TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS ENTRE LAS REALIZACIONES SIRGAS-Chile

“Modelamiento de la deformación cortical por GNSS y Krigeage implementado en cuadriculas NTv2”

César Ocares Brantes

División del Catastro Nacional de los Bienes del Estado
Departamento de Mensura

Email: cocares@mbienes.cl

1. Contexto (1/2)

La deformación Co y Post sísmica producida por el terremoto del Maule Mw8.8 el 27 de febrero del 2010 en la zona central de Chile continental, produjo deformación cortical en valores cercanos a los 5m. próximo al epicentro del terremoto (fig.1)

La observación de las series temporales de Estaciones de Referencia de Operación Continua ubicadas en el campo cercano, muestran una tendencia no-lineal en su trayectoria post sísmica (fig.2)

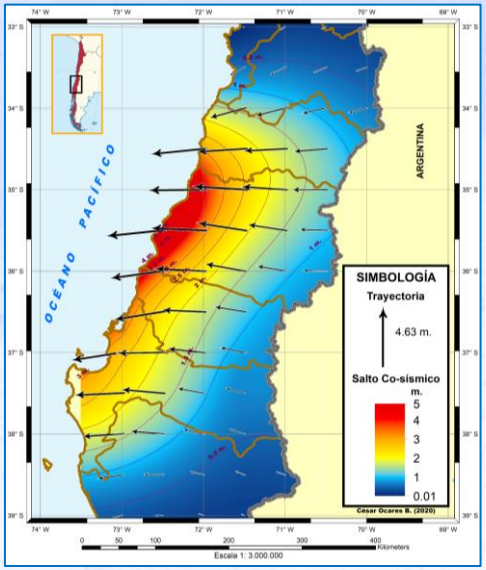


Fig. 1: Co-sísmico Maule Mw8.8.
Fuente: Elaboración propia.

The Co and Post seismic deformation produced by the Maule Mw8.8 earthquake on February 27, 2010 in the central zone of continental Chile, produced crustal deformation in values close to 5m. near the epicenter of the earthquake (fig.1)

The observation of the time series of Continuous Operation Reference Stations located in the near field, show a non-linear trend in their post-seismic trajectory (fig.2)

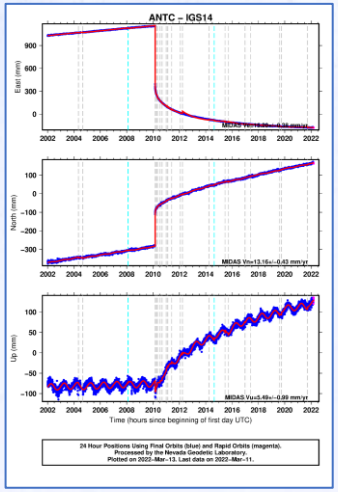


Fig.2: Serie temporal CORS de Constitución (CONS).
Fuente: Laboratorio Geodésico de Nevada (NGL).

1. Contexto (2/2)

La deformación en el Post-sísmico, no es solamente no-lineal, sino que también distinta en magnitud y dirección en la zona afecta al terremoto del Maule (fig.3a y 3b).

Se muestra los resultados de una transformación de coordenadas no-conforme mediante modelos de deformación por coordenadas topocéntricas ***enu*** (3D) para las distintas épocas de ajuste del marco de referencia estático SIRGAS-Chile en zonas afectas a las etapas Co y Post sísmicas de un mega terremoto como el del Maule.

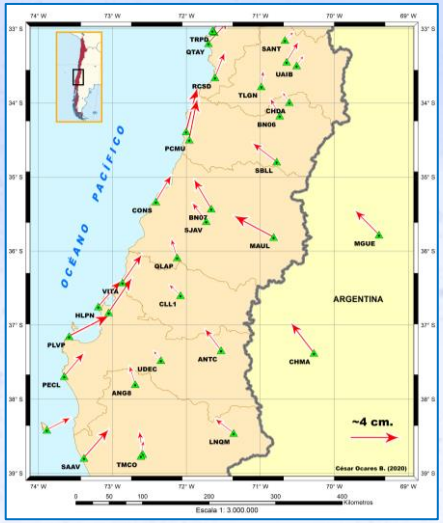


Fig.3a: Deformación 2D año 2018.
Fuente: Elaboración propia.

Post-seismic deformation is not only non-linear, but also different in magnitude and direction in the area affected by the Maule earthquake (fig.3a and 3b).

The results of a non-conforming coordinate transformation using deformation models by ***enu*** topocentric coordinates (3D) are shown for the different adjustment periods of the SIRGAS-Chile static reference frame in areas affected by the Co and Post seismic stages of a mega earthquake like the Maule.

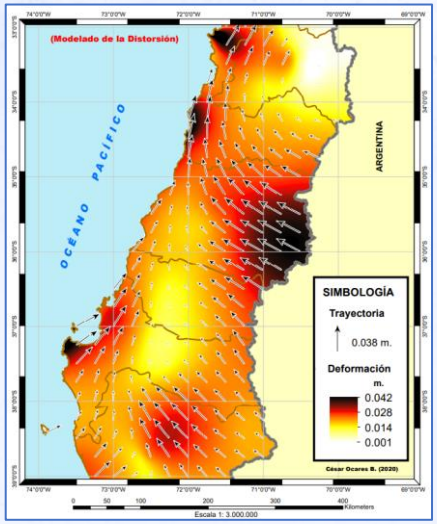


Fig.3b: Deformación 2D año 2018.
Fuente: Elaboración propia.

2. Desarrollo (1/2)

- Se uso el método de Kriging Bayesiano Empírico (EBK).
- Soluciones de coordenadas en IGS08 e IGS14 de 93 Estaciones de Referencia en territorio Chileno y Argentino para crear superficies de predicción por componente de coordenadas topocéntricas ***enu***.(fig.4)
- Se definieron 15 Periodos Interanuales y 3 Co-sísmicos (fig. 5) conforme a la fecha del terremoto del Maule Mw8.8 2010 y sus réplicas que tuvieran deformación de significancia métrica y territorial. Ejemplo de replica es la del 24 de abril 2017 Mw6.9 cerca de Valparaíso (fig.6).

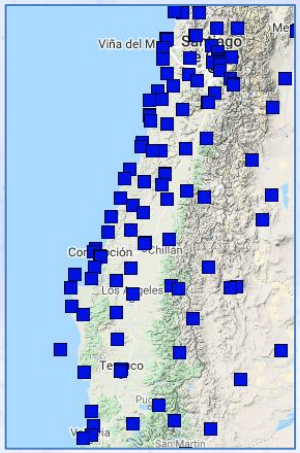


Fig.4: CORS zona de estudio. Fuente: Laboratorio Geodésico de Nevada (NGL)

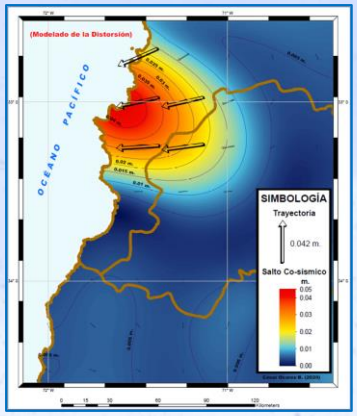


Fig. 6: Replica Mw6.9 del 24 de abril 2017. Fuente: Elaboración propia

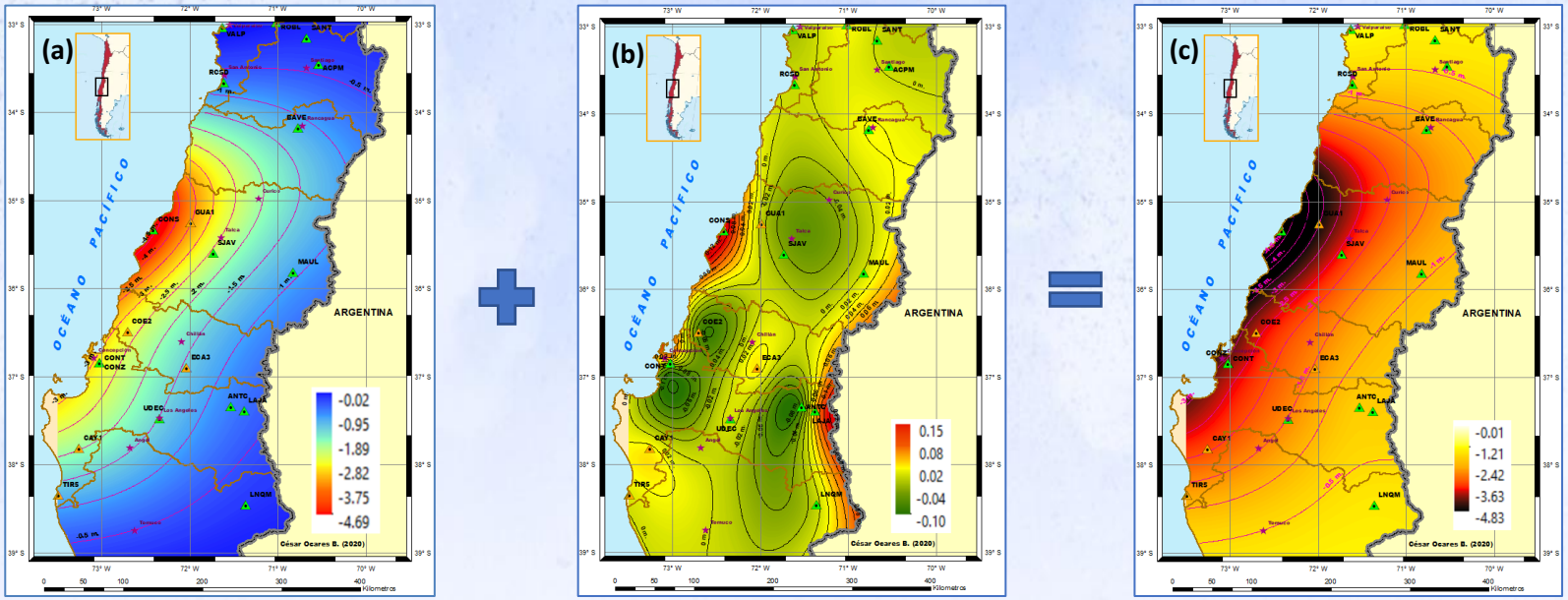
- The Empirical Bayesian Kriging (EBK) method was used.
- Coordinate solutions in IGS08 and IGS14 of 93 Reference Stations in Chilean and Argentine territory to create prediction surfaces by component of topocentric coordinates ***enu***.(fig.4)
- 15 Interannual Periods and 3 Co-seismic Periods were defined (fig. 5) according to the date of the Maule Mw8.8 2010 earthquake and its aftershocks that had deformation of metric and territorial significance. An example of a replica is that of April 24 2017, Mw6.9 near Valparaíso (fig.6).

Períodos Interanuales y Co-sísmicos	Épocas	N° de CORS	ID del Período
2010 – 26FEB	2010.0000 – 2010.1547	19	P1
27 febrero 2010	**2010.1547 – 2010.1574**	**24**	**P2**
28FEB – 15JUN	2010.1574 – 2010.4531	19	P3
16JUN – 2011	2010.4531 – 2011.0000	46	P4
2011 – 2012	2011.0000 – 2012.0000	50	P5
2012 – 24MARZ	2012.0000 – 2012.2300	42	P6
25 marzo 2012	**2010.2300 – 2010.2327**	**42**	**P7**
26MARZ – 2013	2010.2327 – 2013.0000	42	P8
2013 – 2014	2013.0000 – 2014.0000	55	P9
2014 – 2015	2014.0000 – 2015.0000	56	P10
2015 – 2016	2015.0000 – 2016.0000	55	P11
2016 – 2017	2016.0000 – 2017.0000	47	P12
2017 – 23ABR	2017.0000 – 2017.3114	41	P13
24 abril 2017	**2017.3114 – 2017.3142**	**41**	**P14**
25ABR – 2018	2017.3142 – 2018.0000	39	P15
2018 – 2019	2018.0000 – 2019.0000	40	P16
2019 – 2020	2019.0000 – 2020.0000	49	P17
2020 – 2021	2020.0000 – 2021.0000	47	P18

Fig.5: Períodos para los Modelos de Deformación, el color rojo los correspondientes a Co-sísmicos. Fuente: Elaboración propia.

2. Desarrollo (2/2)

- Se crearon 54 modelos de predicción evaluándose distintas soluciones conforme a los errores de las validaciones cruzadas.
- Como ejemplo se muestran los modelos creados para la coordenada topocéntrica ***"este"*** en el periodo del Co-sísmico del 27 de febrero 2010 (fig.7(a)(b)(c)).



La Fig.7: (a) muestra el modelo INICIAL basado en EBK donde se busca minimizar los errores en las validaciones cruzadas entre los distintos modelos test que se calculan. Luego se calcula la diferencia entre el modelo INICIAL y los valores de coordenadas de las CORS de control. (b) muestra el modelo de DISTORSIÓN creado usando el método de SPLINE a partir de dichas diferencias. Ambos se adicionan en un modelo FINAL que representa el modelo óptimo de la deformación que se puede crear conforme a la metodología y dato útil disponible (c). Fuente: Elaboración propia.

- 54 prediction models were created, evaluating different solutions according to the errors of the cross validations.
- As an example, the models created for the topocentric coordinate "east" in the Co-seismic period of February 27, 2010 (fig.7(a)(b)(c)) are shown.

3. Resultados

- Los 54 modelos (18 periodos x 3 coordenadas) se adicionan para formar 3 modelos compuestos conforme a los periodos que son parte de las fechas entre las 4 realizaciones de Sirgas-Chile evaluadas (fig.8 (a)(b)(c)).
- Los errores y desviaciones estándar promedio para cada uno de los 3 periodos inter SIRGAS-Chile se muestran en la fig.9.
- Archivo binario NTv2 es implementado en ArcMap a través de la creación de una transformación geográfica personalizada (fig.10). Este tipo de transformación de coordenadas es “reversible”.

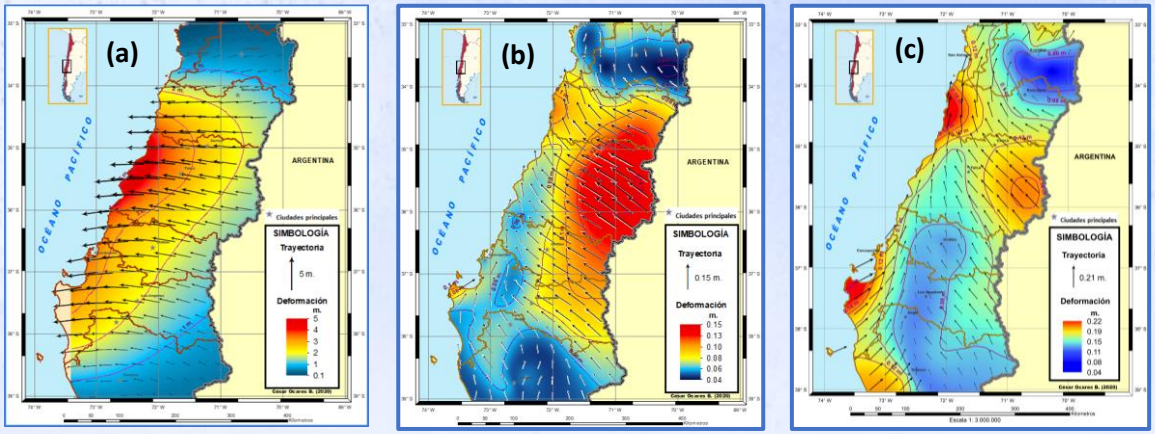


Fig.8: Magnitud y dirección de la deformación lineal 2D, (a) épocas 2010.0 a 2013.0; (b) épocas 2013.0 a 2016.0 y (c) épocas 2016.0 a 2021.0. Fuente: Elaboración propia.

PERIODOS Inter realizaciones SIRGAS-Chile	Error Promedio y Desviaciones Estándar (cms)							
	Kriging EBK							
	e	n	u	std e	std n	std u	2D	3D
2010 a 2013	18.6	13.2	23.6	21.9	11.1	23.9	23.0	32.8
2013 a 2016	1.5	1.1	3.1	1.7	1.1	2.6	1.9	3.6
2016 a 2021	2.4	2.0	5.4	2.2	1.9	4.7	3.1	6.3

Fig.9: Error y desviación estándar promedio por coordenada *“enu”* para los 3 periodos inter realizaciones SIRGAS-Chile 2010.0-2013.0; 2013.0-2016.0 y 2016.0-2021.0. Fuente: Elaboración propia.

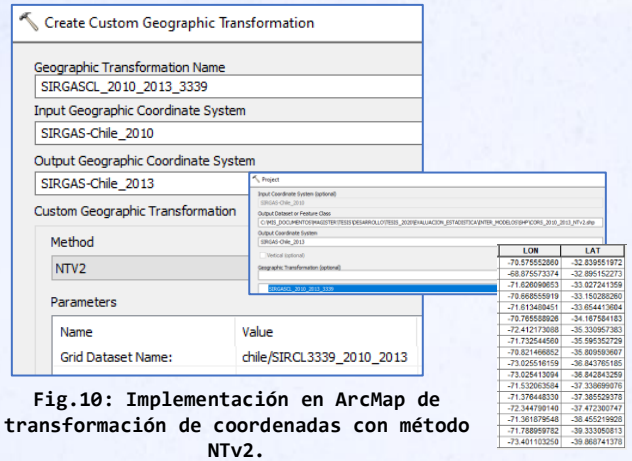


Fig.10: Implementación en ArcMap de transformación de coordenadas con método NTv2.
Fuente: Elaboración propia.

- The 54 models (18 periods x 3 coordinates) are added to form 3 composite models according to the periods that are part of the dates between the 4 Sirgas-Chile projects evaluated (fig.8 (a)(b)(c)).
- The average errors and standard deviations for each of the 3 inter SIRGAS-Chile periods are shown in fig.9.
- NTv2 binary file is implemented in ArcMap through the creation of a custom geographic transformation (fig.10). This type of coordinate transformation is “reversible”.

4. Conclusiones

- La cantidad y adecuada distribución geográfica de las CORS con dato útil disponible, resulta fundamental para la precisión y representatividad de los modelos predictivos de la deformación finales. Las zonas no cubiertas presentan una mayor incertidumbre respecto del valor del error promedio estimado (Andes, region Araucania por ejemplo).
- Terremotos cercanos a Mw7 generan deformaciones Co-sísmicas significativas en el campo cercano del epicentro (~5cm), por lo que debe evaluarse en detalle eventos de magnitudes menores y mayores proximos a esta magnitud para definir eventuales periodos Co-sísmicos en el modelo de deformación.
- Los modelos de deformación generados son representativos en una escala regional o macro zonal, por lo que deformaciones circunscritas y asociadas a fallamiento o volcanismo, deben ser analizadas y modeladas de forma local y específica.
- Se trabaja en levantar información de soluciones de coordenadas no tenidas a la vista en este estudio y mayor comprensión de las automatización propia de EBK.
- Finalmente, se tiene una metodología y un producto usable que es una alternativa de solución a un problema real, siendo compatible con escalas y precisiones con fines catastrales y de ingeniería y que es perfectamente posible de implementar en plataformas de almacenamiento y gestión gráfica SIG del Ministerio de Bienes Nacionales.

The quantity and adequate geographical distribution of the CORS with available useful data is essential for the accuracy and representativeness of the final deformation predictive models. The uncovered areas present a greater uncertainty regarding the value of the estimated average error (Andes, Araucania region for example).

Earthquakes close to Mw7 generate significant Co-seismic deformations in the near field of the epicenter (~5cm), so events of smaller and larger magnitudes close to this magnitude must be evaluated in detail to define eventual Co-seismic periods in the deformation model. .

The deformation models generated are representative on a regional or macro-zonal scale, so circumscribed deformations associated with faulting or volcanism must be analyzed and modeled locally and specifically.

Work is being done to gather information on coordinate solutions not seen in this study and a greater understanding of EBK's own automation.

Finally, there is a methodology and a usable product that is an alternative solution to a real problem, being compatible with scales and precisions for cadastral and engineering purposes and that is perfectly possible to implement in storage platforms and GIS graphic management of the Ministry. of National Assets.

Gracias por su atención

César Ocares Brantes
Magíster en Geomática

División del Catastro Nacional de los Bienes del Estado
Departamento de Mensura
Email: cocares@mbienes.cl