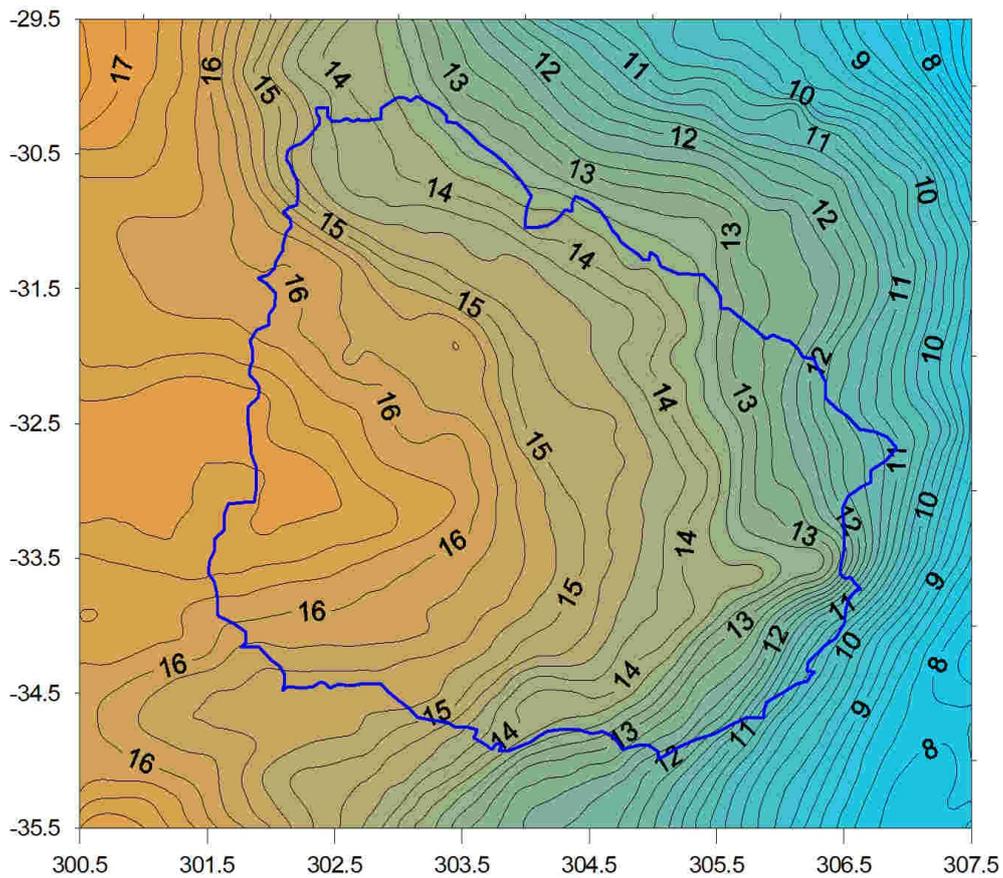




# UruGeoide110 (2023) Informe Técnico



# Cálculo del geoide UruGeoide110 (2023)

El objetivo de calcular un geoide centimétrico depende en gran manera de obtener las frecuencias menores del geoide, que solo pueden ser extraídas de un MDT de alta resolución y/o una gravimetría muy densa, como existe en algunos países europeos. Teniendo esto en consideración, para el cálculo del modelo UruGeoide110 (2023) se adoptó una estrategia diferente a la usada en anteriores modelos, en los cuales el procesamiento se realizó sobre toda el área pero tuvo que disminuirse la resolución de los MDT usados en función de los programas y medios computacionales disponibles.

Así, con el propósito de usar el nuevo modelo de terreno de Uruguay, medido con tecnología Lidar, (resolución espacial de 2,5m) y después de haber hecho un primer cálculo con resolución espacial superior, fue decidido que la resolución base sería de 90 m. Esto tuvo en consideración la extensión total del área del proyecto y la capacidad de procesamiento de los programas y computadores existentes, así como la posibilidad de aprovechar los datos originales del modelo SRTM90.

Asimismo para conseguir un procesamiento eficaz se decidió hacer el procesamiento por bloques de los datos de terreno y gravimetría en una primera instancia, para luego integrar los resultados para el cálculo final. El tamaño de cada bloque fue decidido en base a experiencias anteriores (incluido el cálculo del geoide preliminar UruGeoide2022a) y la estructura y conformación de cada bloque definido se detalla a continuación.

## 1- Preparación de los datos de terreno y gravedad

### a- Modelo digital de terreno

El área del proyecto ( $7^\circ \varphi \times 8^\circ \lambda$ ) se dividió en 4 bloques de procesamiento de  $4^\circ \times 4.5^\circ$ , los cuales se denominaron T1 a T4, obteniendo así una superposición de  $0.5^\circ$  con cada bloque adyacente.

Para la creación del MDT se utilizaron los modelos digitales de superficie de la IDE para Uruguay, SRTM90 (v2) para la parte continental de Argentina y Brasil y el modelo DTU18 para la batimetría de la parte oceánica. El modelo IDE tiene una resolución espacial de 2,5 m, SRTM90 de 90 m y DTU18 de 1800 m. La figura 1 muestra los 4 bloques con la superposición mencionada

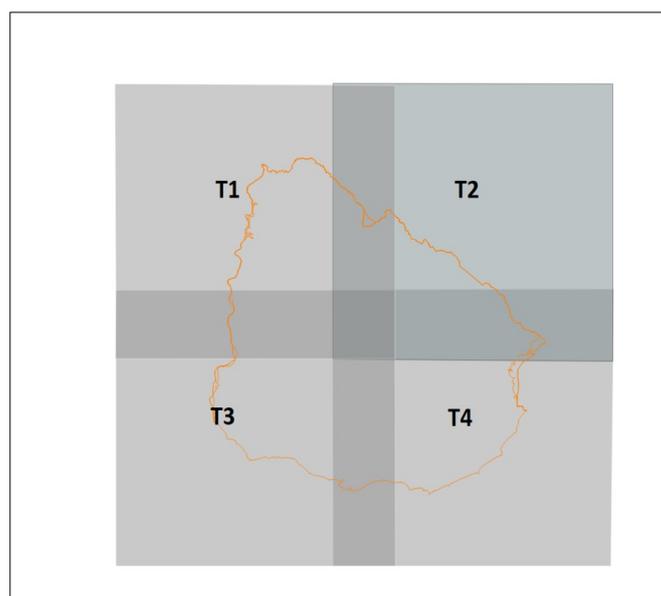


Figura 1 – Esquema de bloques para terreno

Para extraer los datos de terreno, se crearon dos polígonos de corte para los archivos imagen de los modelos digitales (TIF), de manera de obtener una superposición de  $0.1^\circ$  entre los datos digitales del modelo IDE y los datos de SRTM. El polígono exterior azul sirve de corte para el modelo IDE y el polígono interior verde para los datos SRTM. La figura 2 presenta los polígonos mencionados.

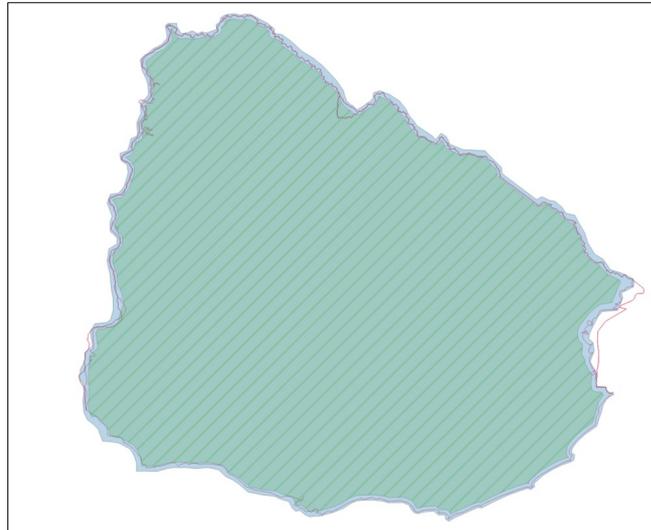


Figura 2 – Polígonos de corte para terreno

Ambos, el modelo original SRTM y el modelo IDE, fueron integrados en una resolución de 90 m o  $0.0083333^\circ$  y el sistema geodésico de referencia de cada uno fue transformado para Sirgas2000. Ejemplo de corte de modelo SRTM en el bloque 1 (T1), con superposición del área interior de Uruguay, cubierta por el modelo IDE (figura 3).

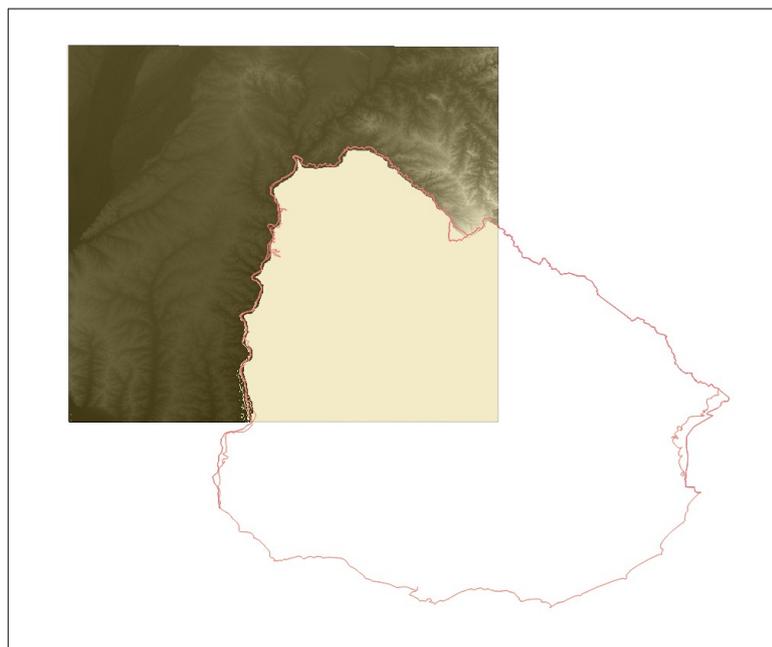


Figura 3 – Corte del modelo SRTM en el bloque 1

Ejemplo de corte del modelo IDE en el bloque 1 (T1) (figura 4).

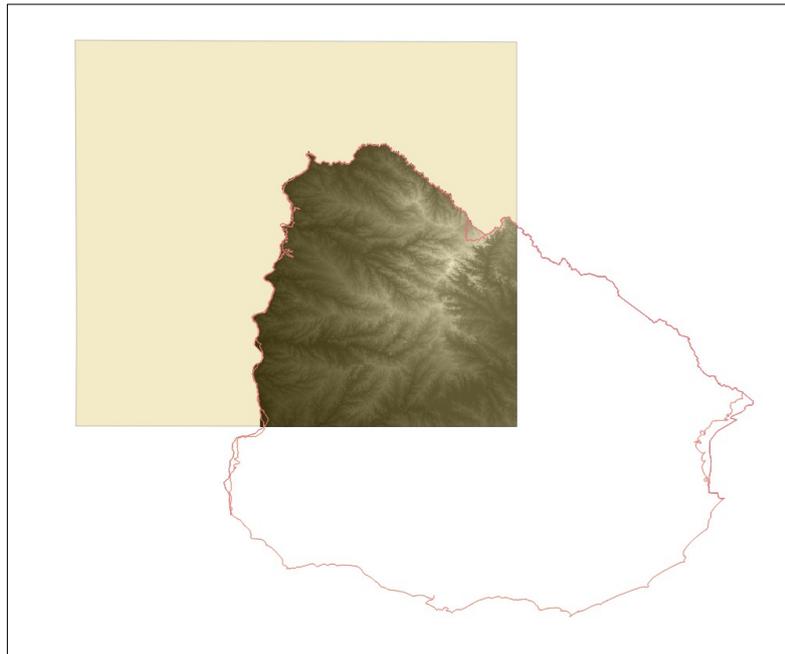


Figura 4- Corte del modelo IDE (90) en el bloque 1

Detalle de la integración de los dos modelos en la frontera noreste de Uruguay, departamento de Artigas. (Figura 5)

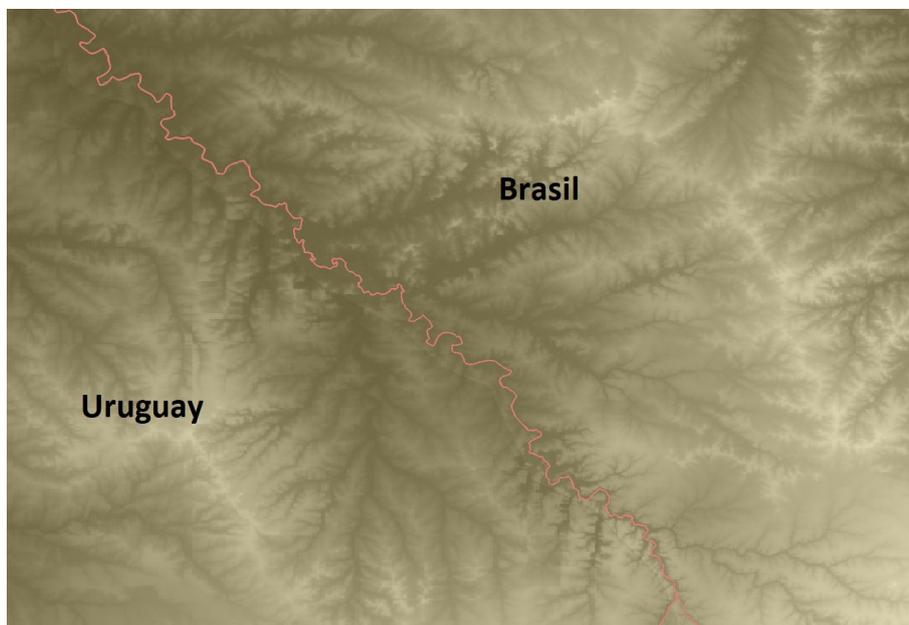


Figura 5 – Integración de los datos SRTM e IDE en la frontera norte

En el siguiente paso, los archivos de cada bloque 1 a 4 de terreno, fueron transformados en archivos XYZ de manera de obtener archivos texto con coordenadas y altitudes. Estos archivos fueron

depurados de puntos que no tenían valores de altitud (*nodata points*) e integrados con valores batimétricos obtenidos del modelo DTU18. El archivo de puntos final así formado fue interpolado con resolución espacial de 180 m o 6", creando un archivo MDT en formato de cuadrícula para cada bloque de procesamiento. Esta resolución de 180 m fue la que mejor se encontró, a los efectos de no generar puntos sin valores de altitud o *nodata*. Ejemplo de interpolación del bloque T1 (figura 6).

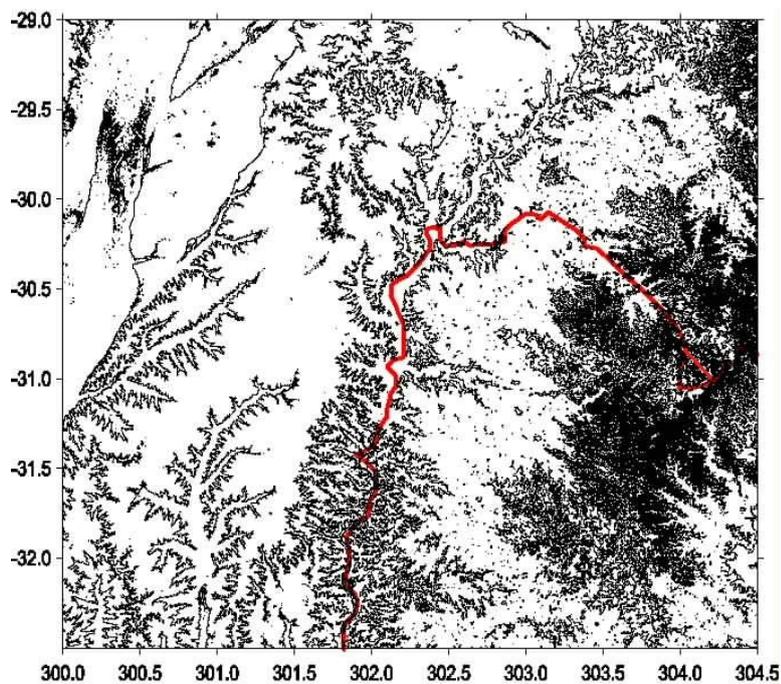


Figura 6 - MDT para el bloque !

Integración de los 4 bloques y MDT resultante con curvas de nivel (Figura 7).

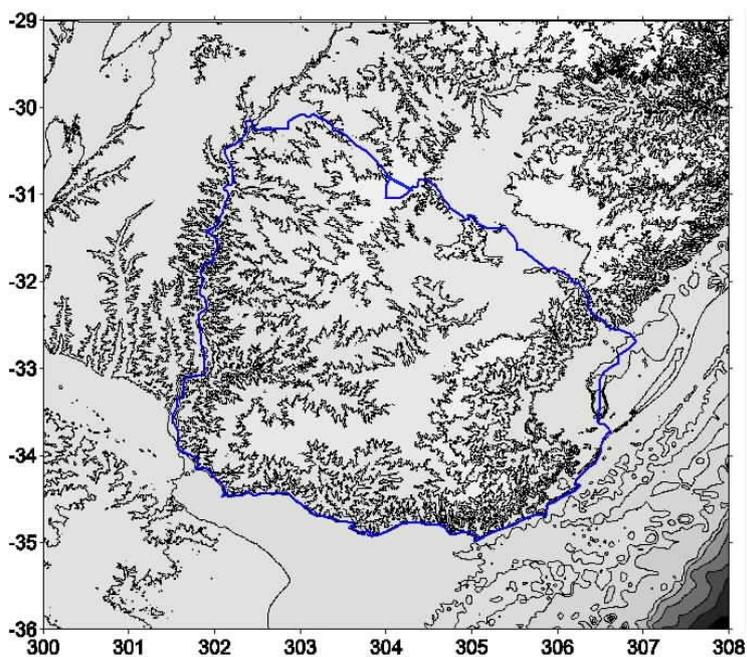


Figura 7 – MDT para toda el área del proyecto

### b- Datos complementarios de terreno

A partir del modelo creado con resolución de 180 m o 6" son creados dos modelos derivados, para el cálculo del efecto gravimétrico de terreno sobre las anomalías de gravedad y en las ondulaciones geoidales. El primero con resolución de 900 m o 30" y el segundo una cuadrícula de referencia (plano de referencia de altitudes a ser usado con el método de Residual Terrain Model - RTM<sup>1</sup>), con resolución de 3600 m o 120". Para obtener un suavizado óptimo del plano de referencia se realizaron dos operaciones diferentes en secuencia: primero hace una cuadrícula promedio de 4 x 4 células (3.6 km x 3.6 km) y luego se filtra la cuadrícula obtenida con un operador de promedio que se traslada a través de toda el área con una ventana de 28 x 28 células (aprox 25 km x 25 km).

Las figuras 8 y 9 muestran el resultado para el bloque 1: el modelo de 60" y de referencia, respectivamente.

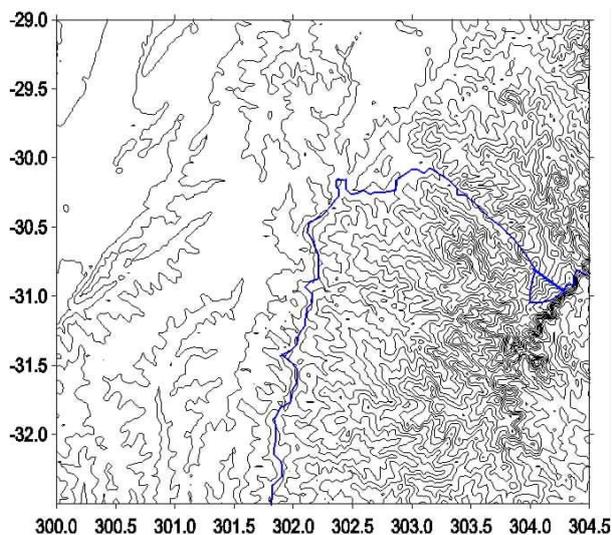


Figura 8 – Modelo de 60"

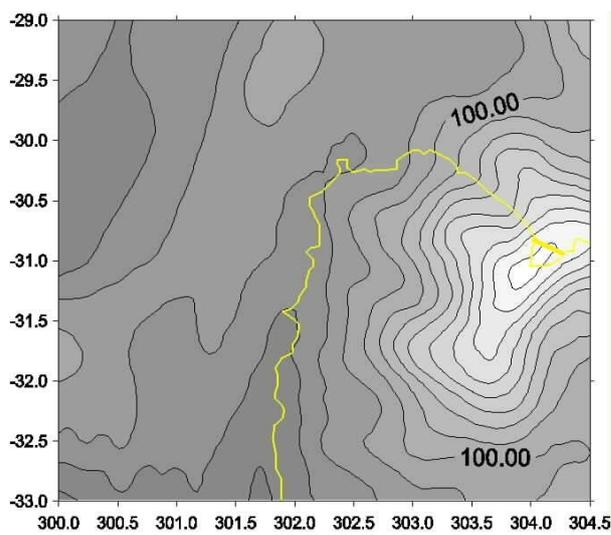


Figura 9 – Modelo de referencia 120"

El procedimiento mencionado se ejecutó en todos los bloques de procesamiento.

### c- Datos de gravimetría

Los datos gravimétricos de Uruguay fueron ajustados en 1995<sup>2</sup> y recientemente en diciembre de 2022, usando tres estaciones absolutas. Los datos de gravimetría de Argentina, Brasil y Uruguay fueron integrados en una base de datos y procesados para obtener anomalías aire libre y Bouguer. El sistema geodésico de referencia usado fue GRS80, con aplicación de la corrección atmosférica y transformación de la gravedad para sistema de marea "libre de mareas" (free tide). El total de datos gravimétrico terrestres fue de 10429 y 10089 datos de anomalías aire libre en áreas oceánicas, a partir del modelo DTU13. El modelo geopotencial usado para las anomalías de gravedad fue el EIGEN-6C-4 al grado y orden de 720 (resolución aproximada de 28 km)

A continuación se crearon 4 polígonos interiores a los polígonos de terreno, denominados de G1 a G4, con reducción de 0.5° de cada lado y una superposición entre ellos de 0.2°, de manera de poder seleccionar los datos gravimétricos que serían procesados por cada bloque de MDT. Con esto garantizamos que toda la gravimetría de cada bloque G, sería procesada con suficiente información de terreno en toda su extensión y habrá redundancia de datos gravimétricos.

Los 4 bloques de procesamiento quedaron configurados de la siguiente manera (figura 10):

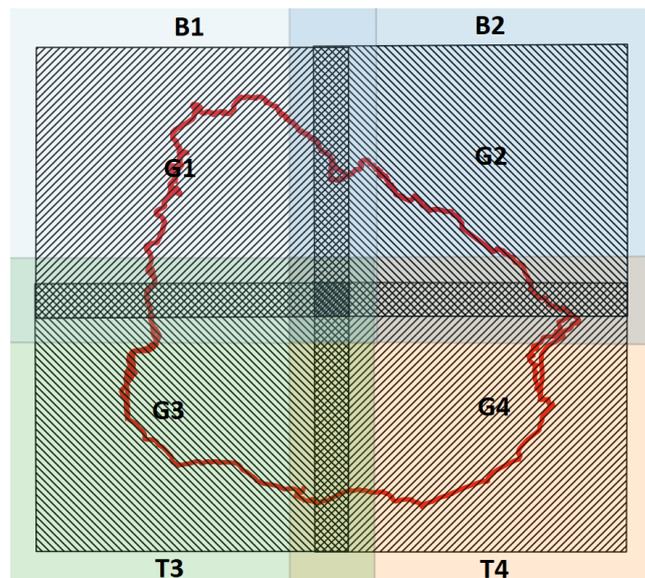


Figura 10 – Bloques de procesamiento

La cobertura espacial de cada uno de los bloques mencionados se detalla en la tabla 1 y la cantidad de datos seleccionada en cada polígono en la tabla 2.

Tabla 1- Extensión espacial de cada bloque de gravedad y de MDT

Polígono	Lat mín	Lat máx	Lon mín	Lon máx	$\Delta$ Lat	$\Delta$ Lon
ÁREA TOTAL	-36,0	-29,0	300,0	308,0	7,0	8,0
Gravedad - G1	-32,7	-29,5	300,5	304,2	3,2	3,7
MDT- T1	-33,0	29,0	300,0	304,5	4,0	4,5
Gravedad – G2	-32,7	-29,5	303,8	307,5	3,2	3,7
MDT- T2	-33,0	-29,0	303,5	308,0	4,0	4,5
Gravedad – G3	-35,5	-32,3	300,5	304,2	3,2	3,7
MDT- T3	-36,0	-32,0	300,0	304,5	4,0	4,5
Gravedad – G4	35,5	32,3	303,8	307,5	-3,2	3,7
MDT- T4	-36,0	-32,0	303,5	308,0	4,0	4,5

Tabla 2- Archivos y cantidad de datos en cada bloque de procesamiento

Bloque	MDT		Gravedad	
	Archivos	cantidad puntos	Archivos	cantidad puntos
1	T1_int_90.dat	9916956	G1_airelibre.dat G1_bouguer.dat	3491
	T1_ext_90.dat	18092780		
	T1_bat_180.dat	6375		
	<b>Total – T1_final.dat</b>	<b>28016111</b>		
2	T2_uy_90.dat	7878374	G2_airelibre.dat G2_bouguer.dat	2773
	T2_ext_90.dat	19597637		
	T2_bat_180.dat	266354		
	<b>Total – T2_final.dat</b>	<b>27742365</b>		
3	T3_uy_90.dat	10480886	G3_airelibre.dat G3_bouguer.dat	3175
	T3_ext_90.dat	12138946		
	T3_bat_90.dat	1625974		
	<b>Total – T3_final.dat</b>	<b>24245806</b>		
4	T4_uy_90.dat	12070137	G4_airelibre.dat G4_bouguer.dat	5143
	T4_ext_90.dat	2841234		
	T4_bat_90.dat	3414524		
	<b>Total – T4_final.dat</b>	<b>18325895</b>		
<b>Total</b>	<b>98330177</b>	<b>14582</b>		

El resultado de la selección por bloques del MDT y la gravimetría se presenta en la figura 12 para el Bloque 1. Nótese la cobertura exterior del MDT para el procesamiento de los datos de gravedad en rojo.

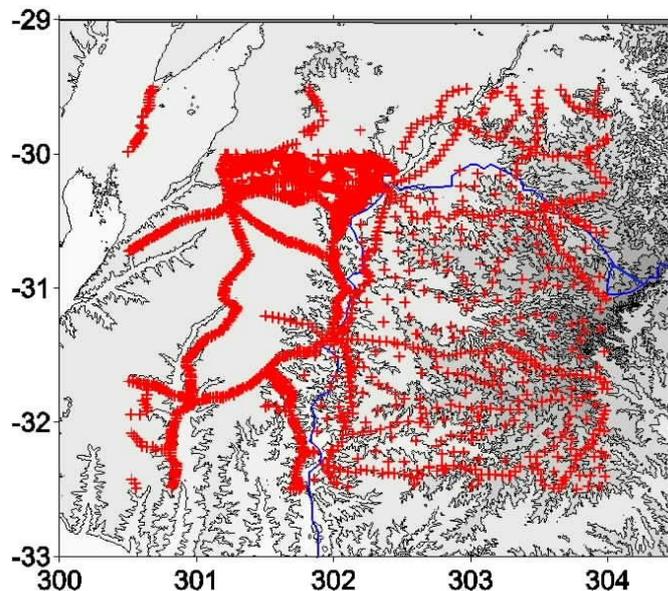


Figura 12 – Bloque 1 con MDT y gravimetría

## 2- Cálculo del geoid

### a- Procesamiento por bloques (ver Anexo 1)

El cálculo inicial se realiza por separado en cada bloque (ver Anexo 1), todos los programas usados pertenecen al paquete geofísico GRAVSOFT - Geodetic Gravity Field Modelling Programs<sup>1</sup>.

En primer lugar, las anomalías de gravedad son reducidas de la gravedad derivada del modelo geopotencial escogido, obteniendo así una primera anomalía reducida (programa **GEOIP**).

En segundo lugar, a las anomalías reducidas del paso anterior se retira el efecto gravimétrico inducido por el terreno, resultando en unas anomalías con reducción completa (modelo geopotencial y terreno) (programa **TC<sup>4</sup>**).

El próximo cálculo por bloque se refiere al efecto residual de terreno en las anomalías de altura por el método RTM. Los resultados de cada bloque son integrados en un archivo único para posterior creación de una cuadrícula de efectos de terreno residuales (programa **TC**).

El proceso a partir de este punto se realiza para toda el área del proyecto.

### b- Procesamiento para el área del proyecto

#### Trabajos previos con todos los bloques procesados (ver Anexo 2)

- Las anomalías de Bouguer son integradas en un único archivo con el propósito de transformar el cuasigeoide calculado en modelo geoidal en el final de proceso de cálculo.
- Las anomalías con reducción completa son integradas en un archivo único, para creación de una cuadrícula de anomalías reducidas.
- Las cuadrículas calculadas de 30" son integradas en un archivo que se interpola para toda el área, con resolución de 60".
- Los efectos de terreno RTM calculados son integrados en un archivo e interpolados para toda el área del proyecto.

### Proceso (ver Anexo 3)

El archivo anomalías con reducción completa obtenido anteriormente es colocadas en formato de cuadrícula (programa **GEOGRID**) y usando la fórmula de Stokes con Transformada Rápida de Fourier (FFT) se calculan las anomalías de altura (programa **SPFOUR**).

Al resultado se le agregan los efectos de terreno RTM ya calculados (programa **GCOMB**) y la contribución del modelo geopotencial en ondulaciones geoidales (programa **GEOIP**).

**Con estas operaciones obtenemos el cuasigeoide.**

El siguiente paso es transformar el cuasigeoide en geoides, usando las anomalías de Bouguer y el modelo de terreno de 60”.

Primero transformamos el archivo de puntos de anomalías de Bouguer en formato cuadrícula (programa **GEOGRID**) y luego se calcula la diferencia entre cuasigeoide y geoides usando el modelo de terreno de 60”, usando la fórmula (programa **GCOMB**).

$$\zeta - N = H_p - H_p^N \approx -\frac{g_p - \gamma_p + 0,1967(mGal/m)H}{\gamma_0} = -\frac{\Delta g_{Boug}}{\gamma_0} H$$

Las diferencias encontradas son sumadas al cuasigeoide, obteniendo el geoides gravimétrico final (programa **GCOMB**).

El procesamiento detallado del cálculo se encuentran en los Anexo 1 a 3. La figura 13 muestra el resultado final para el geoides gravimétrico, denominado UruGeoide110 (2023).

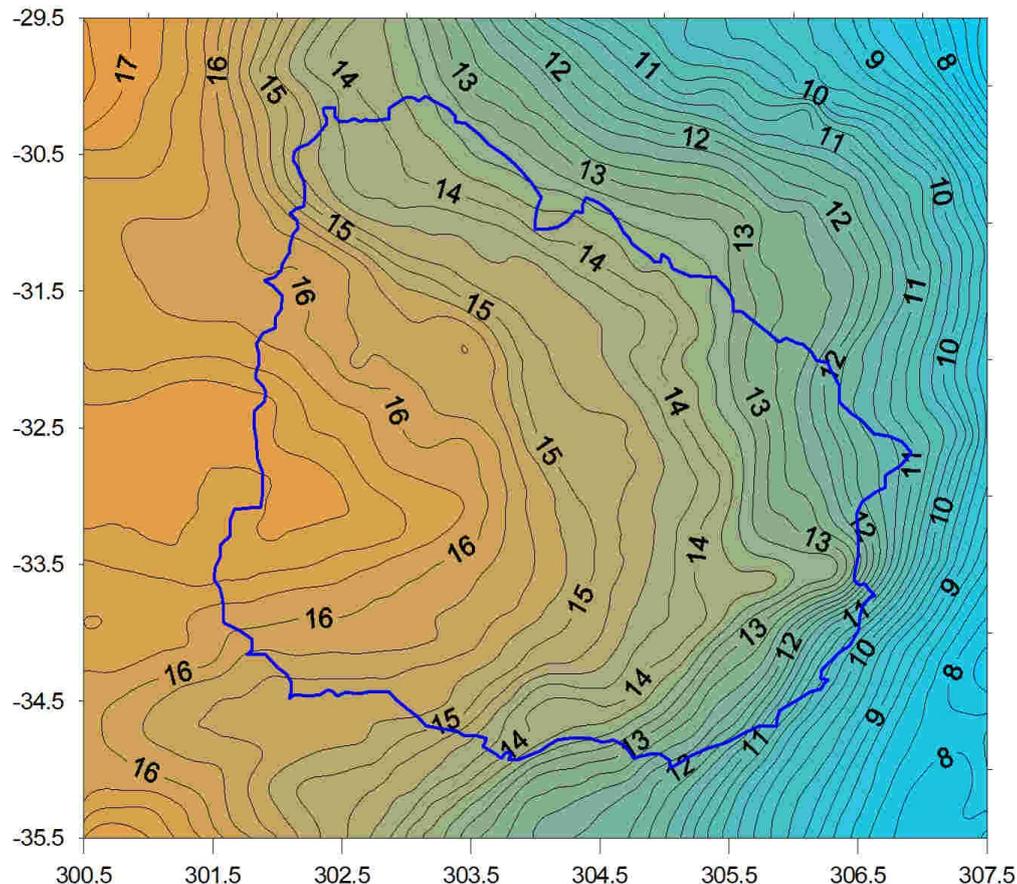


Figura 13 – UruGeoide110 (2023)

### Otras correcciones consideradas

Además de la transformación de la gravedad observada para sistema de mareas *free-tide*, la corrección del término de orden cero fue calculada. Esta corrección se aplica por la diferencia entre los sistemas geodésicos y geopotencial del modelo global usado y el sistema local de datos.

En el primer caso la diferencia en gravedad entre el sistema de mareas medio y el sistema libre de mareas se situó entre un mínimo de -10 y un máximo  $+2 \times 10^{-8} \text{ m/s}^{-2}$  (nivel de precisión del gravímetro absoluto JILAg-3).

El cálculo del término de orden cero para las ondulaciones geoidales fue realizado de acuerdo con la fórmula en Sánchez *et al*<sup>5</sup>:

$$N_0 = \frac{(GM_{EIGEN} - GM_{GRS80})}{(r_{P0} * \gamma_{Q0})} - \frac{(W_{0EIGEN} - U_{0GRS80})}{(\gamma_{Q0})}$$

Substituyendo con los valores del modelo geopotencial EIGEN-6-C4 y el sistema geodésico de referencia GRS80:

$$N_0 = \frac{(5,85 \times 10^7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-2})}{(r_{P0} * \gamma_{Q0})} - \frac{(9,14 \times 10^7 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2})}{(\gamma_{Q0})} \approx -0.005 \text{ a } -0.004 \text{ m}$$

Ambos resultados, de sistema de mareas y término de orden cero, se consideraron no significativos en el presente estado del cálculo geoidal.

### 3- Modelo de transformación para Datum Cabildo (ver Anexo 4)

El modelo geoidal es del tipo gravimétrico por sus datos de entrada y forma de cálculo a través de la fórmula de Stokes y para su uso práctico, debe adecuarse al Datum oficial uruguayo, Cabildo. Esa adaptación supone una distorsión causada por los errores inherentes al establecimiento y medición de la red vertical del país. Es en ese sentido que denominamos al modelo geoidal adaptado a la red vertical de *modelo de transformación* y no de geoides.

Para efectuar el cálculo del modelo de transformación, precisamos de estaciones medidas con GNSS que tengan también altitud en el sistema vertical local, teniendo así una ondulación geoidal observada. Del total de estaciones disponibles, se escogen algunas, con la mejor distribución espacial posible y se dejan las restantes como control para encontrar cual poderla ser el error que tendríamos en una transformación cualquiera.

Para este modelo disponemos de 96 estaciones, de las cuales se separaron 45 para la adecuación del geoides y 51 para control.

El modelo final que se detalla en el Anexo 4, presentó una diferencia de nivel con el datum Cabildo de +78 cm y un desvío padrón de 5 cm. En relación a las estaciones de control la media de diferencias es 1 cm con un desvío padrón de 7 cm. La figura 14 muestra las estaciones de transformación en rojo y las de control en naranja, finalmente la figura 15 muestra el modelo de transformación, denominado de IGM110\_Cabildo.

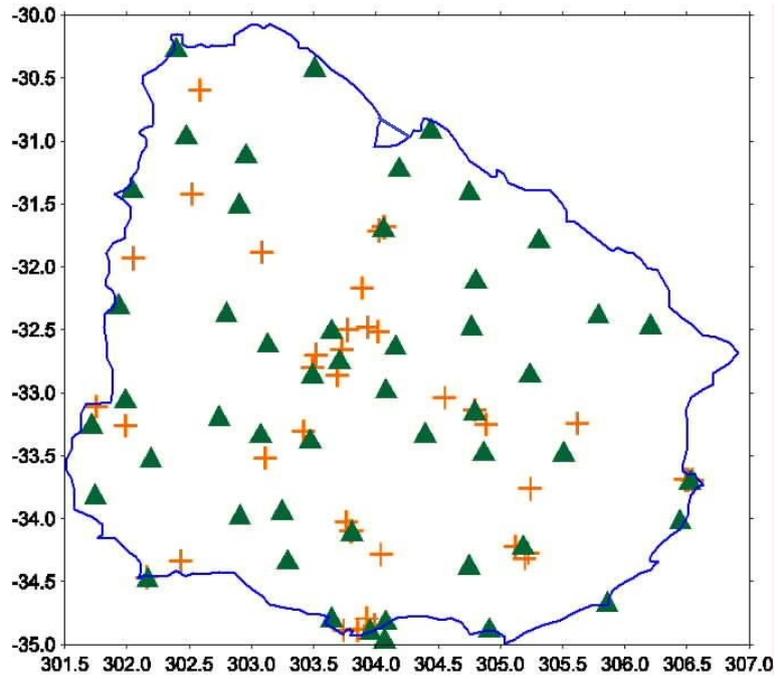


Figura 14 – Estaciones de transformación y control

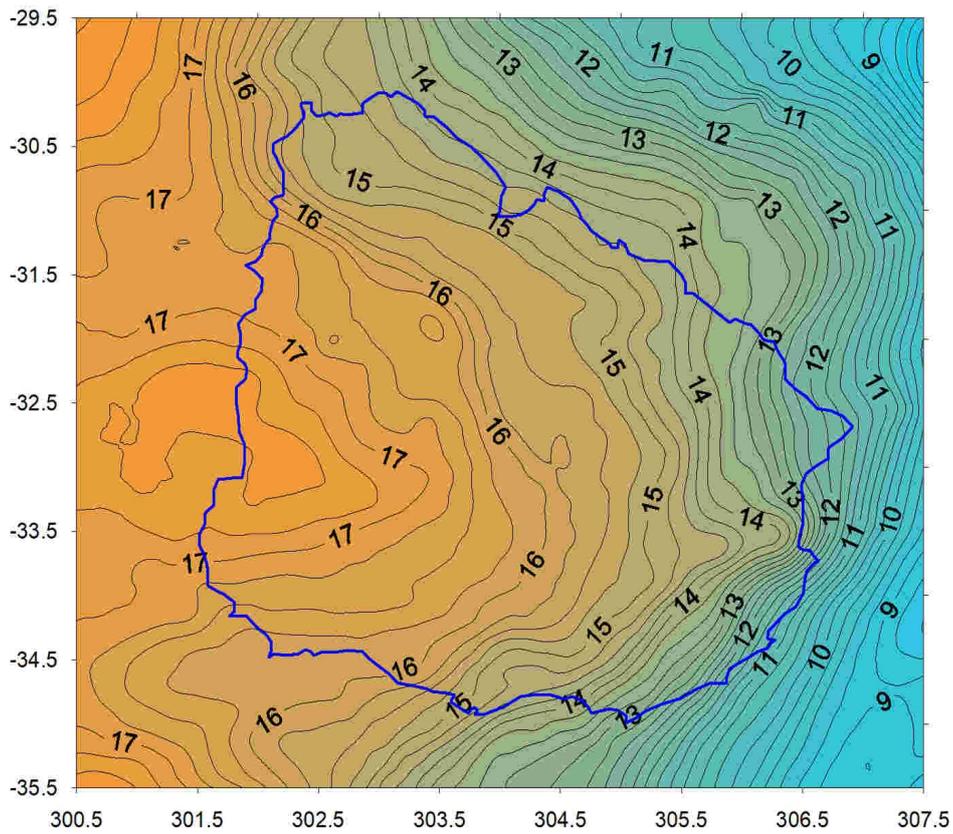


Figura 15 – Modelo de transformación IGM110\_Cabildo

El modelo de transformación calculado aparenta llevar consigo errores de determinación y medición de estaciones GNSS sobre puntos de la red vertical. Para mejorar la precisión del modelo es necesario la medición de puntos de la red vertical de primer o segundo orden que está siendo ajustada en términos de números de geopotencial.

Se agradece especialmente al Instituto Geográfico Nacional de Argentina, al Instituto Brasileiro de Geografía e Historia y la Universidad de San Pablo (CENEGEO), Brasil por su generosa contribución de datos que permitieron realizar el presente proyecto. Asimismo se agradece a la Agencia Espacial de Dinamarca por la cesión de los programas y modelos usados, así como al Prof René Forsberg por su orientación y al prof Ludger Timmen de la Universidad Leibnitz de Hannover (IfE), Alemania por su continuado apoyo en al área de gravimetría.

#### Referencias

- 1- Subiza Piña, W.H, Actualización del modelo geoidal de Uruguay, SIRGAS Symposium, Santiago de Chile, november 2022
- 2- Forsberg, Rene, Terrain Effects in geoid computation, 2<sup>nd</sup> International School on "The Determination and Use of the Geoid", Rio de Janeiro, Brasil, 1997.
- 3 - Subiza P., W. H., Torge, W., Timmen, L. The National Gravimetric Network of Uruguay. Geodesy on the Move. Gravity, Geoid Geodynamics and Antarctic, International Association of Geodesy Symposia, Volume 119. Springer Verlag Editores, Alemania, 1998.
- 4- Forsberg, R. y Tscherning C.C., GRAVSOFTE - Geodetic Gravity Field Modelling Programs 3r,d edition, August 2008/August 2015.
- 5-Laura Sanchez *et al* - Strategy for the realisation of the International Height Reference System (IHR). Journal of Geodesy (2021) 95:33 <https://doi.org/10.1007/s00190-021-01481-0>

URUGEOIDE110 (2023) 90m

Procesamiento por bloques

Etapa, archivos de entrada y resultados

**1- Las anomalías gravimétricas son reducidas del modelo geopotencial al grado de 720.**

$$\Delta g^{rd1} = \Delta g^{al} - \Delta g^{egm}$$

			mean	std.dev.	min	max
GEOIP	Bloque 1	original data (G1 airelibre.dat) – 3491	7,99	9,40	-74,15	52,90
		grid interpolation results (EIGEN al 720 25.gri)	8,03	8,21	-13,26	47,92
		predicted values output (B1_al.rd1)	-0,04	4,38	-83,52	18,77
	Bloque 2	original data (G2 airelibre.dat) – 2773	23,13	20,16	-44,36	96,81
		grid interpolation results (EIGEN al 720 25.gri)	18,76	14,22	-25,14	46,12
		predicted values output (B2_al.rd1)	4,37	10,42	-50,29	108,46
	Bloque 3	original data (G3 airelibre.dat) – 3175	12,74	11,14	-17,98	118,28
		grid interpolation results (EIGEN al 720 25.gri)	12,67	8,89	-11,91	40,35
		predicted values output (B3_al.rd1)	0,07	5,48	-19,03	93,20
	Bloque 4	original data (G4 airelibre.dat) – 5143	10,82	15,77	-17,33	100,40
		grid interpolation results (EIGEN al 720 25.gri)	10,14	15,26	-14,41	83,08
		predicted values output (B4_al.rd1)	0,68	5,29	-62,49	35,00

**2- Calcular efectos de terreno RTM y sustraer de las anomalías**

$$\Delta g^{rd} = (\Delta g^{al} - \Delta g^{egm}) - \Delta g^H$$

			mean	std.dev.	min	max
TC	Bloque 1	difference given - dtm inferred station heights	-6	11	-100	10
		computed effects, no of points: 3491	-0,40	2,78	-11,83	21,69
		original values in statfile (B1_al.rd1)	-0,04	4,38	-83,52	18,77
		difference output on file (B1_al.rd)	0,36	4,20	-83,18	19,20
	Bloque 2	difference given - dtm inferred station heights	4	18	-195	411
		computed effects, no of points: 2773	1,82	8,42	-30,54	34,81
		original values in statfile (B2_al.rd1)	4,37	10,42	-50,29	108,46
		difference output on file (B2_al.rd)	2,55	9,65	-32,49	115,14
	Bloque 3	difference given - dtm inferred station heights	3	5	-25	43
		computed effects, no of points: 3175	0,07	1,79	-4,39	11,91
		original values in statfile (B3_al.rd1)	0,07	5,48	-19,03	93,20
		difference output on file (B3_al.rd)	0,00	5,36	-19,36	91,29
	Bloque 4	difference given - dtm inferred station heights	29	39	-53	634
		computed effects, no of points: 5143	2,49	5,24	-10,44	39,75
		original values in statfile (B3_al.rd1)	0,68	5,29	-62,49	35,00
		difference output on file (B3_al.rd)	-1,81	6,89	-64,11	33,36

**3- Cálculo del efecto de la topografía en las anomalías de altura**

$$\zeta^H$$

			mean	std.dev.	min	max
TC	Bloque 1	difference given - dtm inferred station heights:	-87	58	-399	1
		statistics of computed effects, no of points: 37800	-0,01	0,04	-0,07	0,19
	Bloque 2	difference given - dtm inferred station heights:	-166	118	-760	40
		statistics of computed effects, no of points: 37800	0,01	0,12	-0,30	0,43
	Bloque 3	difference given - dtm inferred station heights:	-45	47	-267	30
		statistics of computed effects, no of points: 65311	0,01	0,03	-0,06	0,14
	Bloque 4	difference given - dtm inferred station heights:	21	309	-460	2940
		statistics of computed effects, no of points: 65311	-0,01	0,13	-0,99	0,33

Procesamiento para toda el área del proyecto

PROGRAMA	<b>Preparación de los datos de gravedad y terreno</b>	
	Composición del archivo de anomalías Bouguer	Cant.
	G1 Bouguer.dat	3491
	G2 Bouguer.dat	2773
	G3 Bouguer.dat	3175
	G4 Bouguer.dat	5143
textpad	<b>B1234_al.rd</b>	<b>14582</b>

	Composición del archivo de terreno de 60"	Cant.
	T1_30 481 x 541	260221
	T2_30 481 x 541	260221
	T3_30 481 x 541	260221
	T4_30 481 x 541	260221
textpad	<b>T1234_30</b>	<b>1040884</b>
uru.job	<b>T1234_60.gri</b> <b>421 x 481</b>	<b>202501</b>

	Composición del archivo de anomalías reducidas	Cant.
	<b>B1_al.rd</b>	3491
	<b>B2_al.rd</b>	2773
	<b>B3_al.rd</b>	3175
	<b>B4_al.rd</b>	5143
textpad	<b>B1234_al.rd</b>	<b>14582</b>

	Composición del archivo de anomalías reducidas	Cant.
surfer	<b>B1_z_rtm.dat</b>	<b>65311</b>
surfer	<b>B2_z_rtm.dat</b>	<b>65311</b>
surfer	<b>B3_z_rtm.dat</b>	<b>65311</b>
surfer	<b>B4_z_rtm.dat</b>	<b>65311</b>
textpad	<b>B1234_z_rtm.dat</b>	<b>261224</b>
cuad_z_rtm.job	<b>B1234_z_rtm.gri</b> <b>421 x 481</b>	<b>202501</b>

Anexo 3

Procesamiento para toda el área del proyecto

**1- Cálculo del cuasi-geoide (anomalías de altura)**

a- colocar los datos de anomalías reducidas en formato de cuadrícula

PROGRAMA	$\Delta g^{rd}$	mean	std.dev.	min	max
GEOGRID (job 2a)	Predicted: 151981 points	-0,16	6,09	-40,92	85,10
	prediction error values			0,23	6,76

b- Stokes a través de FFT esférica (obtener anomalías de altura reducidas)

$$\Delta g^{rd \text{ cuad}} \rightarrow \zeta^{RED}$$

		min	max	R.M.S	max abs
SPFOUR (job 2a)	Minimal and maximal values	-0,40	0,65		
	value of innerzone correction			0,01	0,08

c – Re-introducir las ondulaciones del modelo geopotencial ( $\zeta^{MG}$ )

Sumamos las anomalías de altura reducidas a las anomalías de altura de terreno RTM

$$\zeta^{RED} + \zeta^h$$

		mean	std.dev.	min	max
GCOMB (job 2b)	B1234 z rd1.gri - anomalías de altura reducidas	0,00	0,08	-0,40	0,65
	B1234 z rtm.gri - anomalías de altura de terreno RTM	0,00	0,01	-0,06	0,07
	B1234 z rd_rtm1.gri - anomalías de altura reducidas RTM	0,00	0,07	-0,34	0,62

Re-introducir el modelo geopotencial y obtener el cuasigeoide

$$\zeta^{MOD} = \zeta^{RED} + \zeta^H + \zeta^{MG}$$

		mean	std.dev.	min	max
GEOIP (job 2b)	original data B1234 z rd_rtm1.gri	0,00	0,07	-0,34	0,62
	grid interpolation results eigen_n_720_25.gri	13,72	2,51	6,84	17,39
	predicted values output B1234 z1.gri	13,72	2,51	6,93	17,39

TRANSFORMACION CUASI-GEOIDE en GEOIDE!!

**2) Transformar el cuasi-geoide en geoide**

a) colocar las anomalías de Bouguer en forma de cuadrícula

		mean	std.dev.	min	max
GEOGRID (job 2c)	Prediction 151981 points – G1234_anom_Bou.gri	4,55	14,02	-76,37	103,12
	prediction error values			0,23	12,05

b) calcular la diferencia entre alturas geoidales y anomalías de altura

$$\Delta^N z$$

		mean	std.dev.	min	max
GCOMB (job 2c)	G1234_anom_Bou.gri	4,55	14,02	-76,37	103,12
	T1234_60.gri	83,98	89,27	-717,96	585,42
	difHz.gri	0,00	0,00	-0,05	0,01

c) sumar las diferencias entre alturas geoidales y anomalías de altura

$$N^{MOD} = \zeta^{MOD} + \Delta^N z$$

		mean	std.dev.	min	max
GCOMB (job 2c)	B1234 z2.gri	13,72	2,51	6,93	17,39
	difHz.gri	0,00	0,00	-0,05	0,01
	B1234 n1.gri GEOIDE GRAVIMÉTRICO	13,72	2,51	6,93	17,39

**MODELO DE TRANSFORMACIÓN DE ALTITUDES PARA DATUM CABILDO**

1) Encontrar las diferencias entre el modelo geoidal y el archivo de control

PROGRAMA		mean	std.dev.	min	max
GEOIP (job urugeo3)	original data (uru_gps_2022.n ) 51 observaciones $N^{GPS}$	15,39	1,51	11,34	17,69
	grid interpolation results – B1234_n1.gri $N^{interp}$	14,62	1,52	10,57	16,98
	predicted values output – dif_n_gps1 $\Delta^{NZ}$	0,78	0,13	0,30	1,03

2) Colocar las diferencias encontradas en cuadrículas

		mean	std.dev.	min	max
GEOGRID (job urugeo3)	prediction pts 151981 points – dif_n_gps1.gri $\Delta^{NZ} \rightarrow \Delta^{NZ\ cuad}$	0,78	0,05	0,66	0,88
	prediction error values			0,06	0,13

3) Sumar las diferencias al geode y obtener el modelo de transformación IGM110\_Cabildo

	$N^{MOD} + \Delta^{NZ\ cuad} = \mathbf{uru^{modtransf}}$	mean	std.dev.	min	max
GCOMB (job urugeo3)	Geoide gravimétrico – B1234_n1.gri $N^{MOD}$	13,72	2,51	6,93	17,39
	<b>Diferencias – dif_n_gps1.gri <math>\Delta^{NZ\ cuad}</math></b>	<b>0,78</b>	<b>0,05</b>	<b>0,66</b>	<b>0,88</b>
	Modelo de transformación – B1234_n_corr.gri $uru^{modtransf}$	14,49	2,48	7,78	18,11

4) Diferencias entre el modelo de transformación y las estaciones de comparación

		mean	std.dev.	min	max
GEOIP (job compar)	original data - control.n , 45 estaciones comparación	15,48	1,18	12,38	17,53
	grid interpolation results	15,47	1,16	12,42	17,51
	<b>predicted values output - dif B1234_n_corr_control.dat</b>	<b>0,01</b>	<b>0,07</b>	<b>-0,18</b>	<b>0,22</b>