DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

Evaluación del Modelo Global de Geopotencial EIGEN-6C4 mediante GNSS/Nivelación en la Región Metropolitana de Chile

[1]José Antonio Tarrío Mosquera, [1]Ángela Ortega Castro, [1]Catalina López Cuevas, [2]Carlos Prado Casanova

[1]Departamento de Ingeniería Geográfica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Santiago de Chile
[2]Instituto Geográfico Militar de Chile

RESUMEN

El análisis de un modelo de geoide con la suficiente precisión para emplear a nivel de ingeniería en un área de estudio, exige analizar las alturas elipsoidales a través de tecnología GNSS y altitudes ortométricas con las ondulaciones procedentes de un GEM. En este estudio se detallan los trabajos realizados para evaluar modelos globales de geopotencial de mejor adaptación a la zona urbana de la Región Metropolitana de Santiago de Chile, empleando inicialmente EIGEN-6C4, pero posteriormente analizando también EGM2008 y EGM96.

Para ello se procedió a observar clavos de nivelación dotados de altura ortométrica y obtener así altura elipsoidal. La red altimétrica empleada fue la Red Gran Santiago perteneciente al Instituto Geográfico Militar. La obtención de datos elipsoidales sobre los puntos se hizo con observaciones GNSS, tomando como puntos fiduciales, datos de la RED SIRGASCON. Previo al contraste de modelos, se realizaron nivelaciones trigonométricas de precisión intermedias entre puntos no incluidos en el análisis del contraste de modelos geoidales, resultando el modelo geoidal EIGEN-6C4, el que presenta un mejor ajuste para la zona evaluada.

Posteriormente y para finalizar se generó una superficie de corrección altimétrica basada en el modelo estimado, para adaptarla a la altimetría oficial de Chile, no coincidente, obviamente con la reducción de alturas por medio del EIGEN-6C4.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Calcular alturas elipsoidales precisas sobre pilares oficiales de nivelación y verificar alturas ortométricas niveladas, por medio de calibración de GEM.

Objetivos Específicos:

- *Observar y Ajustar la red haciendo uso de técnicas GNSS y nivelación de precisión.*
- *Calcular las variaciones de ondulación geoidal*
- *Contrastar y "escalar" el modelo Geoidal EIGEN-6C4, EGM 2008, EGM96.*

CARACTERÍSTICAS EIGEN-6C4

EIGEN-6C4(European Improved Gravity model of the Earth by New techniques) es un modelo de campo de gravedad combinado global estático hasta grado y orden 2190. Ha sido elaborado conjuntamente por GFZ Potsdam y GRGS. Junto con EIGEN-6C4 se evaluaron los siguientes modelos:

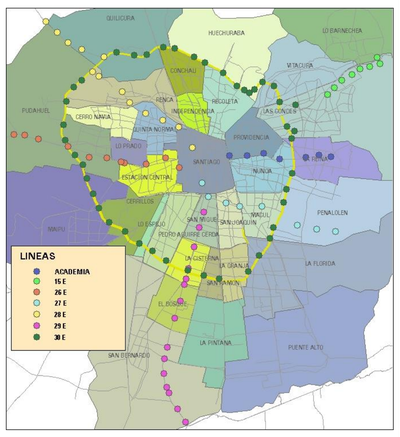
Modelo	Año de desarrollo	Grado/Orden	Semi-eje mayor (a) GM	Datos usados
EGM96	1996	360/360	6378136.46 m $3.986004415\times10^{14} m^3/s^2$	-TOPEX; GEOSAT Y ERS-1. -Anomalias y datos de gravedad para una grilla de 30'x30'. -Modelo topográfico global.
EGM2008	2008	2190/2159	6378137.00 m $3.986004418\times10^{14} m^3/s^2$	-ITG-GRACE03S (180/180). -Anomalias de gravedad al aire libre para una grilla de 5'x5'.
EIGEN-6C4	2014	2190/2190	6378136.46 m $3.986004415\times10^{14} m^3/s^2$	- LAGEOS(30) y GRACE (130) -**Datos GOCE SGG** Txx, Tyy, Tzz, Txz (235) -Anomalias de gravedad al aire libre para una grilla de 2'x2'.

DATOS INICIALES

1. Altimetría: Poligonal Gran Santiago del IGM:

Líneas de Nivelación referidas al Nivel Medio del Mar con 107 pilares de nivelación de Primer Orden, debidamente monumentados a través de toda la Circunvalación Américo Vespucio y principales avenidas del Gran Santiago, logrando con ello que en todas las comunas se disponga de puntos de Nivelación con una precisión de Primer Orden y Gravedad.

Se realizan observaciones GNSS sobre clavos de la línea Academia y 30 3



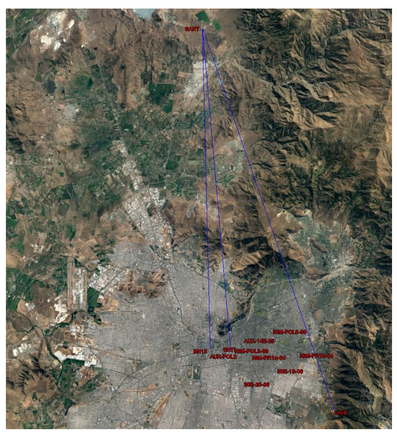
2. Red SIRGAS-CON actualizada para la Poligonal Gran Santiago del IGM

Se usa época actual de punto fiducial SANT: SIR17P1948(SIRGAS-CON e IGS)

Se dotan de coordenadas actuales a:

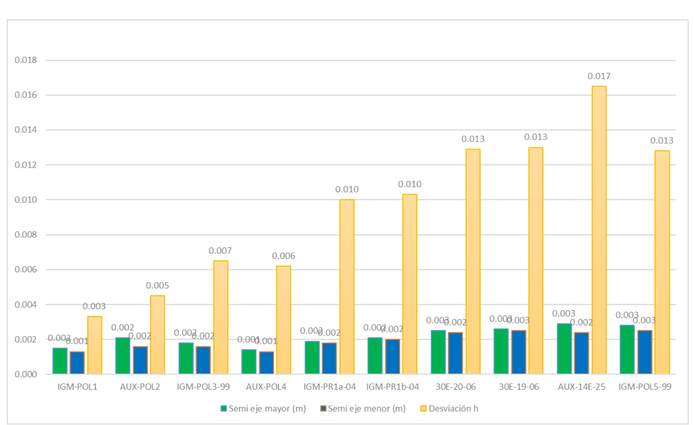
- *BN13(MBN)*
- *SNTI (Geocom)*
- *UAIB(CSN)*

Puntos con entorno GNSS limitante, por lo que se realizan sesiones con cambio de constelación, estacionamiento riguroso, y altura al ARP.



RED OBSERVADA

1. Se obtienen elipses de error sobre los clavos de nivelación con una σ_{max} de 0.017 m al 95%:

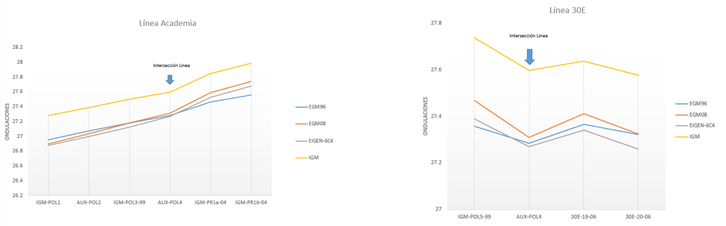


RESULTADOS y CONSTRASTE

1. Comparativa de desniveles GNSS/Modelos:

$$\Delta N = \Delta h_{GNSS} - \Delta H_{\ nivelación}$$

	Desde	Hasta	ΔN EGM96	ΔN EGM08	ΔN EIGEN-6C4
Línea ACADEMIA	IGM-POL1	IGM-POL3-99	-0.0403	-0.0157	0.0048
	IGM-POL3-99	IGM-PR1a-04	0.0237	-0.0227	-0.0276
	IGM-PR1a-04	IGM-PR1b-04	0.0167	0.0383	0.0228
Línea 30E	IGM-POL5-99	30E-19-06	0.0069	-0.0036	-0.0041
	30E-19-06	30E-20-06	0.0069	0.0036	0.0041
	Desviación Estándar		0.0251	0.0237	0.0183

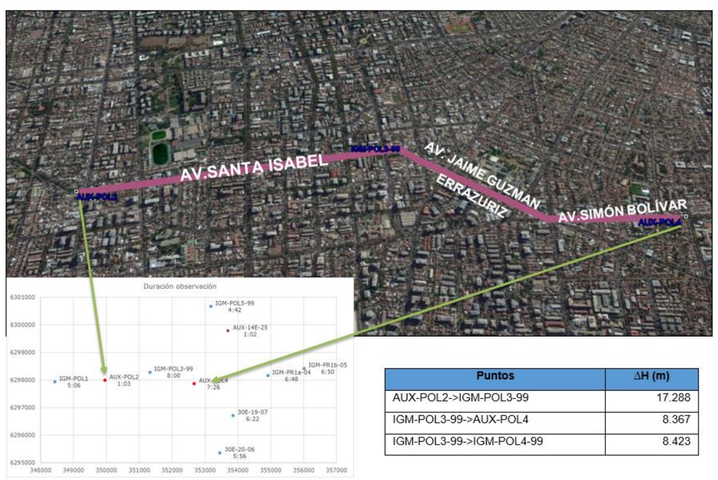


2. Contraste de desniveles GNSS/IGM y Modelos

	DESDE	HASTA	Δh	ΔH IGM	ΔH EGM96	ΔH EGM08	ΔH EIGEN 6C4	ΔN EGM96	ΔN EGM08	ΔN EIGEN 6C4	ΔN OFICIAL	CONTRASTE EGM96	CONTRASTE EGM08	CONTRASTE EIGEN-6C4
ACADEMIA	IGM-POL1	IGM-POL3-99	27.671	27.451	27.445	27.389	27.425	0.226	0.282	0.246	0.220	-0.006	-0.062	-0.026
	IGM-POL3-99	IGM-PR1a-04	41.198	40.857	40.915	40.788	40.798	0.283	0.410	0.400	0.341	0.058	-0.069	-0.059
	IGM-PR1a-04	IGM-PR1b-04	21.406	21.264	21.315	21.256	21.256	0.091	0.150	0.150	0.142	0.051	-0.008	-0.008
30e	IGM-POL5-99	30E-19-06	-39.920	-39.821	-39.928	-39.863	-39.870	0.008	-0.057	-0.050	-0.099	-0.091	-0.042	-0.049
	30E-19-06	30E-20-06	-14.074	-14.013	-14.030	-13.986	-13.994	-0.044	-0.088	-0.080	-0.061	-0.017	0.027	0.019
											σ	0.0602	0.0401	0.0314

3. Nivelación Trigonométrica:

Se realiza una nivelación trigonométrica de precisión, con clavos de nivelación que no han sido medidos en la Red Gran Santiago, para analizar la superficie de referencia correctora a la no coincidencia de los GEM y la altimetría oficial Chile, sobre la línea Academia



Puntos	ΔH (m)
AUX-POL2->IGM-POL3-99	17.288
IGM-POL3-99->AUX-POL4	8.367
IGM-POL3-99->IGM-POL4-99	8.423

REFERENCIAS

- *EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS ToulouseCh. Förste1, S.L. Bruinsma2, O. Abrikosov1, J.-M. Lemoine2, T. Schaller3, H.-J. Götze3, J. Ebbing3, J.C. Marty2, F. Flechtner1, G. Balmino2 and R. Biancale2.*
- *TROJANOWICZ, Marek, JAMROZ, OLGIERD y OSADA, Edward. COMPARISON OF THE ACCURACY OF TWO HIGH RESOLUTION GLOBAL GEOPOTENTIAL MODELS: EGM08 AND EIGEN-6C4.CASE STUDY AT THE AREA OF POLAND. 2015.*
- *GRUBER, T. Evaluation of the EGM2008 gravity field by means of GPS/levelling and sea surface topography solutions. 2009.*

EVALUACIÓN

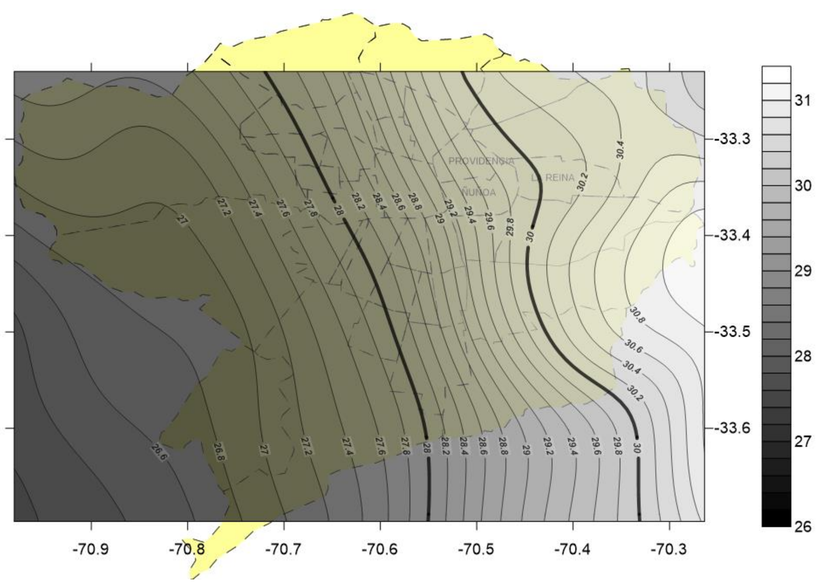
Una vez que se ha verificado que el EIGEN-6C4, como el de mejor ajuste, se genera una superficie "correctora" para adaptarlos a la altimetría oficial de Chile, la cual se valida con los desniveles trigonométricos previamente obtenidos:

						Diferencias		
Desde	Hasta	ΔH estación (m)	ΔH EIGEN-6C4 (m)	Δ H EGM96 (m)	ΔH EGM08 (m)	EIGEN-6C4 (m)	EGM96 (m)	EGM08 (m)
AUX-POL2	IGM-POL3-99	17.288	17.292	17.292	17.257	-0.0039	-0.0044	0.0306
IGM-POL3-99	AUX-POL4	8.367	8.364	8.360	8.330	0.0028	0.0070	0.0370

Donde se puede observar que la grilla con las nuevas ondulaciones EIGEN-6C4 modificada tiene la misma precisión, en el ámbito del proyecto que las ondulaciones calculadas con los desniveles trigonométricos.

CONCLUSIONES

1. *Como datos preliminares, el EIGEN-6C4 es el modelo de geoide que mejor se adapta a la zona oriente de Santiago*
2. *El escalado del mismo, permite emplear una superficie de referencia oficial para Chile, aprovechando la potencialidad de los equipos GNSS. Necesario filtrado de datos en entorno con alto efecto multipath.*
3. *La validación cruzada del mismo, mediante nivelación trigonométrica de precisión, permite obtener un modelo escalado, en el ámbito de la zona de actuación con precisión ± 1.5 cm.*
4. *La realización de estos contrastes permite trabajar con GNSS, en el área de actuación, sin necesidad de realizar transformaciones altimétricas;* ***obteniendo una H oficial IGM.***



Jose.tarrio@usach.cl

Agradecimientos a:
Dirección de Investigación Científica y Tecnológica
Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación
Universidad de Santiago de Chile
Proyecto DICYT REGULAR 091612TM