



IGN

Instituto Geográfico Nacional
REPÚBLICA ARGENTINA



SECRETARÍA DE
CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y PRODUCCIÓN



Ministerio de
Defensa
Presidencia de la Nación



Nuevo Sistema Vertical de la República Argentina

Instituto Geográfico Nacional

Diego Piñón, Hernán Guagni y Sergio Cimbaro

Breve reseña histórica

- ▶ A principios del siglo XX el Instituto Geográfico Militar (IGM) inicia las labores de construcción y medición de la red de nivelación.
- ▶ En 1923 se vincula la red de nivelación al mareógrafo de Mar del Plata, materializando el origen vertical de la red (W0).
- ▶ En 1969 el IGM envía a la U.S. Army Topographic Command (USATC) toda la información altimétrica de Argentina para ajustar la red de nivelación.
- ▶ En 1971 se oficializan las cotas calculadas por el USATC.
- ▶ En 2010 el IGN inicia el proceso de reajuste de la Red de Nivelación.

Red de Nivelación de Alta Precisión

- ▶ 393 líneas de nivelación
 - ▶ ~59 000 km de nivelación
 - ▶ ~18 000 pilares
 - ▶ Valores gravimétricos (~83%)

- ▶ 230 puntos nodales

- ▶ 414 tramos de nivelación (considerando 243 nodos)

- ▶ 156 polígonos



Ajuste del año 1969

- ▶ 179 líneas de Alta Precisión
 - ▶ ~27 300 km de nivelación

- ▶ Se entregaron 2 ajustes diferentes
 - ▶ Ortométrico
 - ▶ Geométrico → oficializado por el IGM

- ▶ A partir de ese momento se ajustaron las nuevas líneas construidas y medidas a la malla original del año 1969
 - ▶ ~ 31 700 km de nivelación



- ▶ No existe en la Argentina un ajuste completo de la red de nivelación
- ▶ Las alturas oficiales actuales provienen de un ajuste de desniveles geométricos
- ▶ Contribución con SIRGAS en la generación de un sistema altimétrico regional unificado basado en números geopotenciales

Números geopotenciales

- ▶ Un número geopotencial (C_P) es la diferencia en unidades de potencial (m^2s^{-2}) entre la superficie geopotencial W_0 (geoide) y la superficie geopotencial de interés (W_P):

$$C_P = W_0 - W_P$$

- ▶ Para determinar el valor del número de geopotencial se aplica la siguiente fórmula:

$$C_P = \int_0^P g \, dh \quad \rightarrow \quad C_P = \sum_{i=0}^P \frac{g_i + g_{i+1}}{2} \delta h_i$$

Altura ortométrica de Helmert (1890)

- ▶ La altura ortométrica (H) es la distancia medida a lo largo de la línea (curva) de la plomada desde el geoide (W_0) hasta el punto de interés, y está dado por:

$$H = \frac{C}{\bar{g}} \quad \rightarrow \quad \bar{g} = \frac{1}{H} \int_0^H g(h) dh \quad \rightarrow \quad \bar{g} = g + 0.0424 H$$

$$H = \frac{C}{g + 0.0424 H}$$

Altura ortométrica de Mader (1954)

- ▶ Si se considera el efecto de la topografía del terreno sobre la placa de Bouguer, también denominado corrección topográfica (C_T) y expresado (Moritz, 1968):

$$C_T = \frac{G\rho}{2} \iint_{\sigma} \frac{(H - H_P)^2}{l^3} d\sigma$$

- ▶ Mader propone una altura ortométrica refinada que está dada por:

$$H = \frac{C}{g + 0.0424 H + \frac{C_T}{2}}$$

Corrección topográfica – Método de Bott (1959)

Modelo Digital de Elevaciones (MDE) → SRTM_v4.1 (Jarvis et al., 2008)

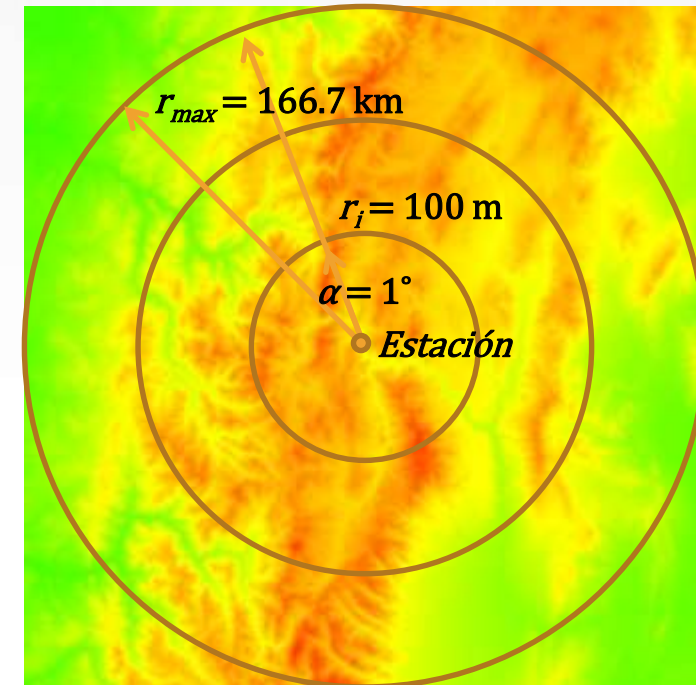
$$C_T = \sum_{i=0}^n \rho \frac{2\pi}{n} G \left(r_{i+1} - r_i + \sqrt{r_i^2 + \Delta h_i^2} - \sqrt{r_{i+1}^2 + \Delta h_i^2} \right)$$

Densidad → $\rho = 2.67 \text{ [g cm}^{-3}\text{]}$

Paso angular → $\alpha = \frac{2\pi}{n = 360^\circ} = 1^\circ$

Paso linear → $r_i = 100 \text{ [m]}$

Radio máximo → $r_{max} = 167 \text{ [km]}$



Interpolación de las gravedades faltantes

- ▶ PREDGRAV (Drewes, 1978) → método de colocación por mínimos cuadrados
- ▶ Propagación de error de los números geopotenciales → $m_C^2 = g^2 m_{\Delta h}^2 + \Delta h^2 m_g^2$,

donde: $m_{\Delta h}[\text{mm}] = 3 \times \sqrt{L[\text{km}]}$ y $L[\text{km}] = 3.4 \rightarrow m_{\Delta h}[\text{mm}] = 5.5$

- ▶ De acuerdo a Sánchez (2002), el error de los números geopotenciales producto de la precisión de los valores de gravedad deberá ser 100 veces menor que el ocasionado por los desniveles medidos → $g^2 m_{\Delta h}^2 > \Delta h^2 m_g^2 \times 100$

H [m]	δg [mgal]
10	553.2
50	110.6
100	55.3
500	11.1
1000	5.5
2000	2.8
3000	1.8
4000	1.4

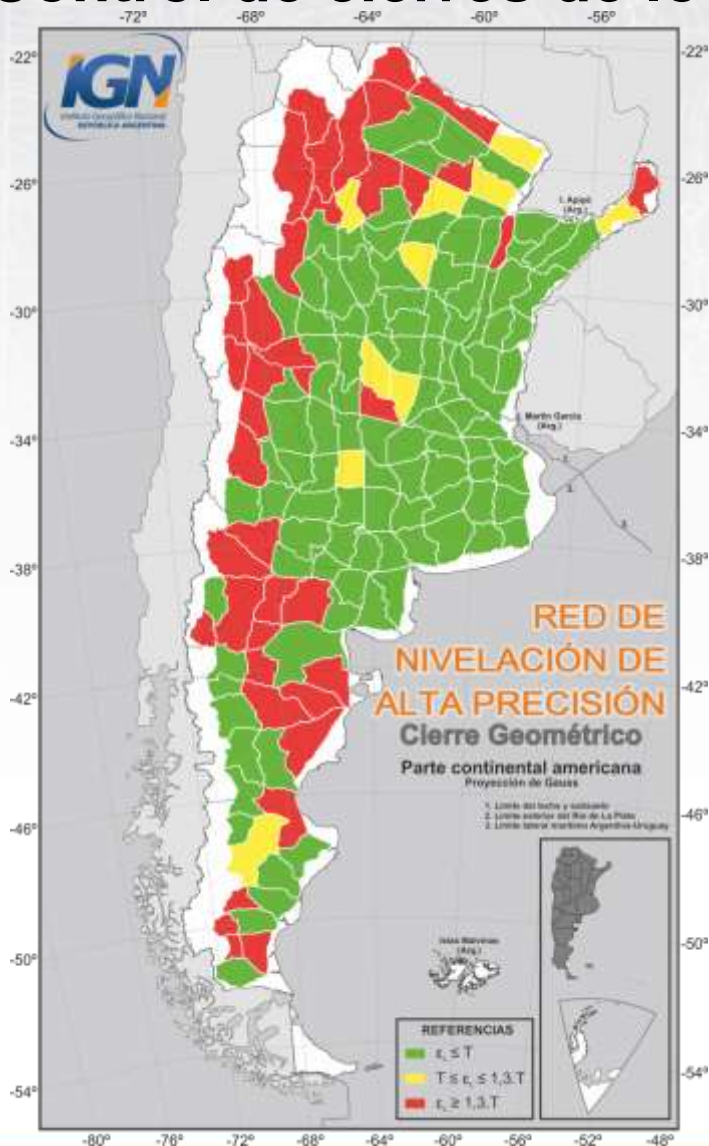
Digitalización de planillas de observación



Planillas de observación en formato digital

Línea N(393) - DESDE PF10N(391) - HASTA PASO JAMA Año de medición: 2012 - Operador: Ricardo Torres																			
NÚMERO DE PF	DESNIVELES					DISTANCIAS					COORDENADAS						ESTADO DEL PUNTO FIJO	GRAV. [mgal]	
	IDA [m]	VUELTA [m]	IDA-VUE [m]	PTO. DE REF.	PROM. [m]	IDA [m]	VTA [m]	IDA-VUE [m]	PROM [m]	SUMA [m]	Latitud			Longitud					PREC.
											Grad	Min	Seg	Grad	Min	Seg			
PF10N(391)	0.00000	0.00000	0.00000	P	0.00000	0	0	0	0	0	-23	36	11.3	-66	46	18.5	GPS	S/N	977706.55
1	31.11117	-31.11571	-0.00454	P	31.11344	3033	3038	-5	3035	3035	-23	36	51.9	-66	47	52.6	GPS	S/N	977702.26
2	60.03972	-60.04410	-0.00438	P	60.04191	5694	5695	0	5694	8729	-23	37	36.9	-66	50	50.8	GPS	S/N	977691.19
3	64.49236	-64.49532	-0.00296	P	64.49384	6476	6477	-2	6477	15206	-23	35	31.2	-66	53	33.7	GPS	S/N	977667.37
4	36.51286	-36.51460	-0.00174	P	36.51373	6104	6102	2	6103	21309	-23	32	48.9	-66	55	26.0	GPS	S/N	977650.71
5	3.78706	-3.78406	0.00300	P	3.78556	6082	6083	-1	6083	27392	-23	29	42.2	-66	56	28.2	GPS	S/N	977648.88
6	3.27787	-3.27985	-0.00198	P	3.27886	6033	6032	1	6032	33424	-23	26	33.8	-66	57	8.9	GPS	S/N	977643.18
7	6.73807	-6.73581	0.00226	P	6.73694	5789	5787	1	5788	39212	-23	23	29.1	-66	57	20.3	GPS	S/N	977641.81
8	-9.81077	9.80654	-0.00423	P	-9.80866	6152	6149	3	6150	45362	-23	20	28.9	-66	58	48.1	GPS	S/N	977636.78
9	-26.31098	26.30990	-0.00108	P	-26.31044	6455	6458	-3	6457	51819	-23	17	31.7	-67	0	34.2	GPS	S/N	977637.89
10	-3.30268	3.30351	0.00083	P	-3.30310	5996	5991	5	5994	57813	-23	14	29.8	-67	0	47.1	GPS	S/N	977634.67
11	185.91755	-185.91527	0.00228	P	185.91641	6059	6060	-1	6060	63873	-23	13	34.6	-67	3	45.6	GPS	S/N	977602.50

Control de cierres de los polígonos



$$T[\text{mm}] = 3 \times \sqrt{L[\text{km}]}$$

- $\epsilon_c \leq T$
- $T < \epsilon_c \leq 1,3 T$
- $\epsilon_c \geq 1,3 T$



Ejemplo de cierre de polígono 108, provincia de San Juan

Línea	Desde	Hasta	ΔH Geom [m]	ΔH Ortom [m]	Longitud [km]
349	Nodal 153	Nodal 145	-719.059	-719.094	132
322	Nodal 145	Nodal 163	526.913	526.952	159
345	Nodal 163	Nodal 181	659.421	659.329	60
348	Nodal 181	Nodal 153	-467.176	-467.195	135
Cierre/Sum.			0.099	-0.008	486
Tolerancia			0.066		

Ajuste por el método de mínimo cuadrados

▶ Red Continental (ajuste principal)

- ▶ 362 desniveles geopotenciales
- ▶ Punto fiducial → Nodal 71, Mar del Plata
- ▶ $C_{\text{Nodal 71}} = 121.649780 \text{ m}^2\text{s}^{-2} = 12.413 \text{ m}$

▶ Red Continental (ajuste secundario)

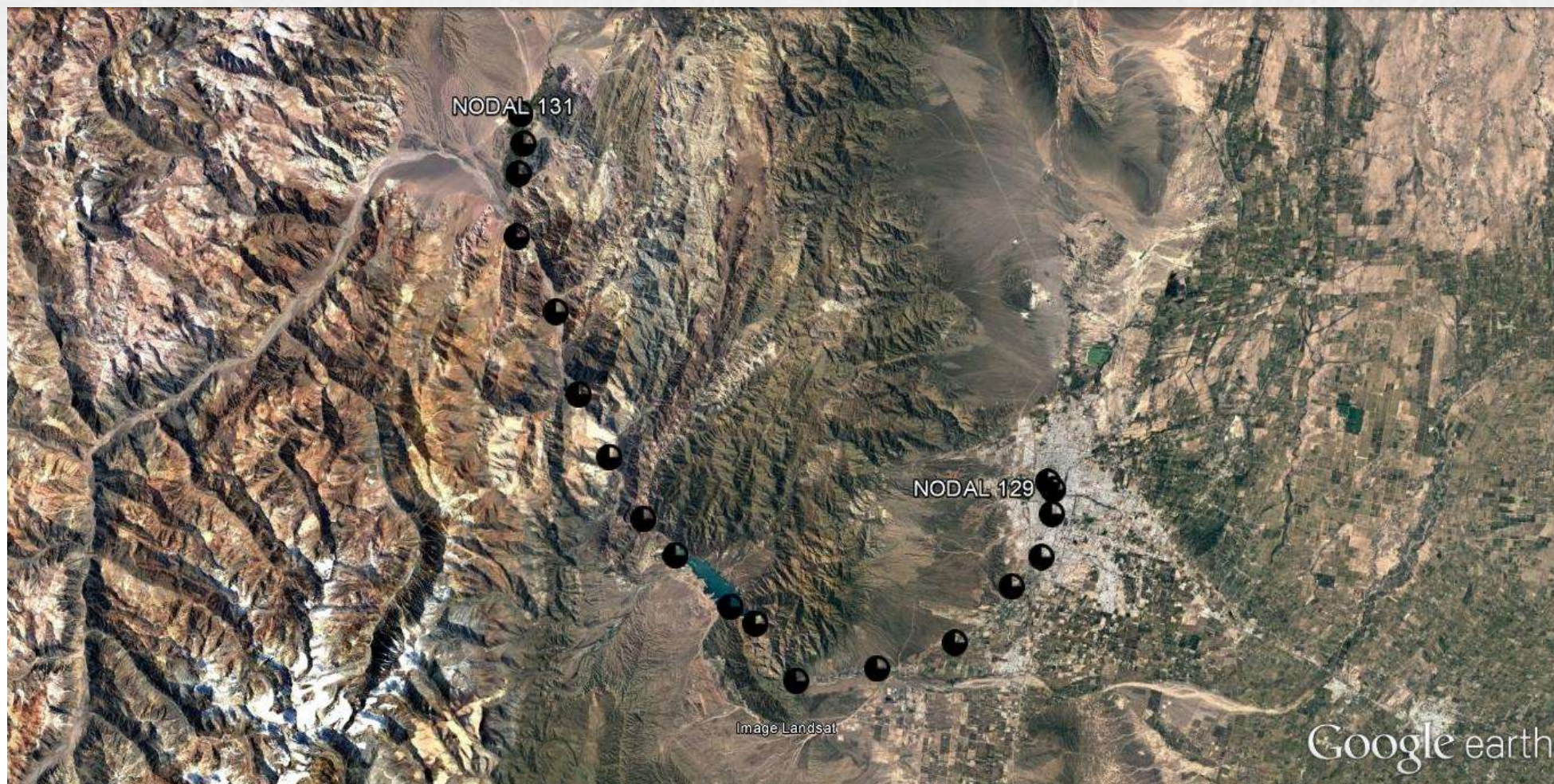
- ▶ 27 desniveles geopotenciales → fuera de tolerancia
- ▶ 21 desniveles geopotenciales → líneas sin cierre

▶ Isla Grande de Tierra del Fuego

- ▶ 4 desniveles geopotenciales
- ▶ Punto fiducial → PF1N(383), Ushuaia
- ▶ $C_{\text{PF1N(383)}} = 38.427000 \text{ m}^2\text{s}^{-2} = 3.915 \text{ m}$

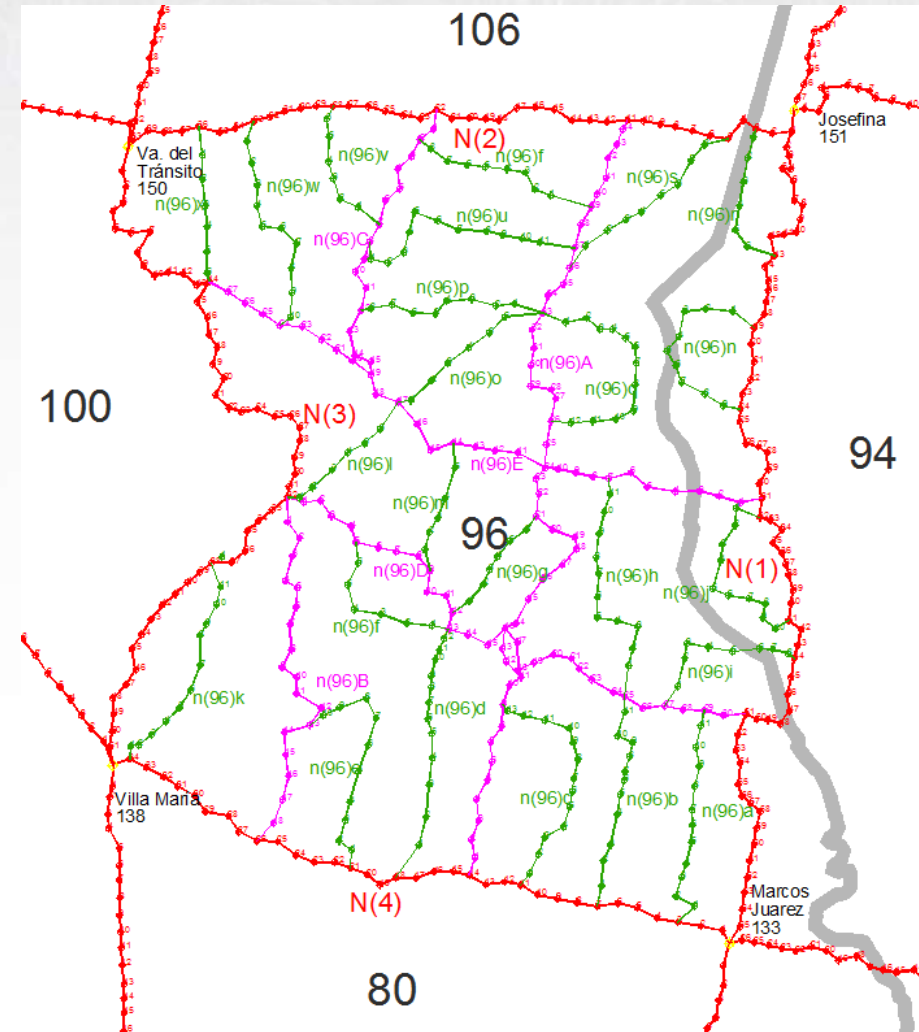


Determinación de números geopotenciales y alturas ortométricas de puntos intermedios



Red de Nivelación de Precisión y Topográfica

- ▶ 329 líneas de nivelación de **Precisión**
 - ▶ ~32 000 km de nivelación
 - ▶ ~8 000 pilares altimétricos
- ▶ 1298 líneas de nivelación **Topográfica**
 - ▶ ~52 000 km de nivelación
 - ▶ ~8 000 pilares altimétricos



Origen del geopotencial (W_0)

- ▶ W_0 Global → 62 636 853.4 m^2s^{-2} (IAG, resolución número 1 del año 2015)
- ▶ W_0 Argentina → 62 636 853.8 m^2s^{-2} (Tocho et al., 2015)
- ▶ Diferencia ~4 cm

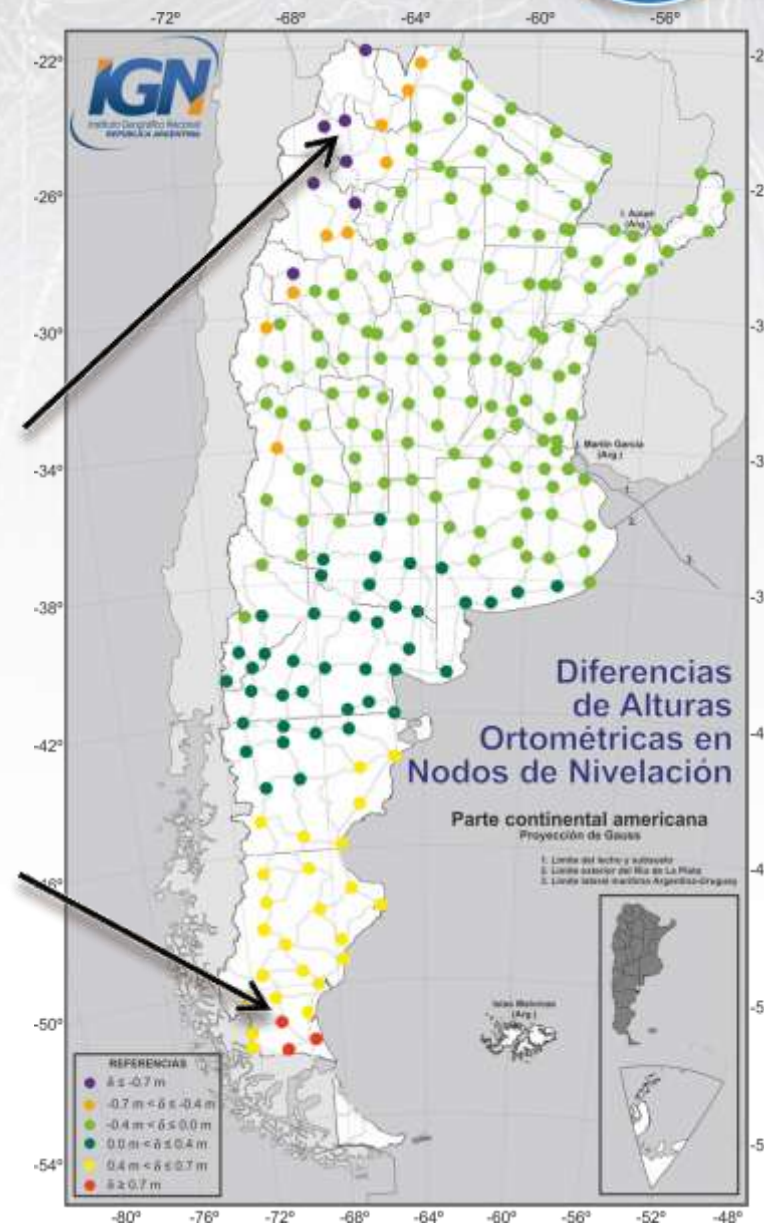
Diferencias sobre nodales

$$H_{\text{oficial}} - H_{\text{nuevo}}$$



Nodal 220
- 2.258 m

Nodal 6
0.785 m

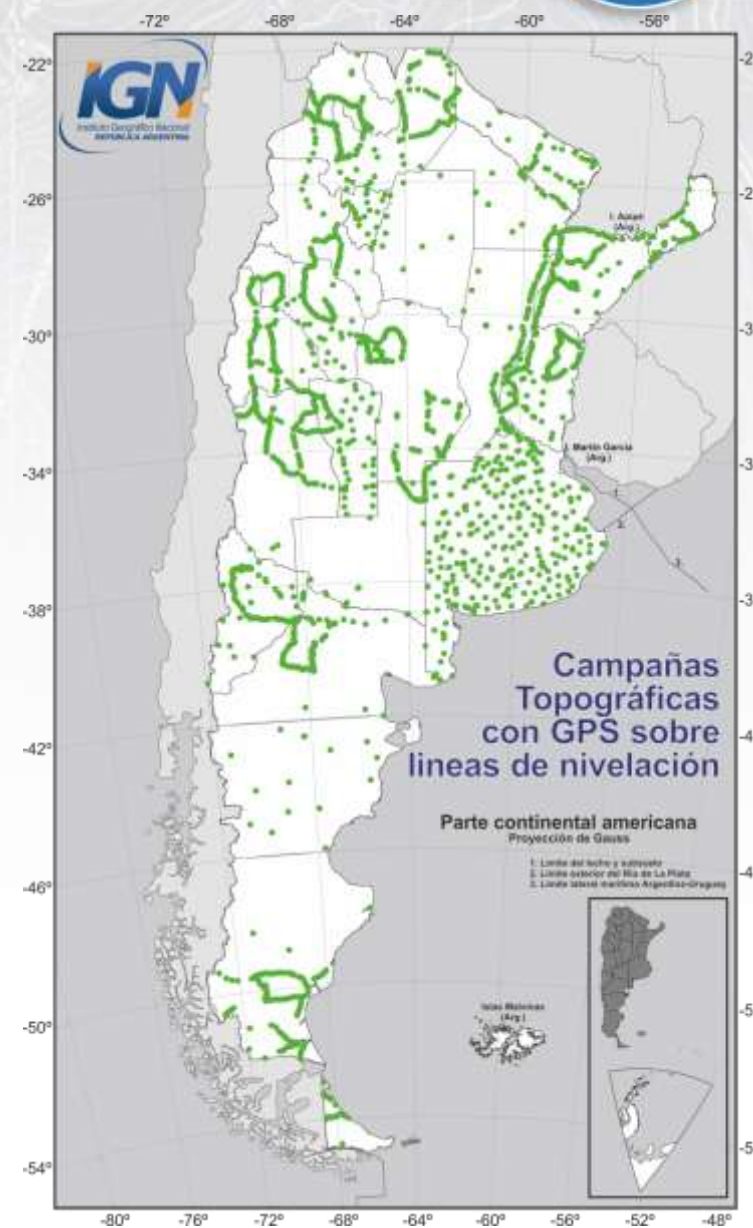


Alturas medidas vs. EGM08 (~2300 pts.)

$$N = h - H_{\text{nuevo}}$$

$$N' = h - H_{\text{oficial}}$$

	$N - N_{EGM08} [\text{m}]$	$N' - N_{EGM08} [\text{m}]$
Mínimo	-0.921	-0.932
Máximo	1.958	4.153
Promedio	0.232	0.360
Desvío estándar	0.283	0.482



Base de datos altimétrica

- ▶ Base de datos PostgreSQL + complemento PostGIS
 - ▶ Herramientas Web de búsqueda (partido, sector, distancia, nombre, etc.)
 - ▶ Descarga de coordenadas y alturas de más de 33.000 puntos
 - ▶ Descarga de monografías, gráficos de recorridos y fotografías
 - ▶ Exportación a distintos formatos: Excel, shape file, Google Earth, etc.
- ▶ Acceso a la base de datos través de la página Web del IGN:
 - ▶ <http://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Nivelacion/Busqueda>

- ▶ Resultados muy positivos
 - ▶ Ajuste completo en término de números geopotenciales
 - ▶ Gran coherencia con el modelo geopotencial EGM08

- ▶ Trabajos a futuro
 - ▶ Determinar nuevas diferencias (*offsets*) con las redes internacionales
 - ▶ Vincular las estaciones GPS/GNSS permanentes al nuevo Sistema Vertical



SECRETARÍA DE
CIENCIA, TECNOLOGÍA
Y PRODUCCIÓN



Ministerio de
Defensa
Presidencia de la Nación

MUCHAS GRACIAS