



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



Transición de PSAD56 a SIRGAS en el datum de minería de Chile mediante Modelos de Distorsión

Dr. José Antonio Tarrío Mosquera¹, Bernardo Barraza¹, Karina Salinas¹, Gonzalo Lira¹, Ing. Rodrigo Urrutia²

¹Universidad de Santiago de Chile

²Servicio Nacional de Geología y Minería(SERNAGEOMIN), Ministerio de Minería de Chile

Simposio SIRGAS 2018, 9-12 de octubre de 2018, Aguascalientes, México



Contenidos

1. Antecedentes Legales y Técnicos
2. Problemática actual
3. Soluciones empleadas
4. Propuesta actual
5. Aplicación
6. Conclusiones

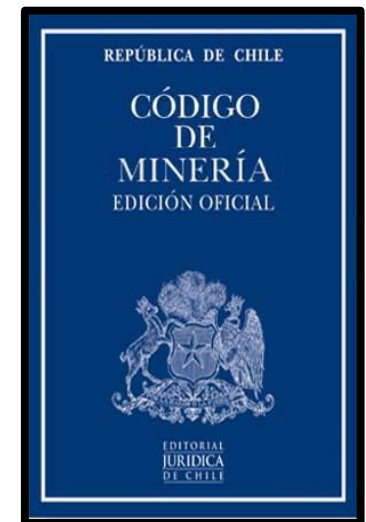


UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



SERNAGEOMIN

Asesorar a los Tribunales de Justicia acerca de los aspectos técnicos relacionados con los procesos de **constitución de concesiones mineras**





1. Antecedentes Legales



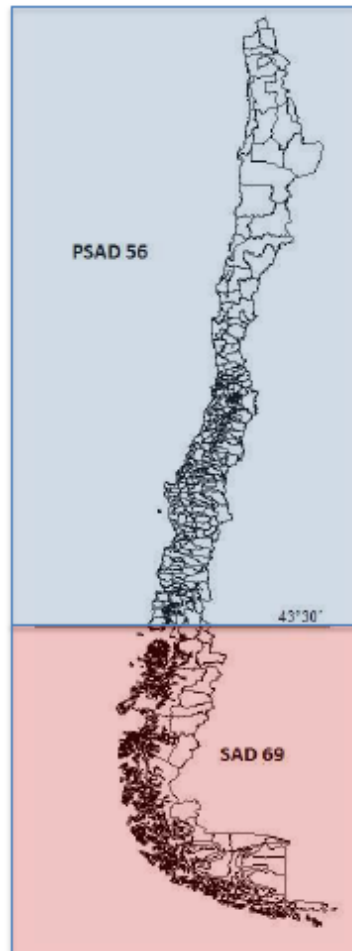
- Coordenadas Locales
- Origen HR, eje abscisa Meridiano astronómico, o Norte Magnético

SISTEMA REFERENCIA LOCALES

- Datum PSAD 56 o SAD 69
- Proyección UTM

SISTEMA REFERENCIA GLOBALES

1. Antecedentes legales y técnicos

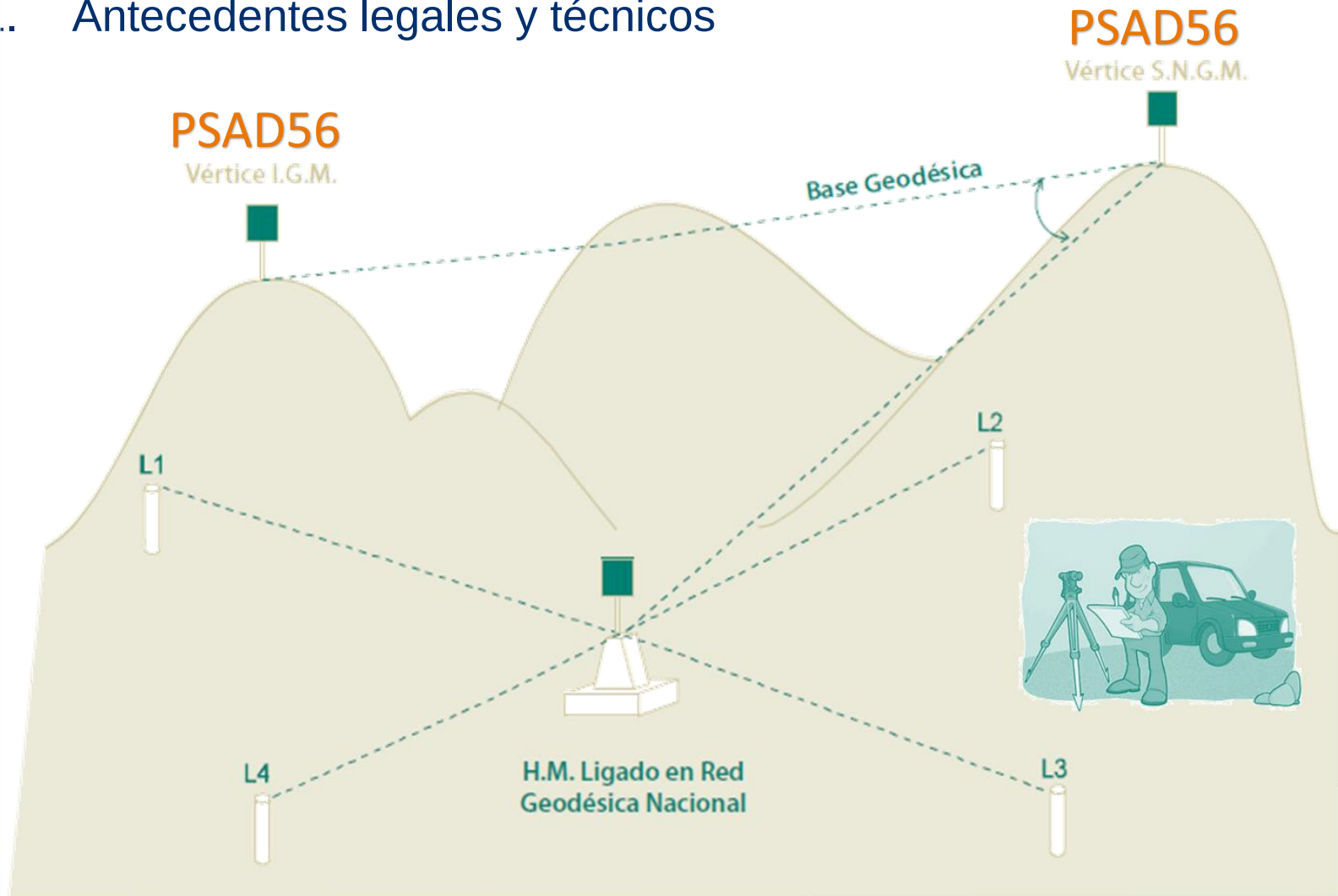


REGLAMENTO DEL CÓDIGO DE MINERÍA

Artículo 16.- Si en el pedimento o en la manifestación se ubicare el punto medio o el punto de interés, respectivamente, en coordenadas U.T.M. referidas a un Datum específico, se estará a éste. En caso que las coordenadas U.T.M. no se encuentren referidas explícitamente a Datum alguno, se entenderá que ellas lo están al "Datum Provisorio Sudamericano. La Canoa 1956. Elipsoide Internacional de Referencia 1924", salvo cuando dichos puntos medio o de interés se encuentren ubicados al Sur de los 43°30'00" de latitud sur, caso en el cual se entenderá que ellas están referidas al "Datum Sudamericano CHUA, Brasil 1969. Elipsoide Sudamericano de Referencia 1969".



1. Antecedentes legales y técnicos





1. Antecedentes legales y técnicos

Problemática:

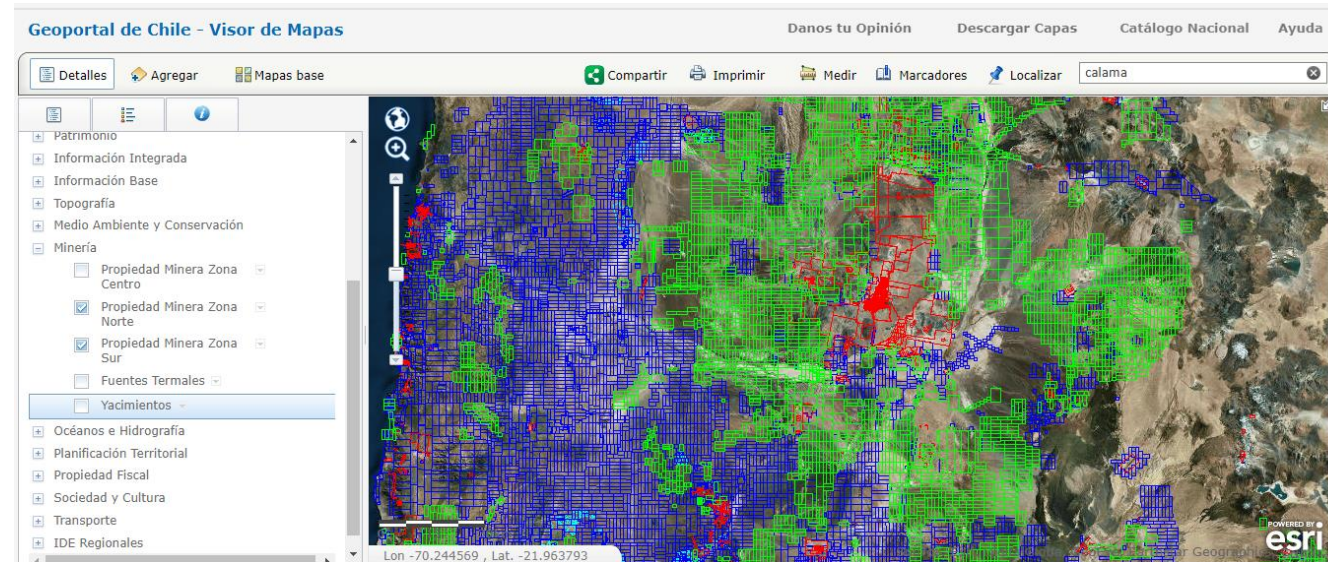
- Posee errores tanto cuantificables como no cuantificables, propios de la tecnología de la época (no es preciso).
- La exactitud de los vértices de 2º y 3er Orden pueden puede ser métrica.
- No es Geocéntrico (No es exacto).
- La relación con sistemas geodésicos modernos no es homogénea (parámetros imprecisos)
- No es compatible directamente con la Tecnología GNSS
- Organismos oficiales NO publican cartas PSAD56 y SAD69

Solución:

- Las técnicas de medición GNSS son muy precisas y pueden detectar cambios mínimos (mm) en las estaciones terrestres
- La precisión de las coordenadas de los vértices determinados es consistente con la precisión de las técnicas de medición (mm)
- Es Geocéntrico
- SIRGAS es un sistema moderno, no necesita transformación.
- Compatible con las técnicas modernas de posicionamiento.
- Si se publican cartas en SIRGAS.



2. Problemática actual



Número de concesiones de

Explotación

86722 ud

Número de concesiones de

Exporación

45372 ud

Sobre el mapa



3.1 Medición en Post Proceso

3.1.1 La ligazón del hito de mensura y de los vértices auxiliares referidos en el punto 2.2.3 número ii), se realizará a través de la metodología de post proceso. Para lo anterior, debe considerarse lo siguiente:

- La solución del vector en el post proceso, tendrá que ser fija; sin perjuicio de que se deberán observar los parámetros mínimos señalados en el punto 2.1.
- Como los sistemas GNSS determinan las coordenadas referidas a WGS 84, las coordenadas del hito de mensura y de los vértices auxiliares, si lo hubieran, deberán expresarse según lo indicado en el artículo 16 del Reglamento del Código de Minería, se realizará la transformación de Datum a través del software de post proceso, utilizando provisoriamente los parámetros NIMA (Agencia Nacional Estadounidense de Imágenes y Mapas). Solo en el caso que el Sernageomin oficialice los parámetros definitivos para Chile, deberán emplearse éstos.

La proyección cartográfica a utilizar es la proyección Universal Transversal Mercator UTM.

En la realidad





UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



PROPUESTA DE SOLUCIÓN



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

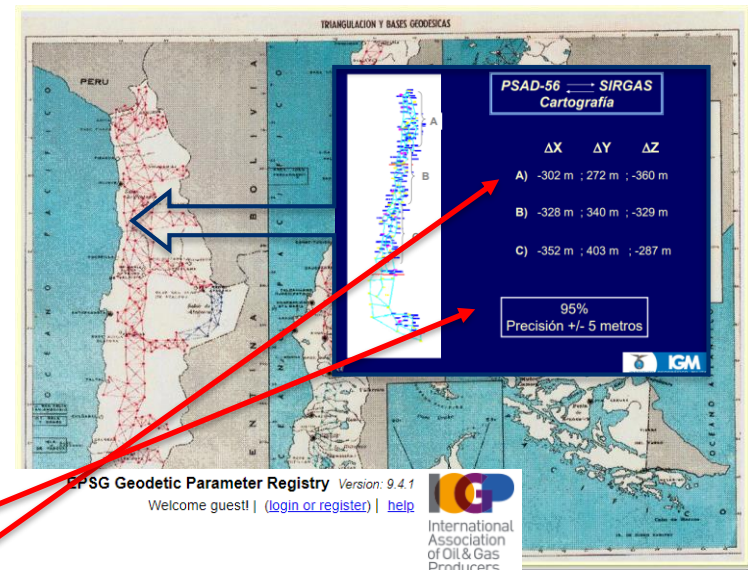


3. Soluciones empleadas

Antecedentes I

En sí mismo, el cambio de SGR debería poder llevarse a cabo mediante 3 traslaciones con transformaciones cuya característica es LA CONFORMIDAD.

Sin embargo la materialización de la realidad terreno en cada caso, provoca ligeros cambios de forma a lo largo de la red, fundamentalmente provocado por el uso de métodos de medida distintos, criterios de ajuste diferentes, errores de medida etc.; por tanto, este hecho no puede ser modelado mediante una simple transformación conforme, DONDE ADEMÁS SE OBSERVAN DISCREPANCIAS EN LAS PRECISIONES Y EN EL MARCO. **VÁLIDO A NIVEL CARTOGRÁFICO**



query by filter retrieve by code

Code: 6971 Retrieve Reset ?

Note: Codes are only unique within a type, therefore multiple codes may be retrieved.

Coordinate Transformation [PSAD56 to WGS 84 (15)]

Code: EPSG:6971

Name: PSAD56 to WGS 84 (15)

Aliases

Operation Version: NGA-CHI N 2014

Operation is Reversible: yes

Accuracy: 17 metre

Area of Use [Chile - onshore north of 26°S]

Source CRS [PSAD56]

Target CRS [WGS 84]

Parameter Values

Parameter Name	Parameter Value or Parameter File	Unit of Measure	Sign Reversible
X-axis translation	-302	metre	Yes
Y-axis translation	272	metre	Yes
Z-axis translation	-360	metre	Yes

Method [Geocentric translations (geog2D domain)]

EPSG Geodetic Parameter Registry Version: 9.4.1

Welcome guest! | [login or register](#) | [help](#)



PSAD56 to WGS 84 (15)[VALID]

Remarks: Derived at 5 stations. Replaces PSAD56 to WGS 84 (3) (code 1203). Also used as a transformation from PSAD56 to SIRGAS-Chile - see code 6949.

Scope: For military purposes. Accuracy 10m in each axis.

Information Source: U.S. National Geospatial Intelligence Agency (NGA) Standard 0036 v1.0.0 of 2014-07-08.

Data Source: OGP

Revision Date: 2014-11-07

Change ID: [EPSG_2014.082](#)

GML

WKT

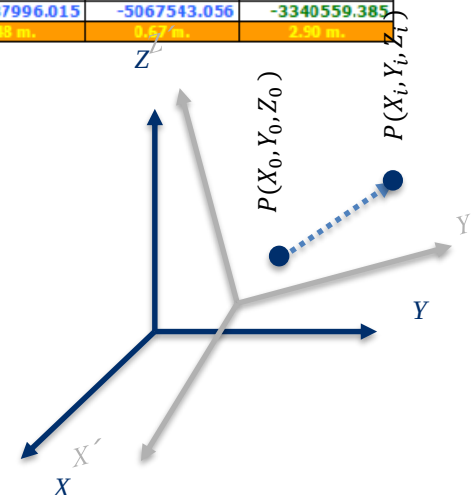


3. Soluciones empleadas

Antecedentes II

Ver.1	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS
Param.	ARICA PARINACOTA	TARAPACA	ANTOFAGASTA	ATACAMA	COQUIMBO	VALPARAISO	METROPOLITANA	O'HIGGINS
dX m.	-308.1111	-311.2230	-318.5297	-328.2391	-334.6634	-340.8699	-340.8699	-340.8699
dY m.	284.0858	295.7422	315.5743	339.3152	362.0980	378.1499	378.1499	378.1499
dZ m.	-354.4698	-349.1538	-342.1629	-332.5283	-315.5832	-301.7581	-301.7581	-301.7581
Rx°	-11.17017	-11.8631	-11.6773	-11.78848	-11.88895	-11.67685	-11.67685	-11.67685
Ry°	-7.2488	-5.6327	-6.90491	-7.23413	-7.59390	-8.0647	-8.0647	-8.0647
Rz°	5.53482	6.0103	5.5219	5.76076	5.31011	4.8432	4.8432	4.8432
FE ppm	-2.007	2.8600	4.5413	2.3957	-11.349	-3.057	-3.057	-3.057
x0 m.	2104071.443	2102964.6162	2061787.336	1921576.833	1784531.482	1713576.601	1713576.601	1713576.601
y0 m.	-5673056.728	-5595065.6130	-5469090.663	-5349124.123	-5192317.346	-5037305.761	-5037305.761	-5037305.761
z0 m.	-2009328.601	-2215652.7530	-2538255.881	-2879772.046	-3231683.615	-3503328.861	-3503328.861	-3503328.861
Err. m.	0.68 m.	0.57 m.	0.67 m.	1.34 m.	0.99 m.	0.54 m.	0.54 m.	0.54 m.
	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS	SAD69 a SIRGAS	SAD69 a SIRGAS	PSAD56 a SIRGAS
Param.	MAULE	BIO BIO	AFAUCANIA	LOS RIOS	LOS LAGOS	AYSEN	MAGALLANES	PAIS (XV a X)
dX m.	-346.4306	-352.1689	-358.0243	-359.3312	-360.6166	-89.095	-80.9543	-339.0842
dY m.	391.7837	402.8116	418.1269	424.036	430.5261	23.9421	18.4149	370.1646
dZ m.	-291.6715	-285.5147	-282.4567	-275.7441	-266.8339	-17.0217	-5.7713	-306.9752
Rx°	-11.90921	-11.4706	-12.59136	-13.1942	-12.4601	-0.9571	-0.88787	-12.30319
Ry°	-8.58664	-10.6336	-8.04343	-6.61088	-9.35716	-2.41145	-1.24367	-7.27863
Rz°	5.02529	3.56605	5.89091	7.20744	4.58615	4.16425	2.59211	4.19624
FE ppm	2.3513	12.9727	20.4104	-6.0721	-27.8136	-20.9403	-1.0486	0.4879
x0 m.	1617679.078	1537044.444	1444444.444	136964.954	1388113.772	1378789.055	1327734.355	1732998.353
y0 m.	-4927378.249	-4845044.444	-4761111.111	-68351.005	-4585856.728	-4121410.159	-3613060.368	-5075639.432
z0 m.	-3699508.927	-3838444.444	-3977777.778	87368.458	-4194466.455	-4637996.015	-5067543.056	-3340559.385
Err. m.	0.67 m.	1.66 m.	1.66 m.	0.79 m.	1.54 m.	2.48 m.	0.67 m.	2.90 m.

PSAD56 a SIRGAS
ANTOFAGASTA
-318.5297
315.5743
-342.1629
-11.6773
-6.90491
5.5219
4.5413
2061787.336
-5469090.663
-2538255.881
0.67 m.



4. Propuesta actual

Metodología

Lo estricto podría ser observar TODA la red AHORA, pero tampoco solucionaría el problema de una transición a SIRGAS, debido a las distorsiones del datum antiguo, y a la época actual del moderno en Chile(2016.00) ya está obsoleta debido a las deformaciones.

Se necesitan herramientas para poder transitar de PSAD56 a SIRGASCON con precisiones menores a 0.7 m, idealmente 0.5 m.

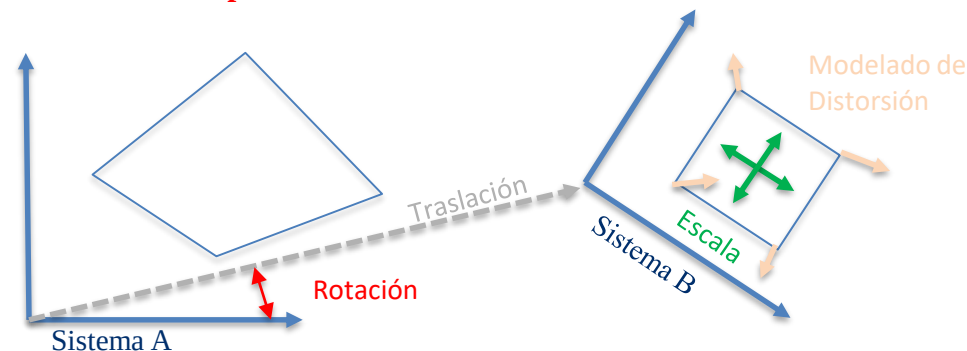
Se realiza prueba “piloto” en Región de Antofagasta ($\Delta\phi$ 500 km - $\Delta\lambda$ 350 km), aproximadamente la mitad de Japón en extensión

1. Calcular la mejor transformación conforme posible entre los dos datums, esto eliminaría la diferencia entre los mismos debida únicamente al cambio de SGR, pero no tendría en cuenta el cambio de forma.
2. Obtener las diferencias entre el valor en el datum de llegada y el calculado a partir de esta transformación conforme. Éstas representan la distorsión.
3. Modelar la distorsión.
4. Obtener la transformación conjunta “conformidad+modelo de distorsión”



Fuente: <https://thetruesize.com/>

La posibilidad de modelar la distorsión se basa en la existencia de un patrón regular de comportamiento ya que aquella no presenta aleatoriedad sino una cierta correlación espacial.

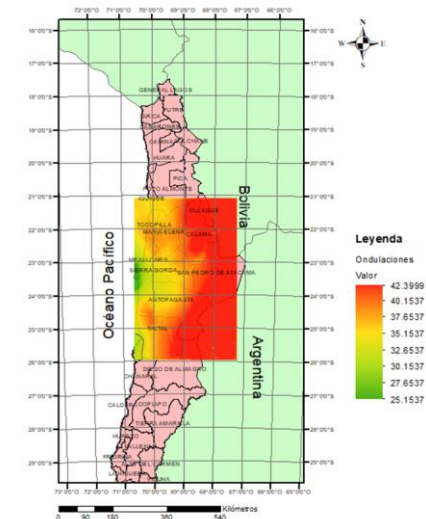
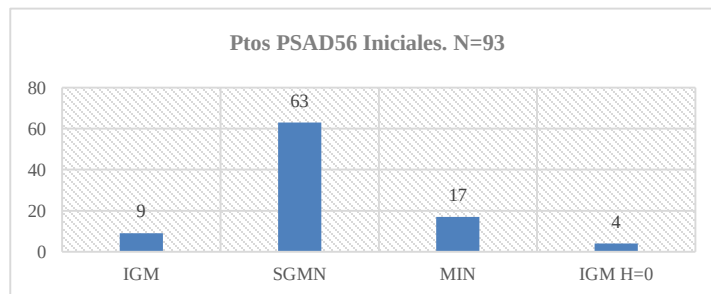
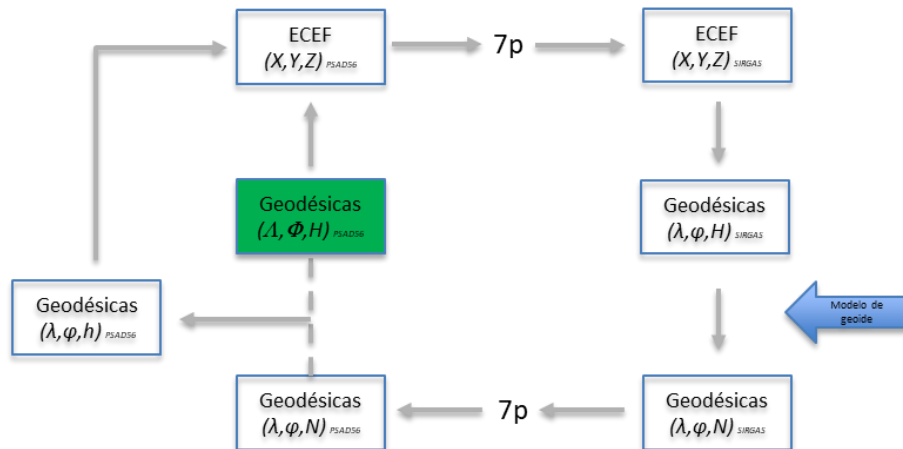


4. Propuesta actual

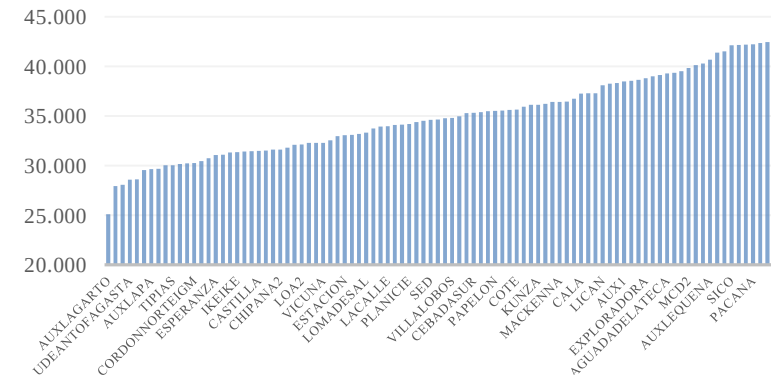
Cálculo de coordenadas en diferentes SGR.

1. Depuración de datos (PSAD56):

- Recopilación de datos originales pasivos λ, ϕ, H de PSAD56, sobre los que se hayan realizado medidas GNSS, posterior al terremoto de Illapel de 2015.
- Convertir H a h, para emplearlo en un H3D.



ONDULACIONES (N)

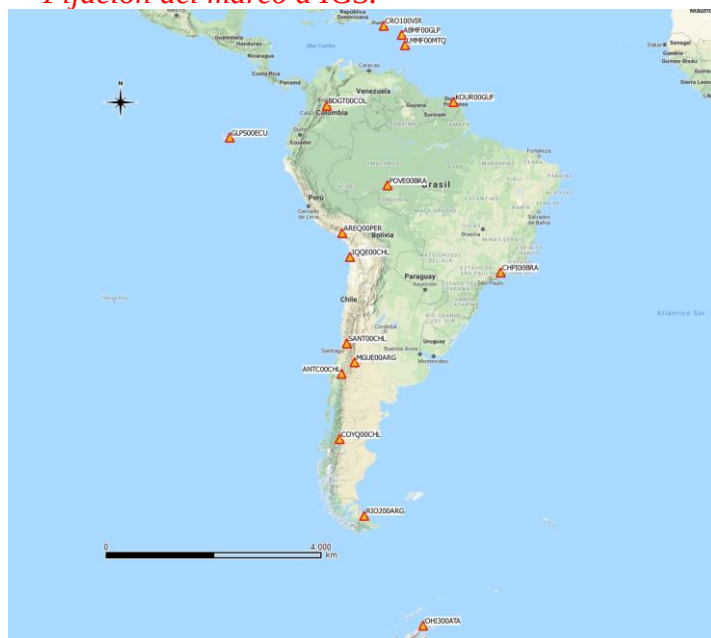


4. Propuesta actual

Cálculo de coordenadas en diferentes SGR. RED PRIMARIA SIRGAS

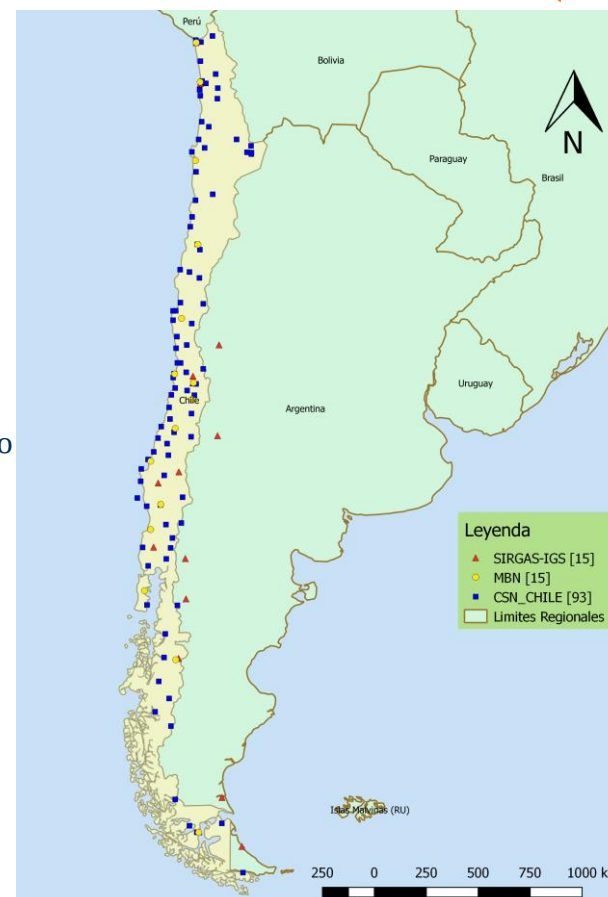
2. Actualización de marco para SGR moderno sobre estaciones activas con datos libres en Chile(108 estaciones):

- Centro Sismológico Nacional (93 estaciones)
- Ministerio de Bienes Nacionales (15 estaciones)
- Recálculo del marco Geodésico compatible con SIRGAS. IGS14, época 2018.00.
- Procesado de la red según Estándares de procesamiento científico SIRGAS.
- *Fijación del marco a IGS.*



Precisión final del Marco

Comp.	RMS(mm)
n	1.21
e	1.10
u	3.81



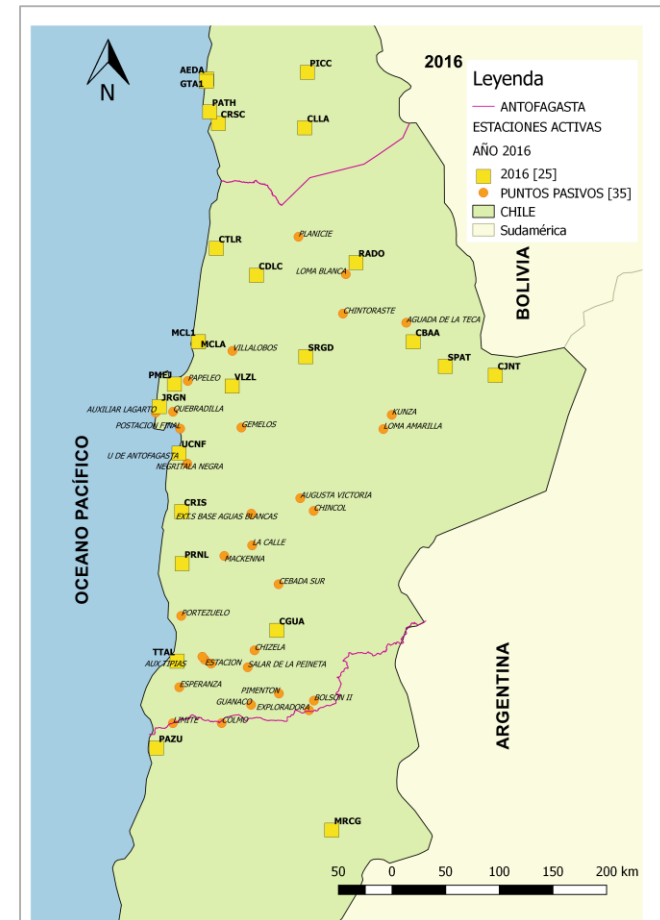
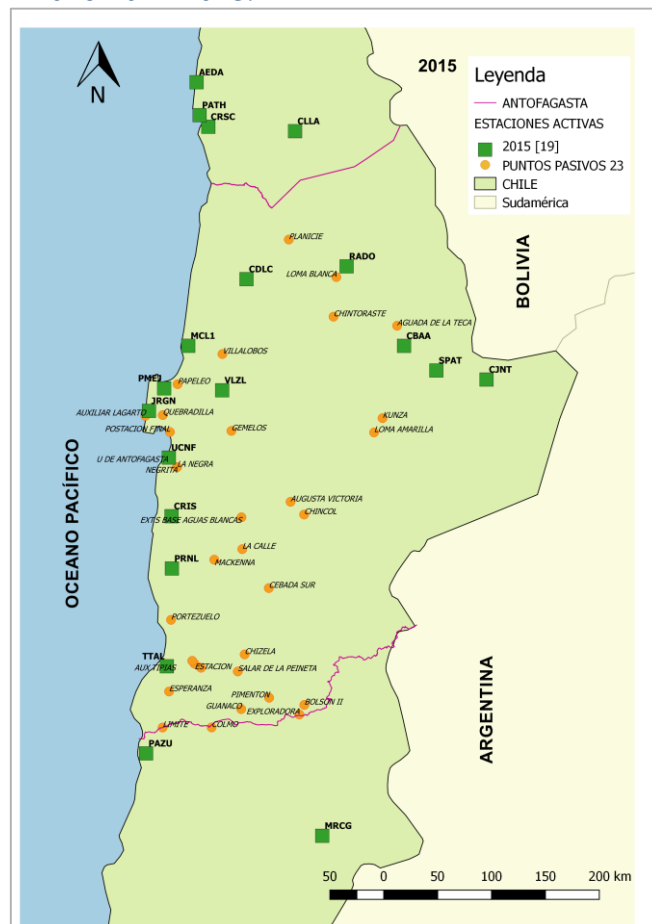
3. Los puntos empleados en el paso anterior se usarán como puntos fiduciales para actualizar puntos SRGM sobre los que se tengan datos PSAD56.

4. Propuesta actual

Cálculo de coordenadas en diferentes SGR. RED SECUNDARIA SERNAGEOMIN

4. Actualización a SIRGAS sobre puntos PSAD56 a partir de los datos anteriores:

- Actualización de marco sobre puntos pasivos para tener doble juego de coordenadas.
- Conjunto de datos en PSAD56 sobre los que se midieron datos GNSS, Y SE ACTUALIZA a SGR moderno años 2015-2016-2017-2018:

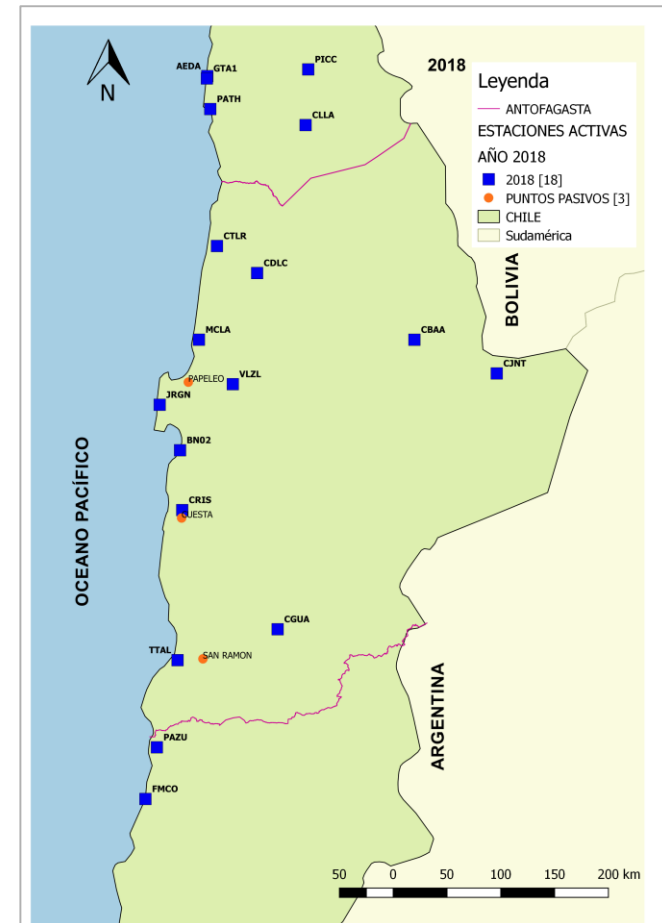
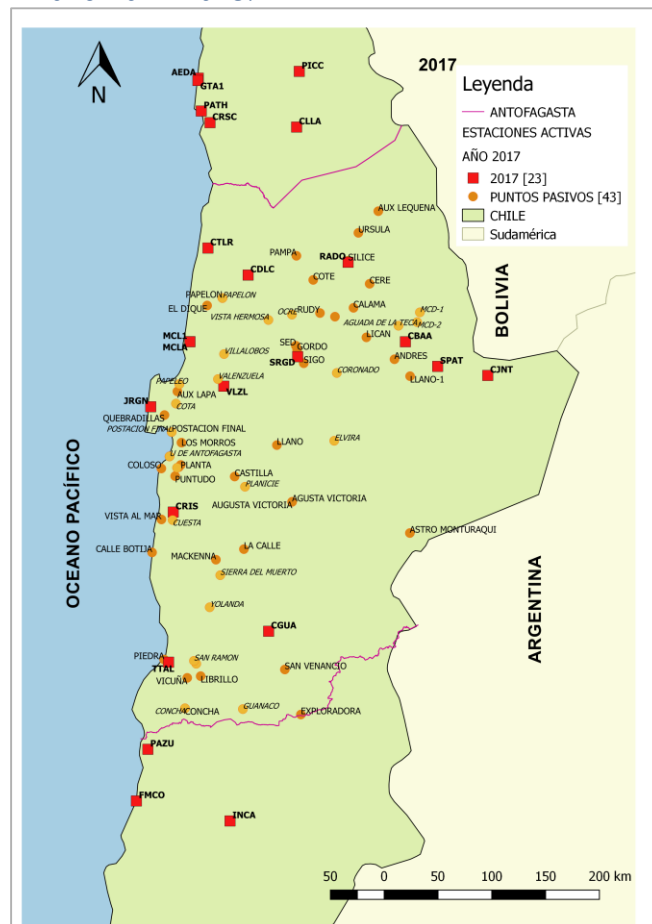


4. Propuesta actual

Cálculo de coordenadas en diferentes SGR. RED SECUNDARIA SERNAGEOMIN

4. Actualización a SIRGAS sobre puntos PSAD56 a partir de los datos anteriores:

- Actualización de marco sobre puntos pasivos para tener doble juego de coordenadas.
- Conjunto de datos en PSAD56 sobre los que se midieron datos GNSS, Y SE ACTUALIZA a SGR moderno años 2015-2016-2017-2018:



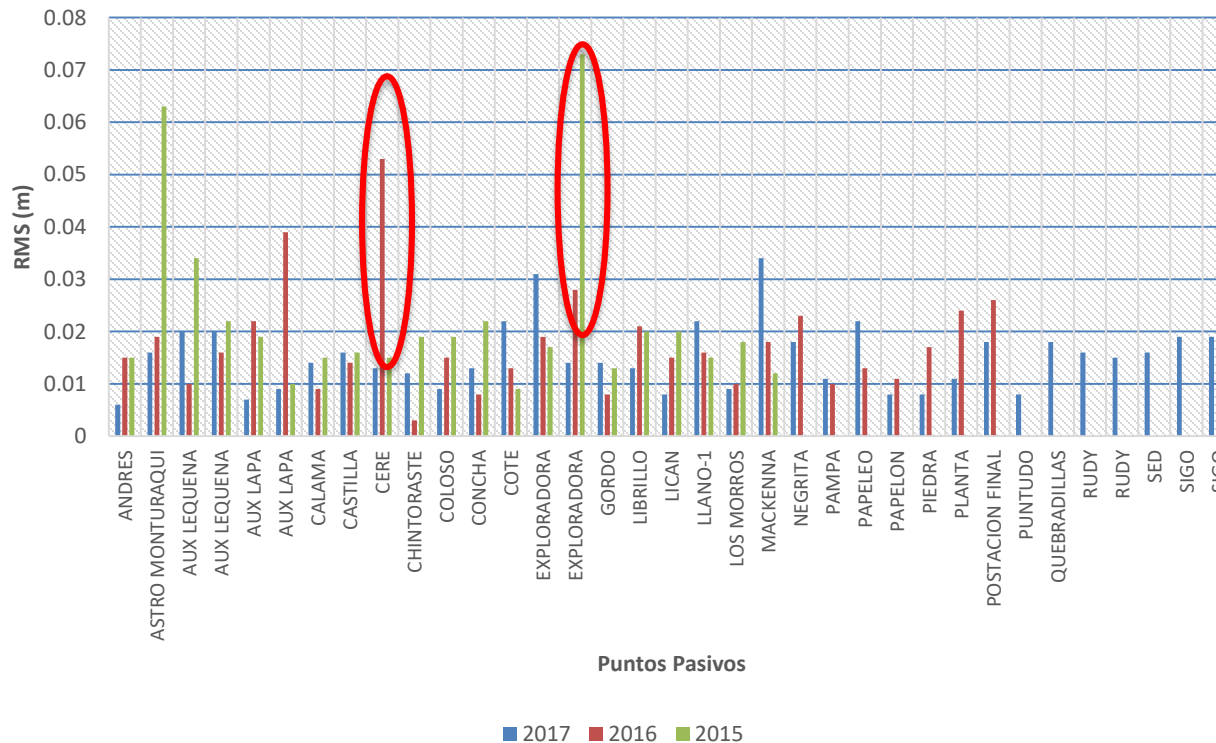
4. Propuesta actual

Cálculo de coordenadas en diferentes SGR. RED SECUNDARIA SERNAGEOMIN

4. Actualización a SIRGAS sobre puntos PSAD56 a partir de los datos anteriores:

- Actualización de marco sobre puntos pasivos para tener doble juego de coordenadas.
- Conjunto de datos en PSAD56 sobre los que se midieron datos GNSS, Y SE ACTUALIZA a SGR moderno años 2015-2016-2017-2018:

RMS (e-n) Red Pasiva SIRGAS



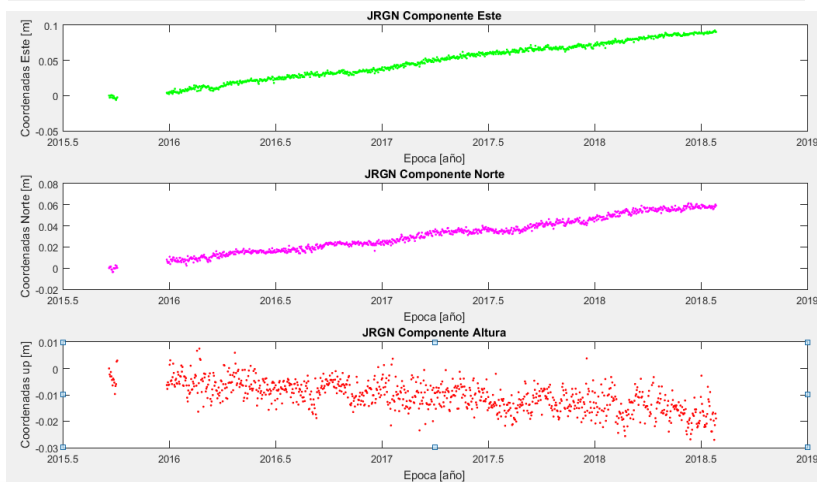
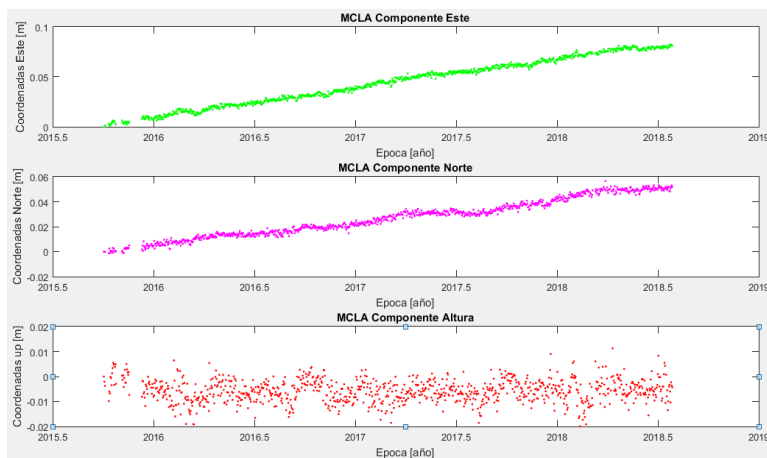
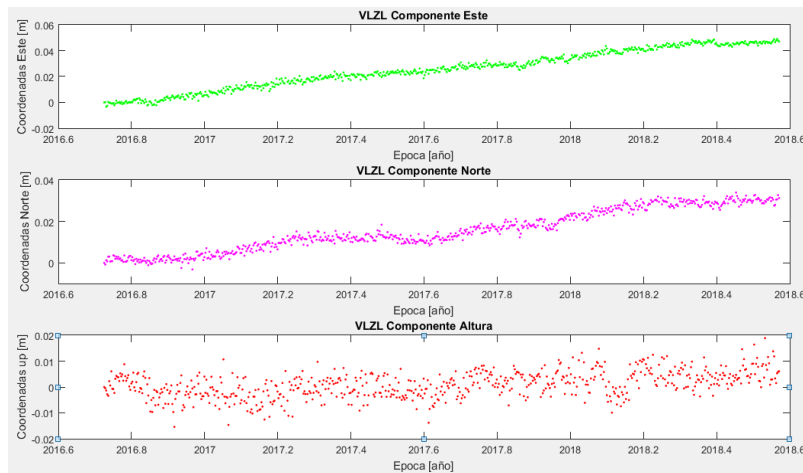
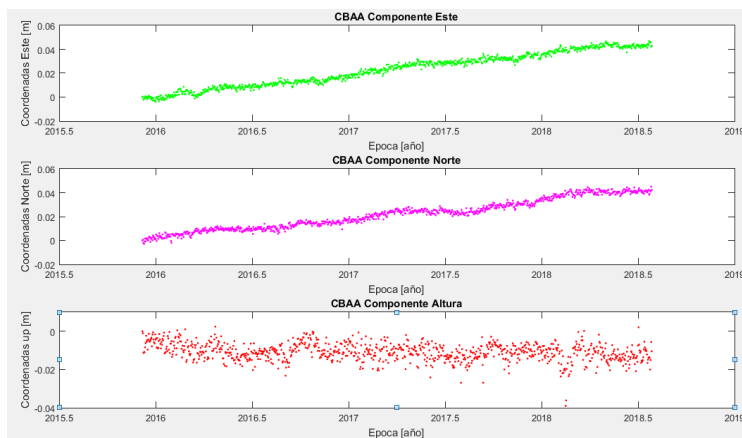
Año	RMS(m)
2015	0.018
2016	0.010
2017	0.010

4. Propuesta actual

Cálculo de trayectorias sobre RED PRIMARIA PARA ACTUALIZAR ÉPOCA RED SECUNDARIA

5. Homogenización de época sobre puntos pasivos de la red SERNAGEOMIN:

- Cálculo y análisis de series temporales 2015-2018.
- Verificación de coordenadas con PPP.



4. Propuesta actual

Cálculo de trayectorias sobre RED PRIMARIA PARA ACTUALIZAR ÉPOCA RED SECUNDARIA

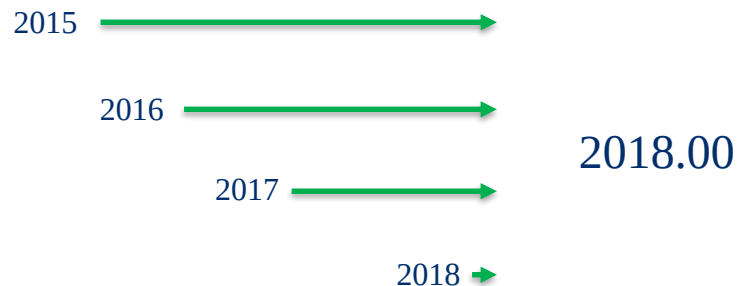
5. Homogenización de época sobre puntos pasivos de la red SERNAGEOMIN:

- Cálculo y análisis de series temporales 2015-2018.
- Verificación de coordenadas con PPP.

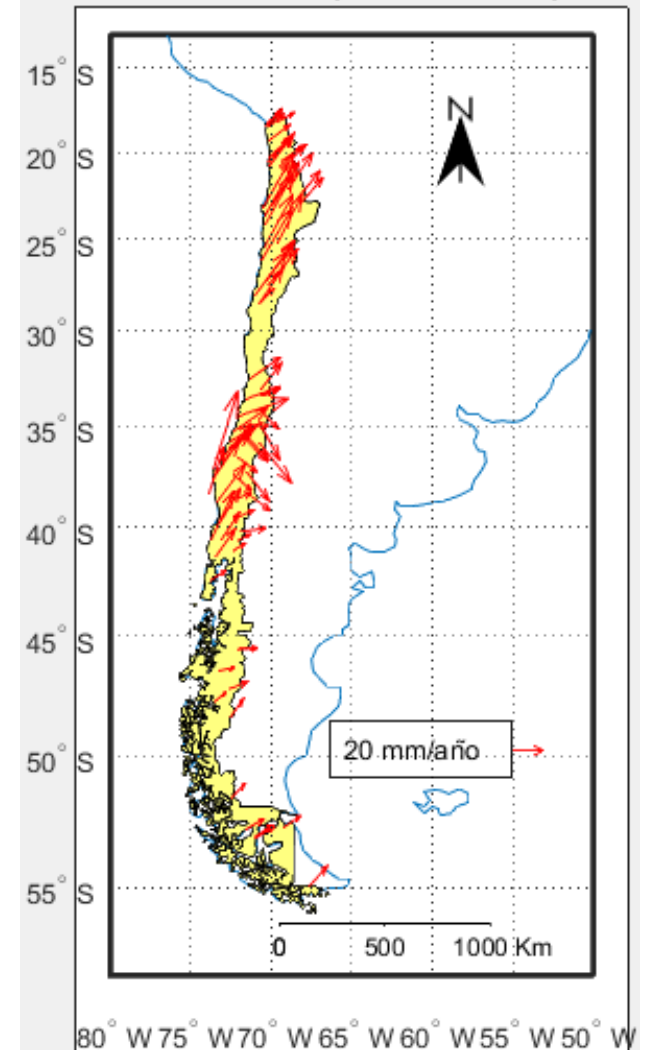
Traslado de Coordenadas de puntos Fiduciales a época de observación desde época de Referencia.



Procesamiento y posterior traslado a época de referencia.

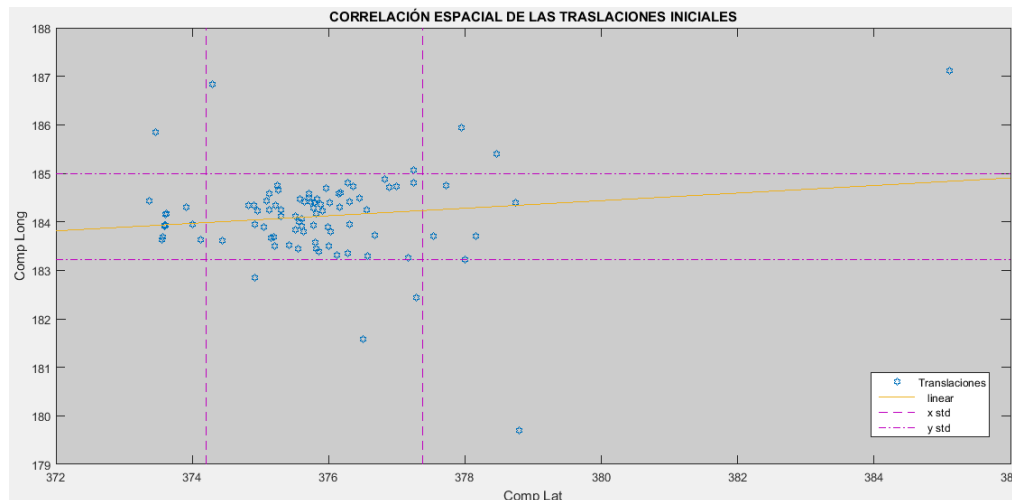
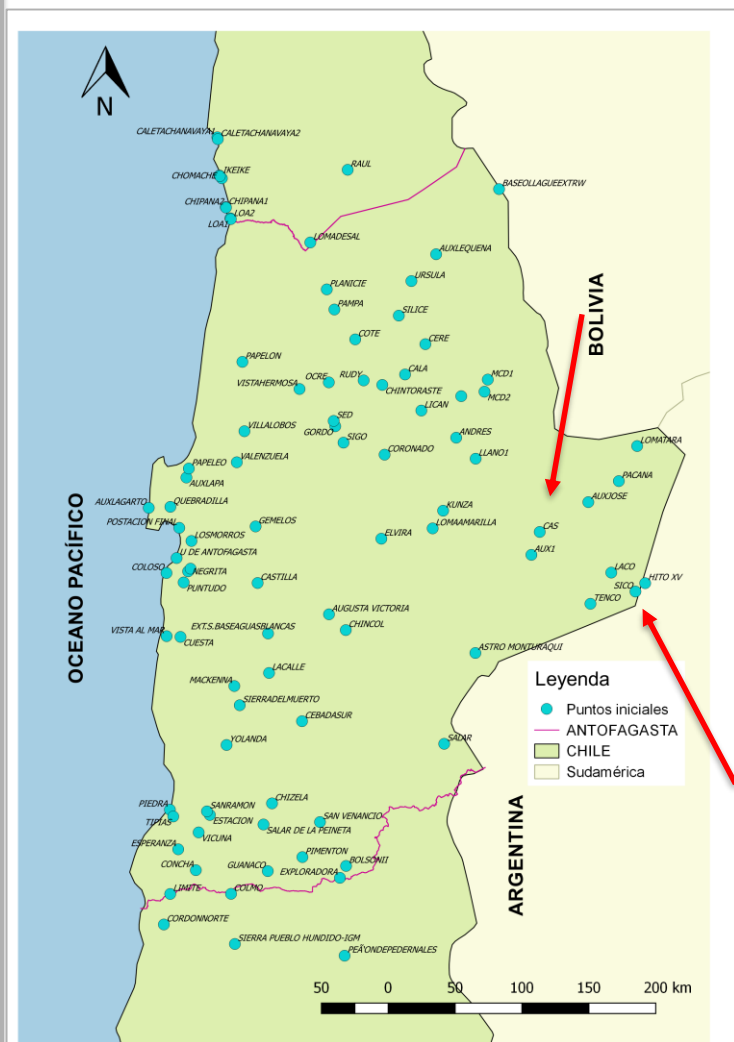


Vectores Vel 20-Sep-2015 a 20-Sep-2018



4. Propuesta actual

Cálculo de la mejor transformación conforme



Se analizan errores groseros estudiando solamente traslaciones $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$.

Se detectan dos puntos con Errores groseros en PSAD56:

SICO y AUX1

Residuos	RMS(m)
σ_L	0.890
σ_ϕ	1.592

4. Propuesta actual

Cálculo de la mejor transformación conforme



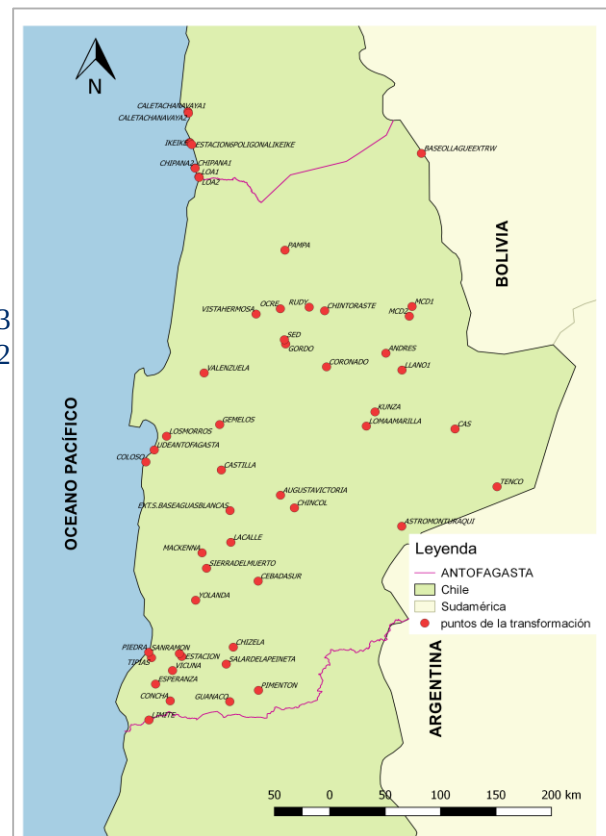
Estadísticos

3D

ECM 3D	1.04779
ECM H	0.64571
ECM V	0.82518
Desviación Estándar	0.61820

Se eliminan puntos hasta quedar con 53 válidos para emplear, evaluando 2 transformaciones:

- H3D.
- H2D+1D.



Estadísticos

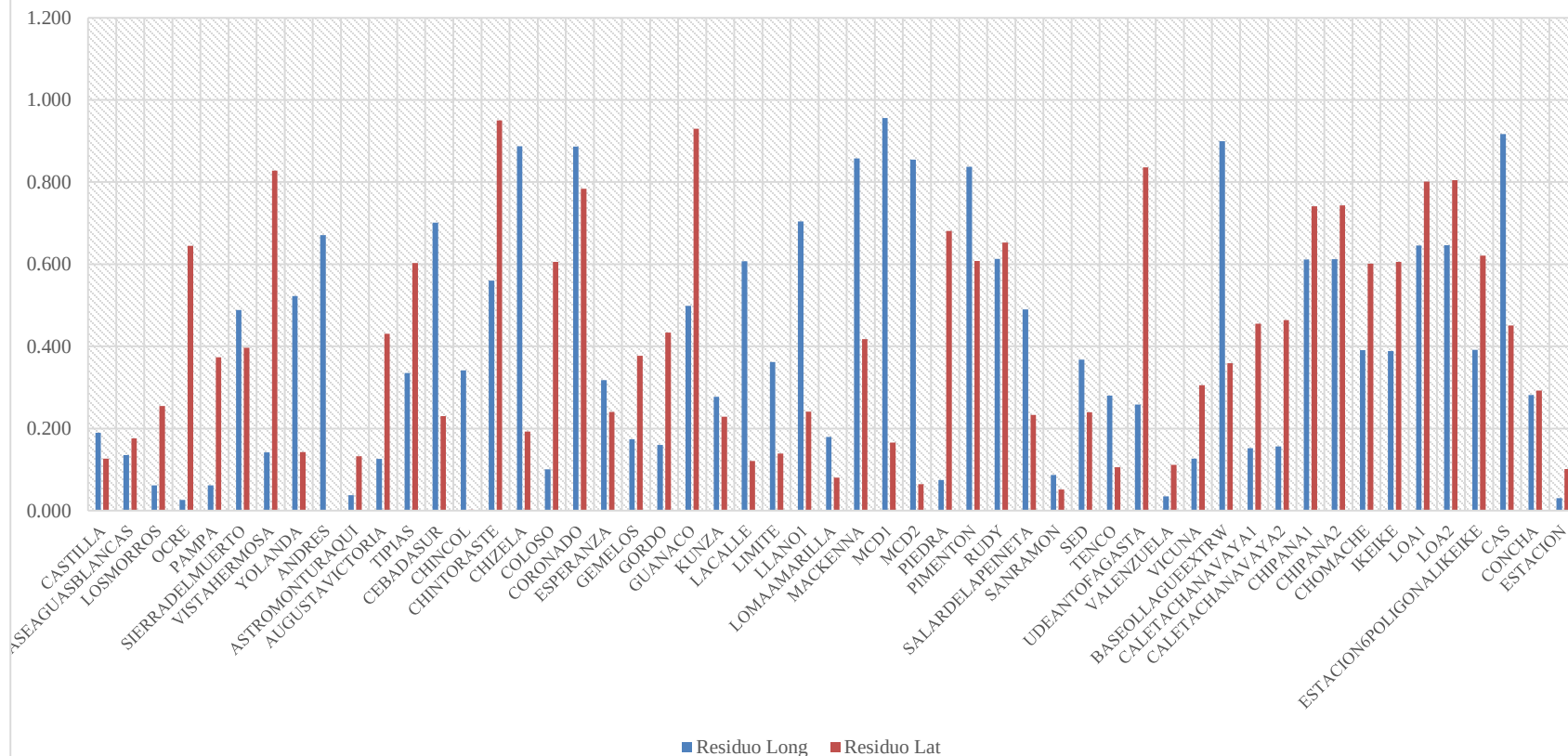
2D+1D

ECM 3D	0.81551
ECM H	0.67781
ECM V	0.45345
Desviación Estándar	0.48558

4. Propuesta actual

Calculo de parámetros de transformación

Transformación Conforme n=53

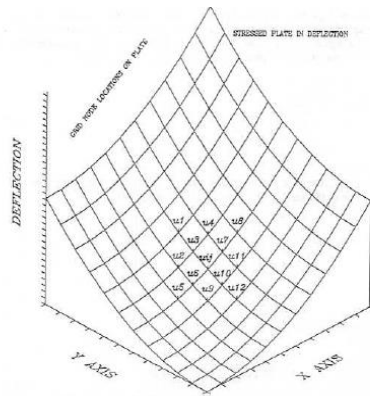


Residuos	RMS(m)	Max(m)	Min(x)
σ_λ	0.500	0.955	-0.887
σ_φ	0.484	0.955	-0.804

4. Propuesta actual

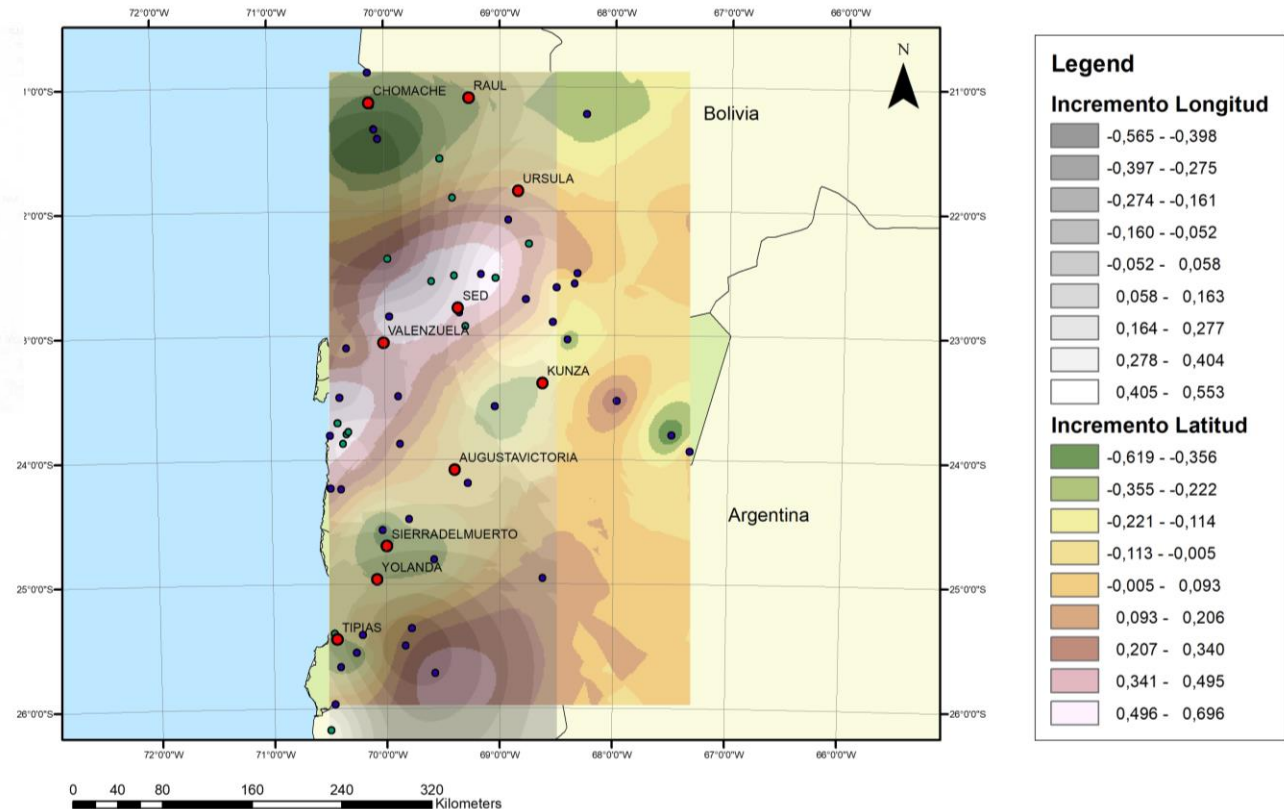
Aplicación de Transformación y Modelado de Residuos mediante SMC

Este método de interpolación trata de producir la superficie continua de mínima curvatura sobre la cual todos los puntos de observación están anclados. El método de la mínima curvatura está inspirada por el principio de las reglas flexibles (“thin plates”) en las cuales la presión ejercida en un punto dado produce una reacción (deformación) que afecta un ambiente local determinado por ciertos puntos fijos o fronteras.



$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \frac{2\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P}{D}$$

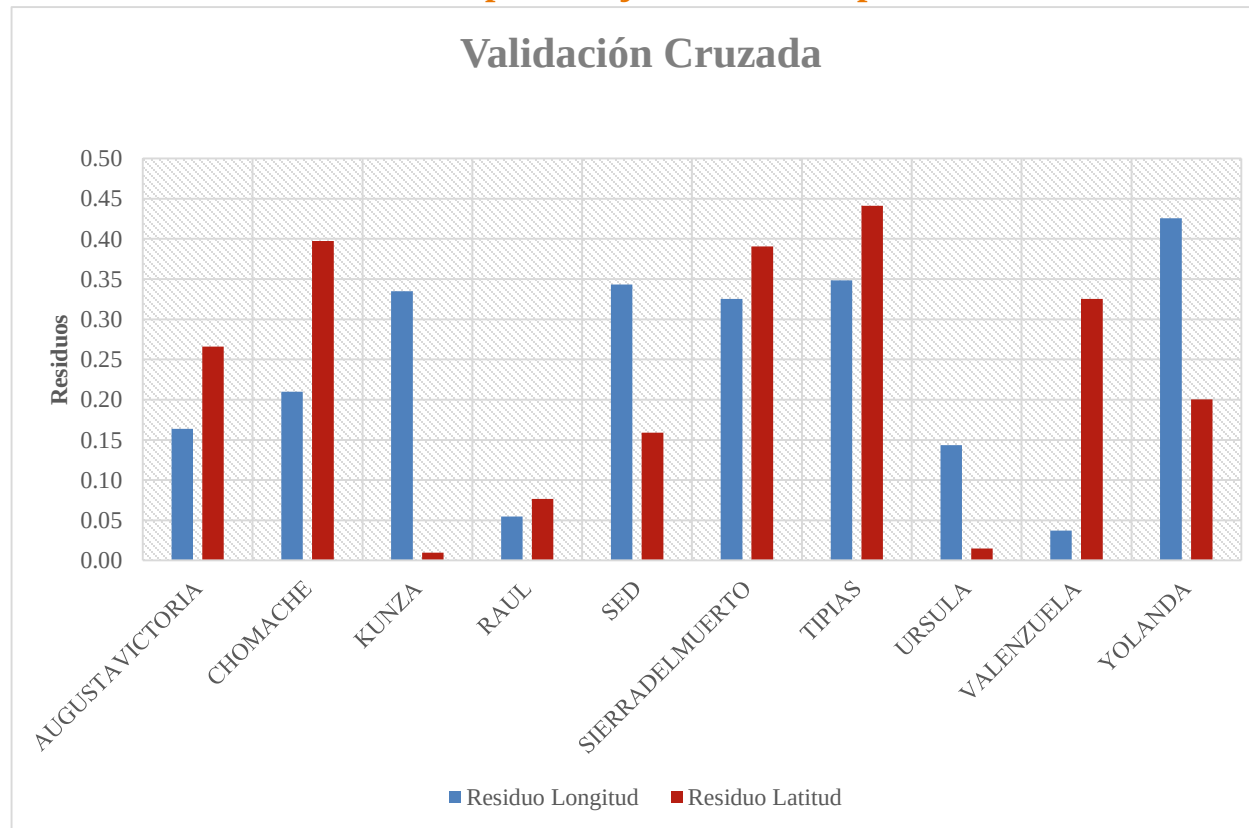
D se conoce como la rigidez a la flexión, P la fuerza y w el desplazamiento, siendo $P=0$ para los puntos que no sean dato



4. Propuesta actual

Validación Cruzada

6. Se realiza una validación cruzada con puntos ajenos a todo el proceso:



Residuos	RMS(m)	Max(m)	Min(m)
σ_λ	0.270	0.343	-0.425
σ_φ	0.321	0.325	-0.441

5. Aplicación

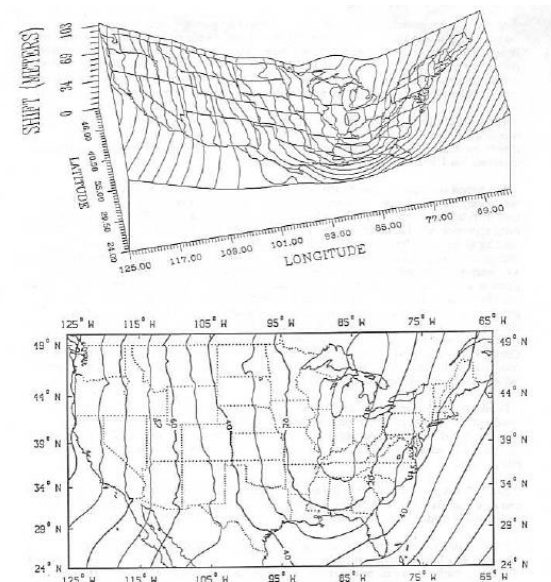
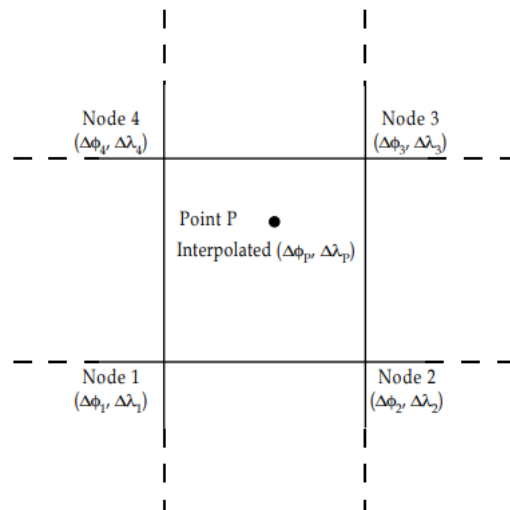
Difusión del cálculo

Formato de difusión de la Información:

- Australiano y Canadiense: NTV2(National Transformation v2) Regilla en formato binario de desplazamiento “binary grid shift” *.gsd.

<http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925#ntv2>

- Norteamericano: NADCOM (North American Datum CONversión)



6. Conclusiones

¿Soluciona la metodología el problema del SERNAGEOMIN?

Sí, aunque es recomendable aumentar la cantidad de puntos hacia la frontera con Argentina y Bolivia, probando con más puntos y analizando otros modelos como LSC, y Rubber Shetting.

¿Cómo se debe realizar el cambio?

Progresivamente (*si se está empleado Datum clásico*) en un año.

¿Cuándo se debe realizar el cambio?

Ahora mismo, geodésicamente el empleo de PSAD56 es una generación de problemática para las concesiones en Chile.

¿Qué datos deben ser los empleados como doble juego?

Doble juego de puntos en PSAD56 y SIRGAS, idealmente de las red original en el caso del SGR clásico.

¿Qué pasa con los puntos fuera de tolerancia?

Se deben dejar de comercializar, para evitar errores groseros, mientras se realiza la transición. Como puntos fiduciales solo se deben emplear los ya calculados.



- NGS-50, NOAA Technical Memorandum NOS. The application of Minimum-curvature-derive surface in the transformation of positional data from NAD27 to NAD83 . 1990.
- Collier, P. A., D. J. Mitchell, y F. J. Leahy. Development of a GDA94 transformation grid for Melbourne and environs. Melbourne: Department of Geomatics, The University of Melbourne, 1998.
- Regidor Gutiérrez, Jose, Juan Francisco Prieto Morin, José Manuel Sanz Mejía, y Rafael y Barbadillo Fernández, Antonio Quirós Donate. «Proyecto REGENTE. Una nueva Red Geodésica Nacional.» Topografía y Cartografía. ISSN 0212-9280. (Universidad Complutense de Madrid) XVIII , nº 105 (2001): pp. 3-11.
- Tobita, Mikio. «Datum transformation software TKY2JGD from Tokyo datum to a Geocentric Reference System.» IUGG. Sapporo, 2003.
- You, Rey-Jer, y Hwa-Wei Hwang. «Coordinate Transformation between Two Geodetic Datums of Taiwan by Least-Square Collocation.» Journal of Surveying Engineering , 2006
- Hofmann-Wellenhof, Bernhard, y Helmut Moritz. Physical Geodesy; Second Edition. Graz: SpringerWien NewYork, 2006.
- González Matesanz, Francisco Javier, y José Antonio Malpica. «Quasi-conformal mapping with genetic algorithms applied to.» Computers & Geosciences, 2006: 1432-1441.
- Hofmann-Wellenhof. GNSS Global Navigation Satellite Systems. Austria: Springer, 2008
- ISO, Instituto Nacional de Normalización. Norma Chilena Nch ISO19111-2011. Santiago de Chile, 2011.
- Drewes, Hermann, y Laura Sánchez. Curso en Sistema de Referencia. Santiago de Chile: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut - DGFI, 2011.
- Matesanz, Francisco Javier González. Transformaciones entre Sistemas Geodésicos de Referencia. 2012.
- Zedan Khalaf, Abbas, y Ghydaa A. Abdul-Rehman. «Datum Transformation with the Minimum Curvature Surface Interpolation Approach.» Eng. &Tech.Journal,, 2015.
- http://spatialservices.finance.nsw.gov.au/surveying/geodesy/gda/transformation_methods
- <https://www.ordnancesurvey.co.uk/gps/transformation/>
- ftp://ftp.geodesia.ign.es/documentos/Cambio_ETRS89/
- http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/06_Maturana_Chile.pdf



UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE

Consultas

jose.tarrio@usach.cl

rodrigo.urrutia@sernageomin.cl

Muchas gracias





UNIVERSIDAD
DE SANTIAGO
DE CHILE



Transición de PSAD56 a SIRGAS en el datum de minería de Chile mediante Modelos de Distorsión

Dr. José Antonio Tarrío Mosquera¹, Bernardo Barraza¹, Karina Salinas¹, Gonzalo Lira¹, Ing. Rodrigo Urrutia²

¹Universidad de Santiago de Chile

²Servicio Nacional de Geología y Minería(SERNAGEOMIN), Ministerio de Minería de Chile

Simposio SIRGAS 2018, 9-12 de octubre de 2018, Aguascalientes, México