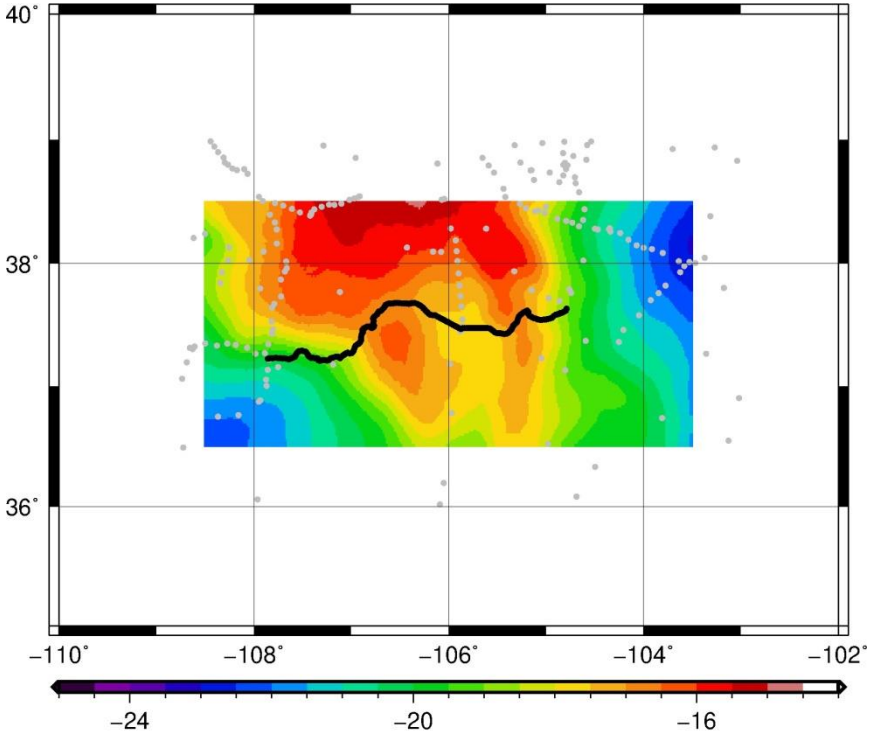


Metro	Z min	Zmax	Media	Desviación Estándar	RMS
(Stokes) -(Colocación)	-0.076	0.068	0.000	0.022	0.022

Modelos geoidales
STOKES y COLOCACIÓN



Modelo geoidal – STOKES (metro)



Modelo geoidal – Colocación (metro)

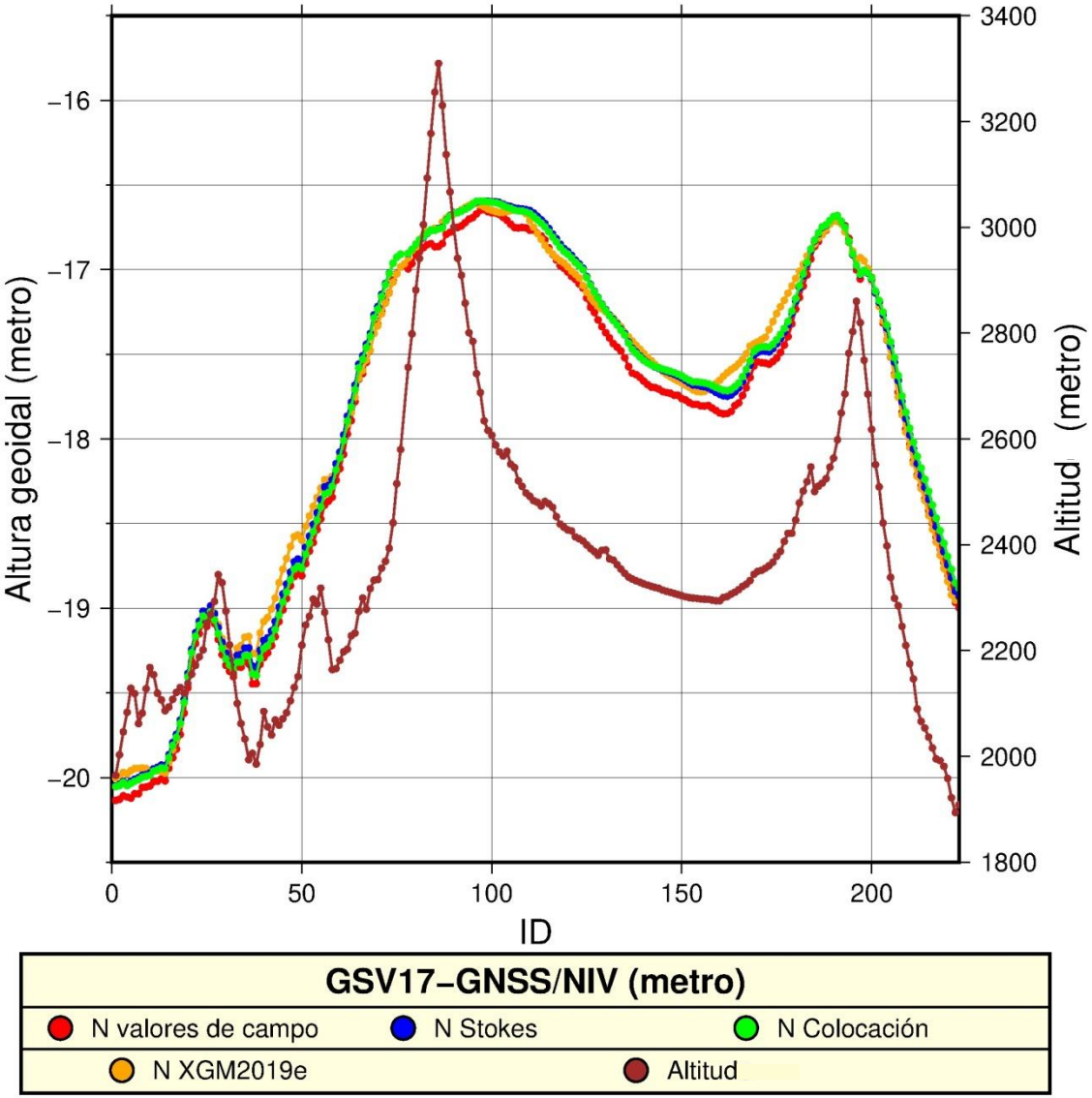
Diferencia entre las alturas geoidales de la línea GSV17 y los modelos geoidales y N XGM2019e (ICGEM) - 222 puntos

N XGM2019e → ICGEM → funcional geoid

generated_by ICGEM (hosted at GFZ-Potsdam)
generating_date 2022/09/22
---
modelname XGM2019e_2159
max_used_degree 2190
---
tide_system zero_tide
zero_degree_term included
---
refsysname GRS80
max_degree_refpot 8
gmrefpot 3.98600500000E+14[m**3/s**2]
radiusrefpot 6378137.000 m
flatrefpot 3.352810681183638E-03 (1/298.25722210088)
omegarefpot 7.29211500000E-05 1/s

Metro	N GSV17 – N STOKES	N GSV17 – N Colocación	N GSV17 – N XGM2019e
Media	-0,08	-0,08	-0,10
Desviación Estándar	0,03	0,03	0,07
RMSD	0,09	0,09	0,12
Z Min	-0,01	-0,02	0,03
Z Max	-0,14	-0,14	-0,24

Las alturas geoidales de la línea GSV17,los modelos geoidales y XGM2019e (ICGEM) - 222 puntos



https://geodesy.noaa.gov/GEOID/GSVS17/index.shtml

Ciudades de Durango y Walsenburg, a lo largo de la carretera US 160.

Una línea de 360 km, con un rango de 1900 a 3300 metros de altura con un espacio entre estaciones de aproximadamente 1.6 km;

-Tipos de observación
Sesión larga (más de 24 horas) GPS en todos los puntos de referencia;

-Nivelación geodésica de primer orden clase II conectando todo el conjunto de cotas;

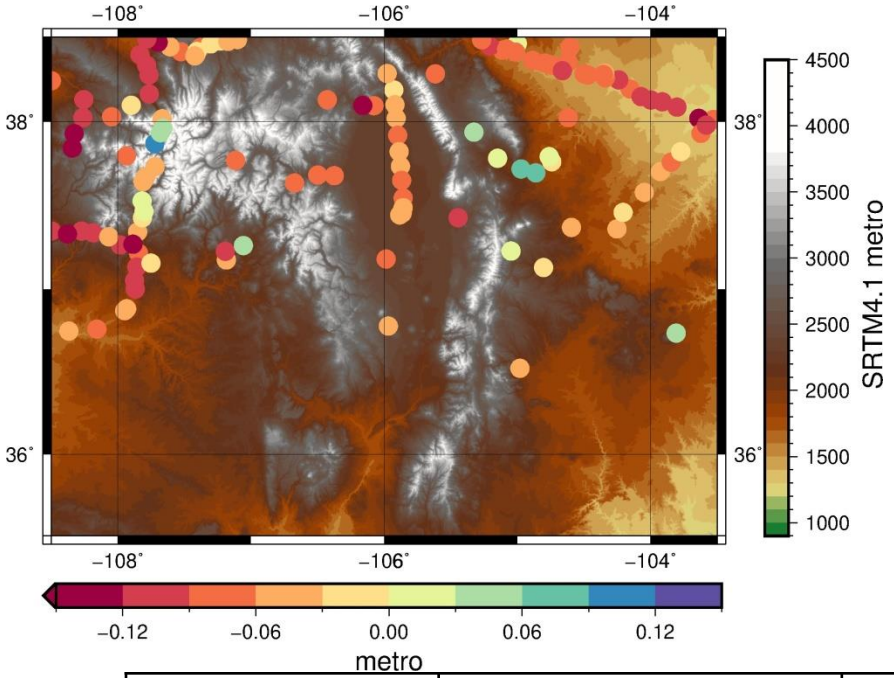
-Gravedad:

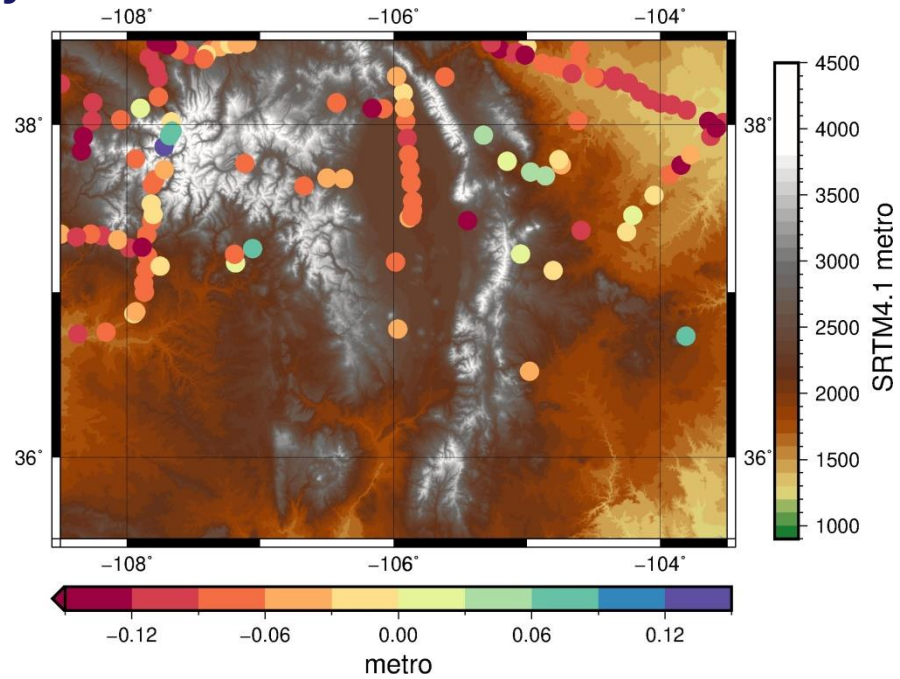
- Gravedad absoluta FG-5 en puntos finales de gravedad;
- Gravedad absoluta A-10 en todos los puntos de referencia;
- Mediciones de gradiente de gravedad vertical en todos los puntos de referencia;

- Desviaciones astrogeodésicas de la vertical utilizando la cámara CODIAC en todos los puntos de referencia;

- Gravedad aerotransportada sobre toda la línea.

Diferencia entre el N de Colorado_GPSBM_v2.2_08Feb18 y los modelos geoidales -122 puntos
108.5º W hasta 103.5º W en longitud y 36.5º N hasta 38.5º N en latitud





Metro	N GPSBM_v2.2 – N STOKES	N GPSBM_v2.2 - N Colocación	N GPSBM_v2.2 – N XGM2019e
Media	-0,06	-0,06	-0,06
Desviación Estándar	0,05	0,05	0,08
RMSD	0,08	0,08	0,10
Z Max	0,13	0,14	0,21
Z Min	-0,17	-0,18	-0,27

Colorado 1 cm Geoid Experiment: https://geodesy.noaa.gov/GEOID/research/co-cm-experiment/

Conclusión

Presentamos nuestro resultado estadísticos de la comparación entre N Stokes y N de los datos de GNSS/nivelación GSV17 al Dr. Tao Jiang y su respuesta:

“I think your result is quite impressive, Colorado geoid models of most groups agree with the GSVS17 GNSS leveling data in the range of 2 cm -3.5 cm in terms of STD.”

Traducción:
Creo que su resultado es bastante impresionante, los modelos geoidales de Colorado de la mayoría de los grupos concuerdan con los datos GNSS/nivelación GSVS17 en el rango de 2 cm hasta 3.5 cm en términos de Desviación Estándar.

FUTURO

- Calcular otros modelos geoidales con diferentes grados;
- Usar otros MGGs;
- Introducir los datos de aerogravimetría;
- Aplicar la metodología para el cálculo del nuevo modelo geoidal de América Latina.

EPUSP
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

CENTRO DE ESTUDOS DE GEODESIA CENEGEO

Agradecimientos

- Servicio Geodésico Nacional de EE.UU.
- IAG JWG 2.2.1: Error assessment of the 1 cm geoid experiment (conjunto con *International Service for the Geoid/ISG*, *International Gravity Field Service*/IGFS)
  Chair: Martin Willberg (Germany)
- Dr. Tao Jiang de la Academia China de Topografía y Cartografía
- Dr. Marc Véronneau del Servicio Geodésico Canadiense

Prof. Dr. Ismael Foroughi y al Prof. Dr. Marcelo C. Santos de la Universidad de New Brunswick, Departamento de Geodesia e Ingeniería Geomática, Canadá, por poner a disposición la versión actualizada del paquete canadiense SHGeo y ayudarnos con nuestras dudas.

GRACIAS POR SU ATENCIÒN