



CÓMO

CENTRO DE EXCELENCIA GEODÉSICO MUNDIAL DE LAS NACIONES UNIDAS

MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFERENCIA
GEOESPACIAL
TALLER DE DESARROLLO DE CAPACIDADES

Parámetros de transformación, modelos de
movimiento de las placas y modelos de deformación

Nicholas Brown
Jefe de oficina, UN-GGCE

Día 3, Sesión 1 [3_1_1]

Resumen

- Una transformación de coordenadas se refiere al cambio de las coordenadas de un punto definido en un sistema de referencia a otro diferente (por ejemplo, de XYZ en ITRF1996 a XYZ en ITRF2020).
- Una transformación geodésica común es la conocida como transformación de 7 parámetros, que incluye:
 - 3 x Vector de traslación: El desplazamiento del origen del sistema
 - 3 x Ángulos de rotación: Ángulo de rotación de un sistema con respecto a otro.
 - 1 x Escala: Redimensionamiento debido a las diferentes escalas a lo largo del eje de coordenadas.
- Para desarrollar una transformación de 7 parámetros entre dos marcos de referencia diferentes, es necesario conocer las coordenadas cartesianas centradas en la Tierra (es decir, XYZ), en ambos marcos en una serie de puntos.
- Cuando una transformación de 7 parámetros no es suficiente para alcanzar la precisión requerida, puede ser necesario un modelo de deformación 1D, 2D o 3D.



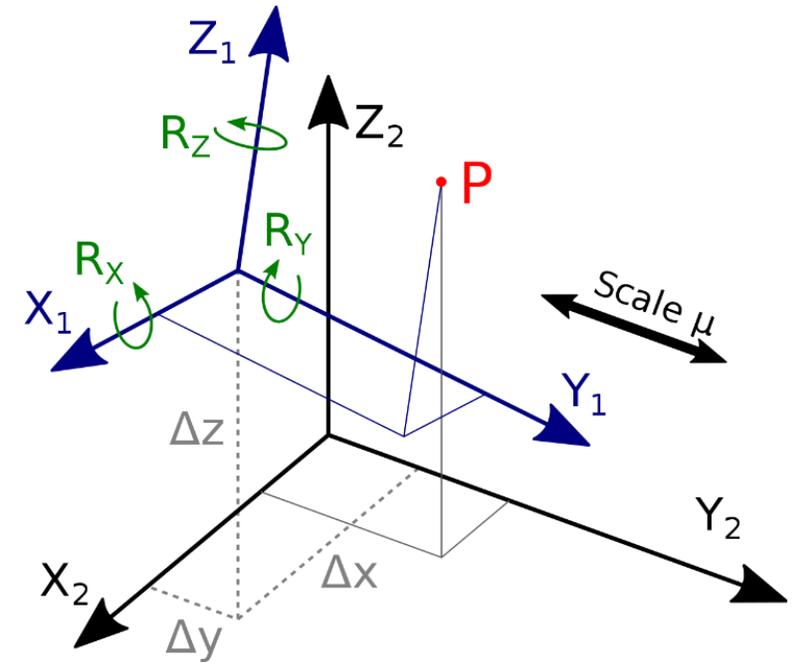
Diferentes marcos de referencia

Variedad de marcos de referencia

- Diferentes escalas: mundial, regional, nacional, local
- Diferentes finalidades: técnica, científica, catastral
- Deterioro a lo largo del tiempo debido a la dinámica de la Tierra
- Evolución tecnológica: mayor precisión

Transformación de coordenadas

- Transformación (cambio) de las coordenadas de un punto definido en un marco de referencia a un marco de referencia diferente (por ejemplo, de XYZ en ITRF1996 a XYZ en ITRF2020).
- Los parámetros de transformación geodésica más comunes son:
 - Vector de traslación: El desplazamiento del origen del sistema
 - Ángulos de rotación: Ángulo de rotación de un sistema con respecto a otro.
 - Escala: Redimensionamiento debido a las diferentes escalas a lo largo del eje de coordenadas.



Transformación de coordenadas

Ecuación de transformación de Helmert

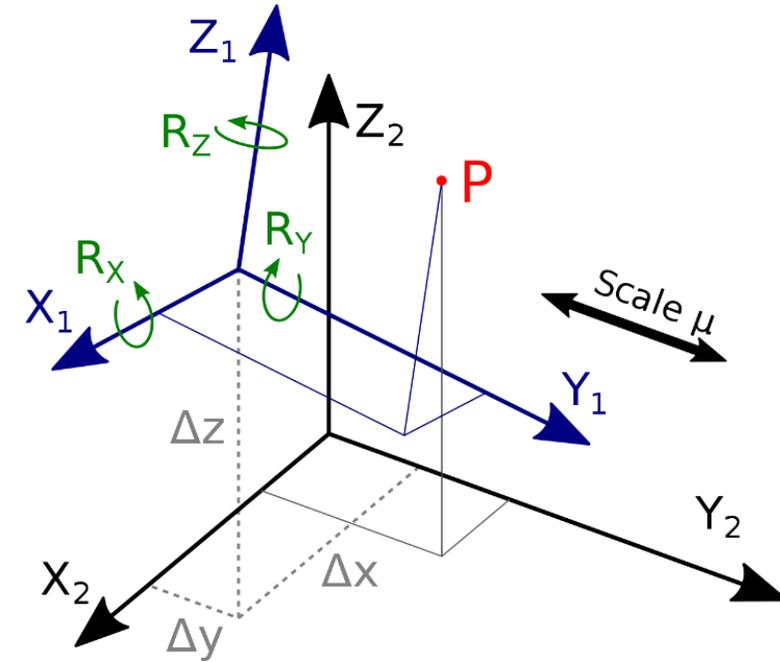
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^B = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \mu \cdot \begin{bmatrix} 1 & r_z & -r_y \\ -r_z & 1 & r_x \\ r_y & -r_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}^A$$

Nuevas
Coordenadas

Coordenadas
Originales

7 parámetros de transformación

- Traslación (3)
- Rotación (3)
- Escala (1)



MÁS
FUERTES.
JUNTOS

Transformación de coordenadas

Datum estático



Nuevo datum
geocéntrico estático



transformación de 7
parámetros

Datum estático



Datum geodésico
estático antiguo

Transformación

**Conexión entre
dos datums diferentes**

**Caso práctico: mejora de la gestión de las alturas (ITRF1992 e ITRF2020 tienen una diferencia de 9 cm en la altura elipsoidal).*



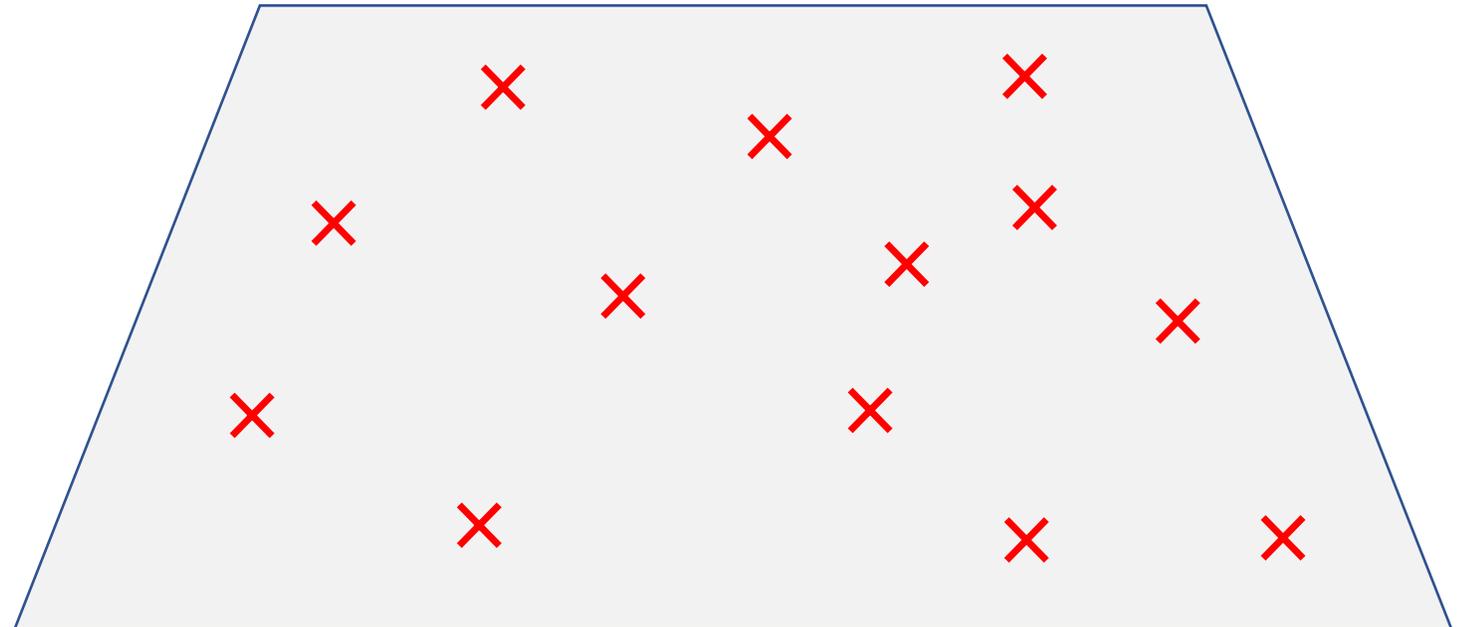
**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Parámetros de transformación

- Estimación de los parámetros de transformación
- Puntos comunes en los datums estáticos ANTIGUOS y NUEVOS (mínimo tres puntos)
- Inversión de la ecuación de la transformación de Helmert

Ejemplo

✗ - Marcador en el datum estático antiguo



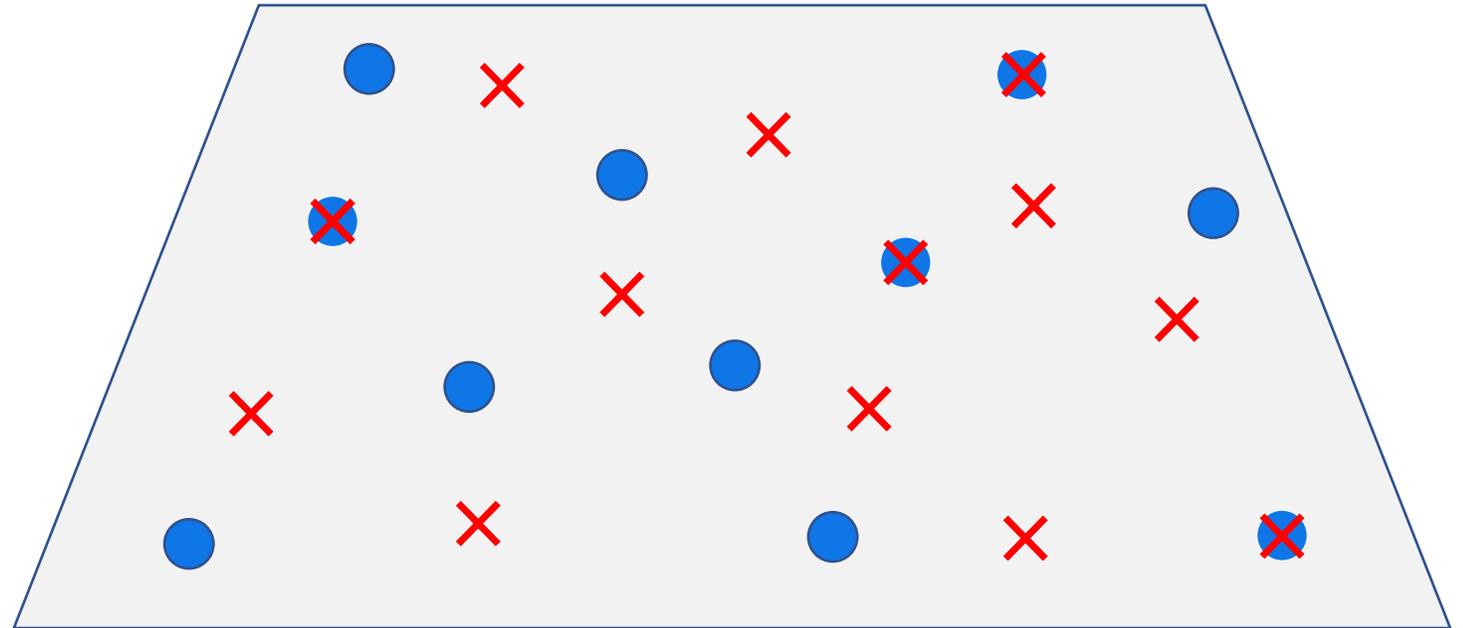
**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Parámetros de transformación

- Estimación de los parámetros de transformación
- Puntos comunes en los datums estáticos ANTIGUOS y NUEVOS (mínimo tres puntos)
- Inversión de la ecuación de la transformación de Helmert

Ejemplo

- ✗ - Marcador en el datum estático antiguo
- - Marcador en el datum estático nuevo



Transformación de coordenadas

Coordenadas originales

Latitud, Longitud, ell. Altura



Coordenadas cartesianas (X,Y,Z)



Transformación mediante
parámetros

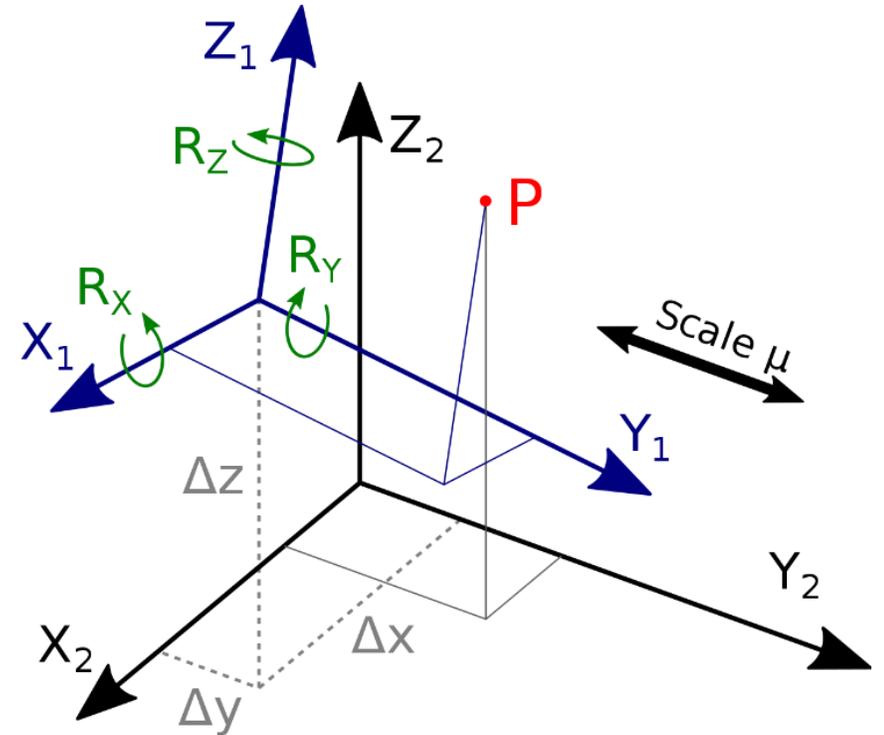


Coordenadas cartesianas (X,Y,Z)



Nuevas coordenadas

Latitud, Longitud, ell. Altura



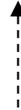
MÁS
FUERTES.
JUNTOS

Transformación de coordenadas (con deformación)

Datum estático



Nuevo datum
geocéntrico estático



transformación de 7
parámetros

+modelo de
deformación



Datum estático



Datum geodésico
estático antiguo

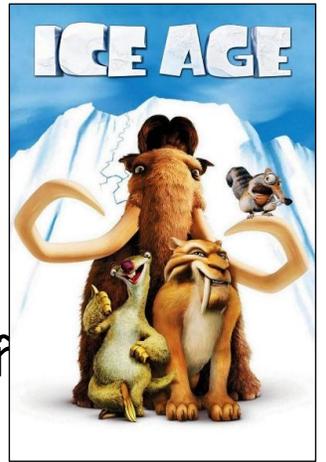
Transformación + Deformación

Conexión entre
dos datums diferentes



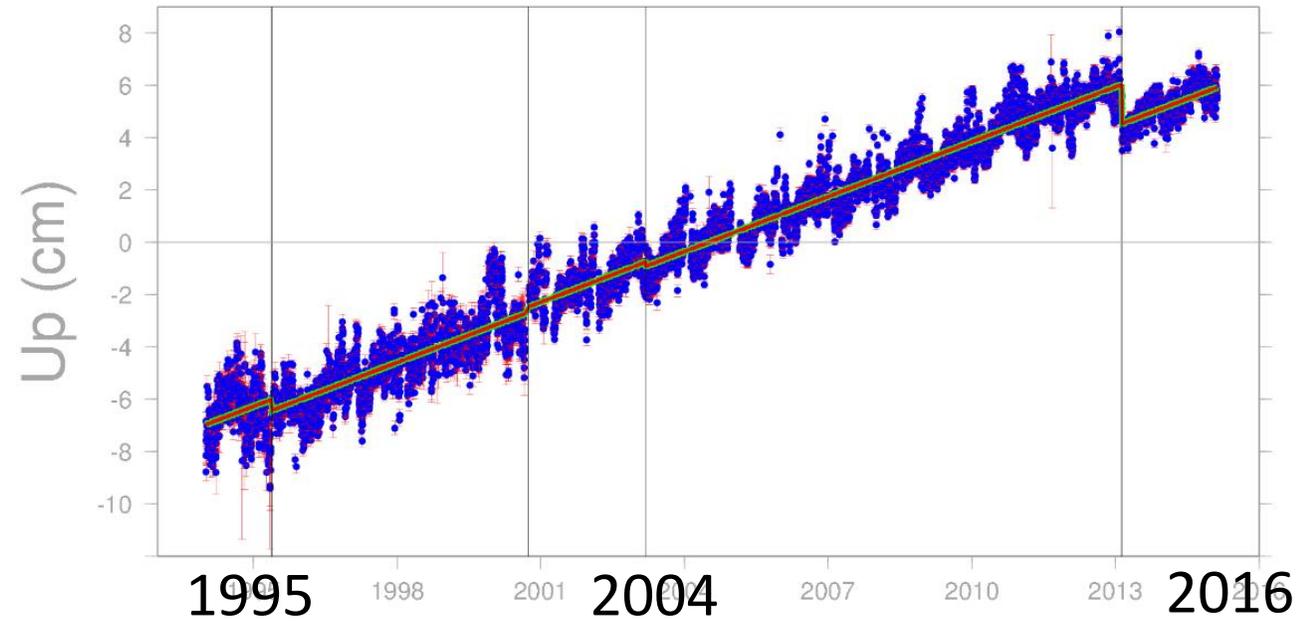
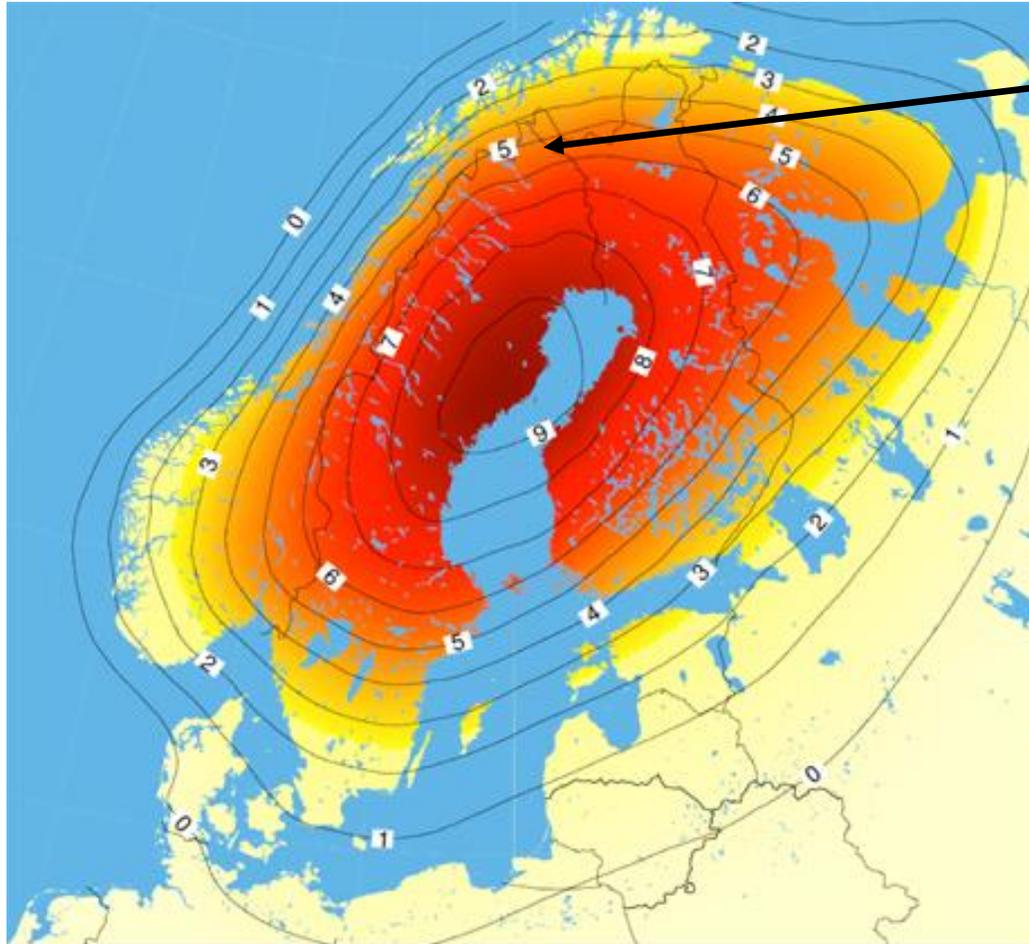
MÁS
FUERTES.
JUNTOS

Deformación 1D (Elevación postglacial del terreno)



Estación GNSS Kiruna

Elevación del terreno 7 mm / año

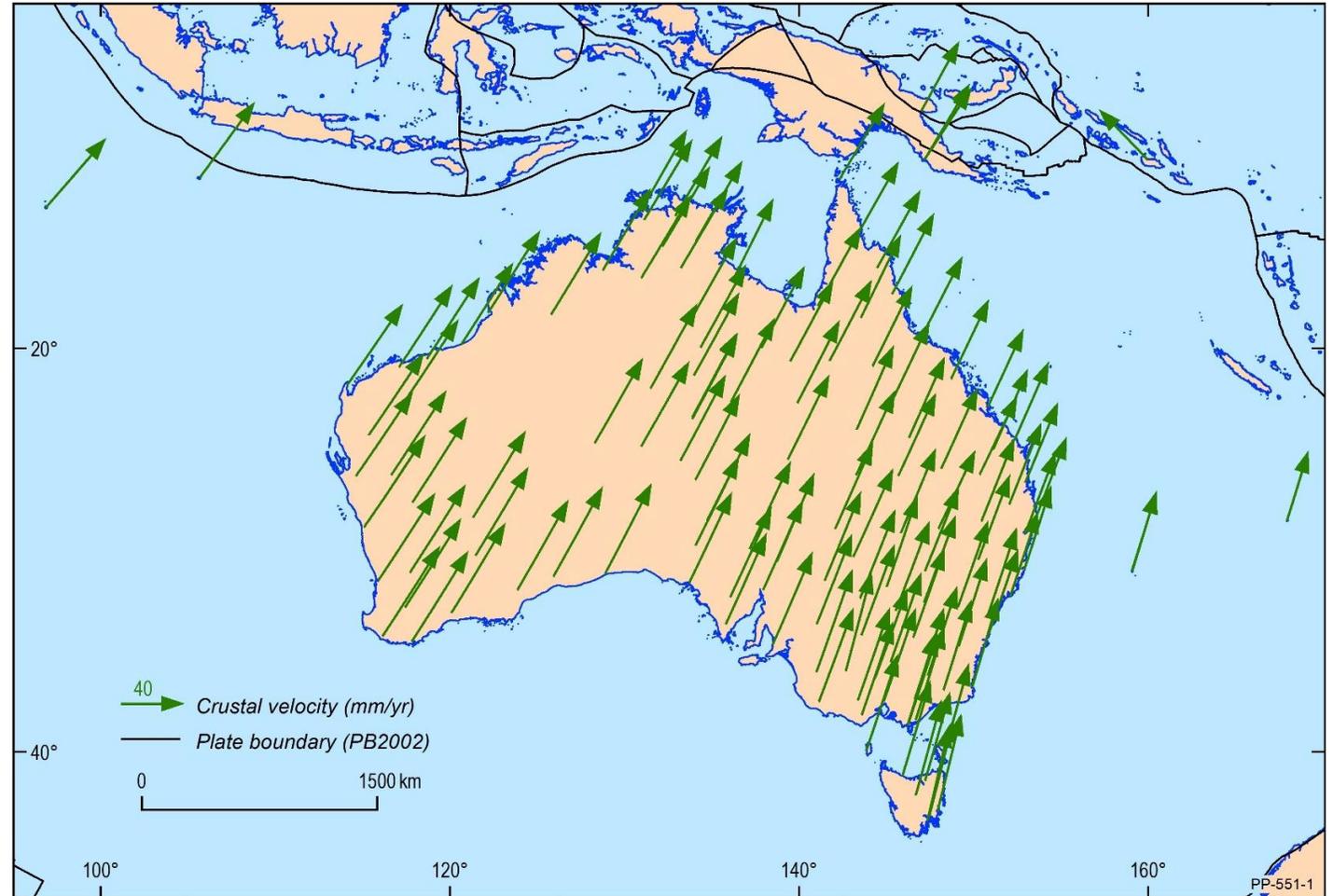


**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Deformación 2D

Movimiento secular

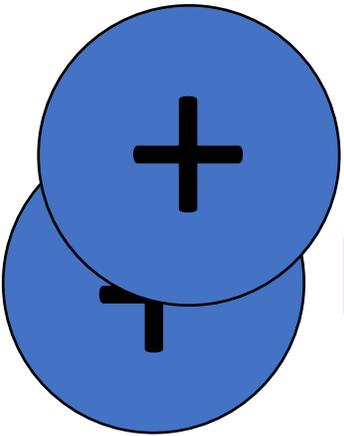
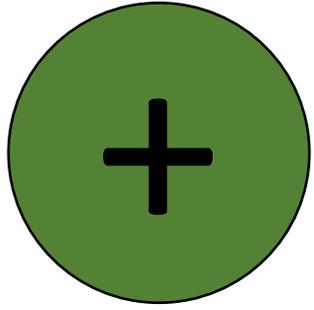
- Australia es la placa continental que se desplaza más rápidamente (~7 cm/año NNE)
- El GNSS proporciona coordenadas en ITRF (posición actual de la placa australiana)
- Los usuarios verían un desajuste de ~1,8 m entre las posiciones GNSS y los conjuntos de datos espaciales (en GDA94).



Deformación 2D (Modelo de movimiento de placas)

- El continente australiano está relativamente libre de deformaciones y la deformación horizontal acumulada por los grandes terremotos es de $<0,2$ mm/año (Tregoning et al. 2013).
- El movimiento del continente puede modelizarse mediante una rotación en el sentido de las agujas del reloj alrededor de un polo de Euler. La velocidad instantánea de esta rotación resulta en lo que parece ser un movimiento lineal de ~ 7 cm/año en dirección norte-noreste, con lugares más alejados del polo moviéndose más rápido que los más cercanos.
- El Modelo Australiano de Movimiento de Placas (PMM) se creó mediante el análisis de la solución APREF, que demostró que la estabilidad horizontal de las estaciones APREF es de 1 mm/año o menos.
- El PMM australiano puede utilizarse para propagar coordenadas entre ITRF2014 en cualquier época y GDA2020 (y viceversa).
- Versión más densa y precisa del modelo de velocidad ITRF2014 para Australia.

~7 cm / año



GDA2020 = ITRF2014@2020

Las coordenadas ITRF2014 son diferentes de las coordenadas ITRF1992 por ejemplo, las alturas tienen una diferencia de 9 cm.

¿Por qué no coinciden?

1. Cambios en el marco de referencia entre el ITRF1992 y la actualidad
2. Distorsiones locales (por ejemplo, hundimientos, terremotos)
3. Falta de rigor en el cálculo de las coordenadas GDA94

- Actualizaciones del ITRF: 1994, 1996, 1997, 2000, 2005, 2008, 2014.
- Cada una es una realización mejorada de la forma de la Tierra

transformación de 7 parámetros

ITRF1992@1995.0 (~7 cm NNE de 1994)

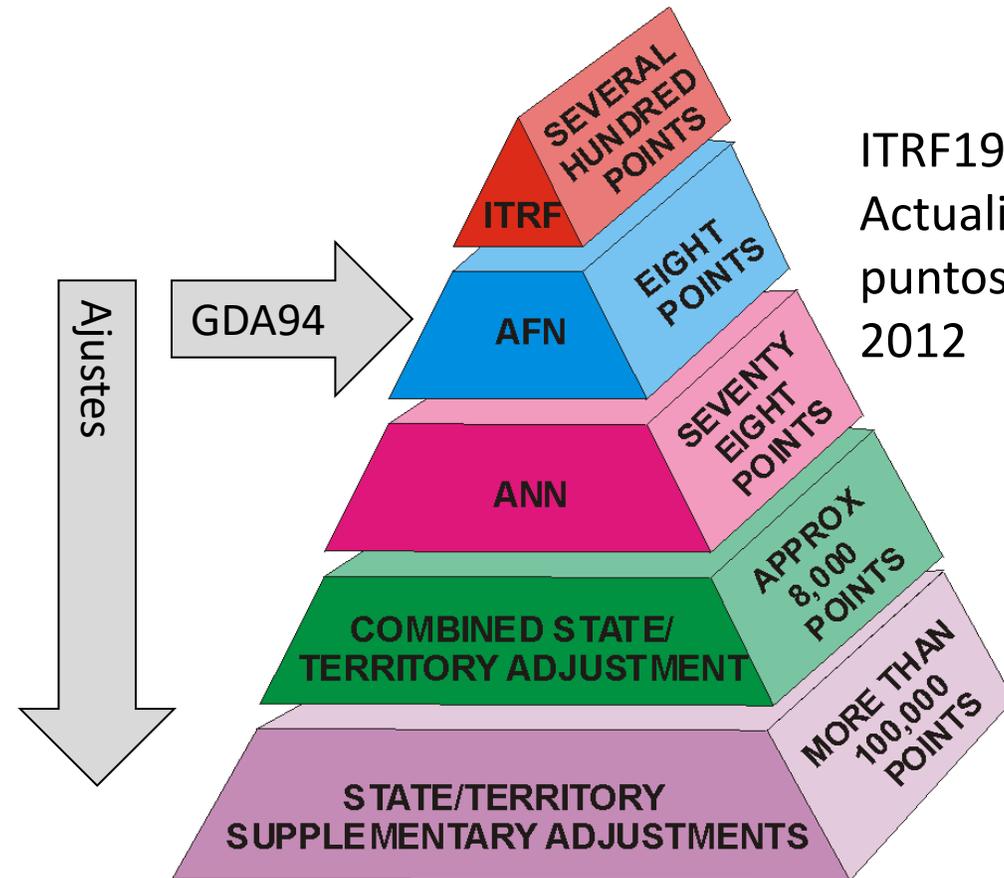
GDA94 = ITRF1992@1994.0



Deformación 2D

Distorsión en GDA94

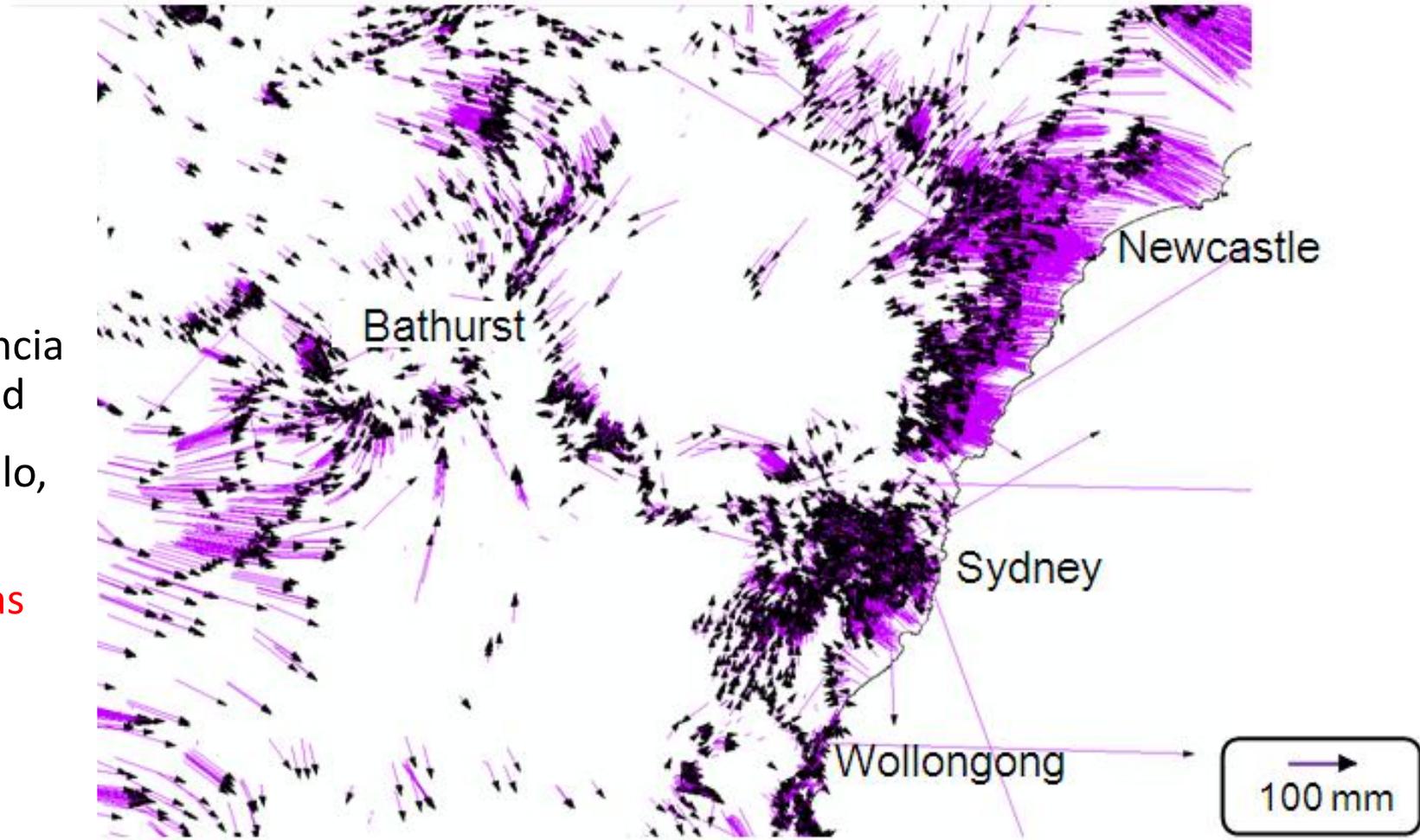
1. Cambios en el marco de referencia entre el ITRF1992 y la actualidad
2. Distorsiones locales (por ejemplo, hundimientos, terremotos)
3. **Falta de rigor en el cálculo de las coordenadas GDA94**



Deformación 2D

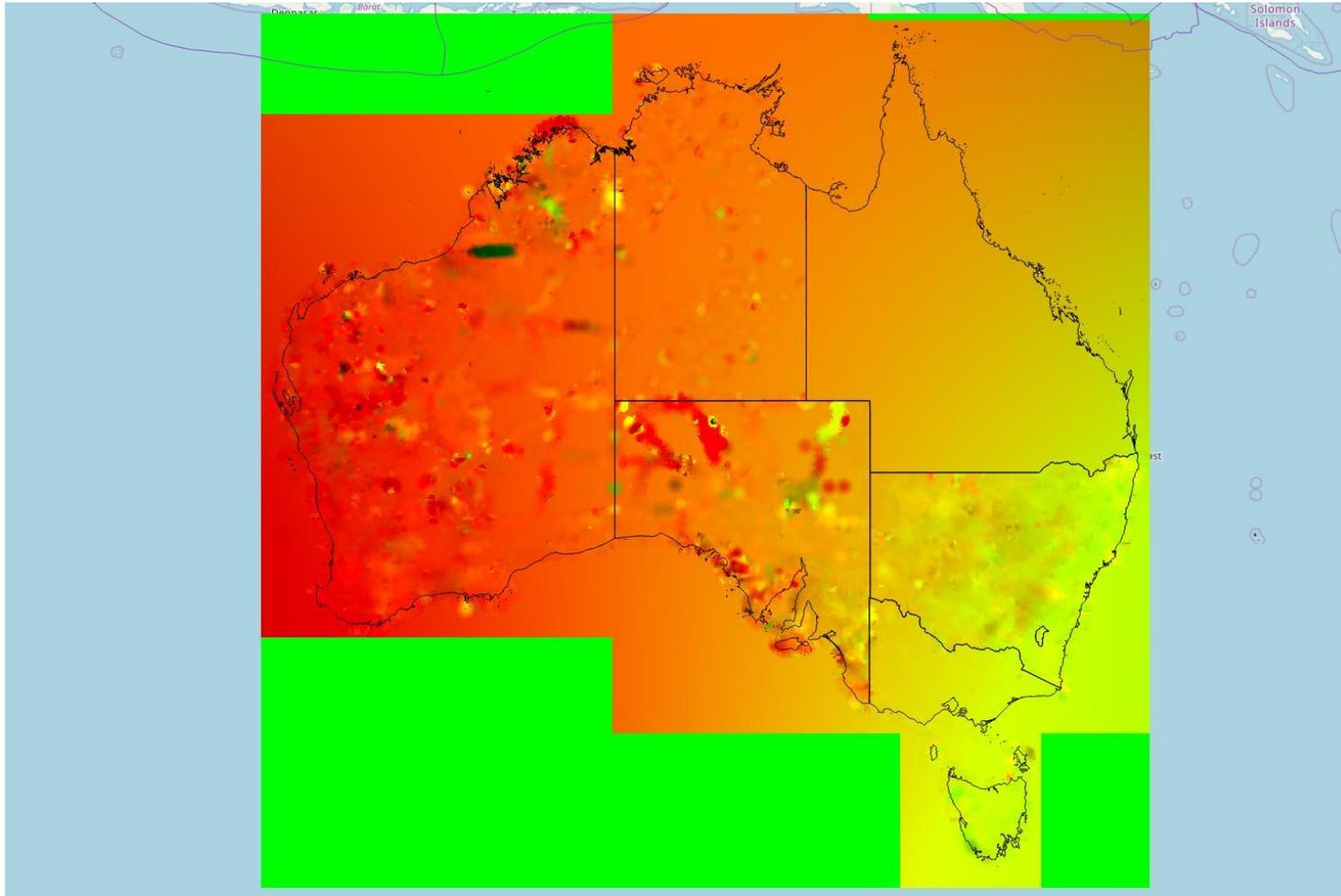
Distorsión en el Datum Geocéntrico de Australia 1994

1. Cambios en el marco de referencia entre el ITRF1992 y la actualidad
2. Distorsiones locales (por ejemplo, hundimientos, terremotos)
3. Falta de rigor en el cálculo de las coordenadas GDA94



Fuente: Joel Haasdyk y Tony Watson, LPI NSW, Conferencia APAS 2013.

Deformación 2D (Conformación + Cuadrícula de deformación)



Entrada:

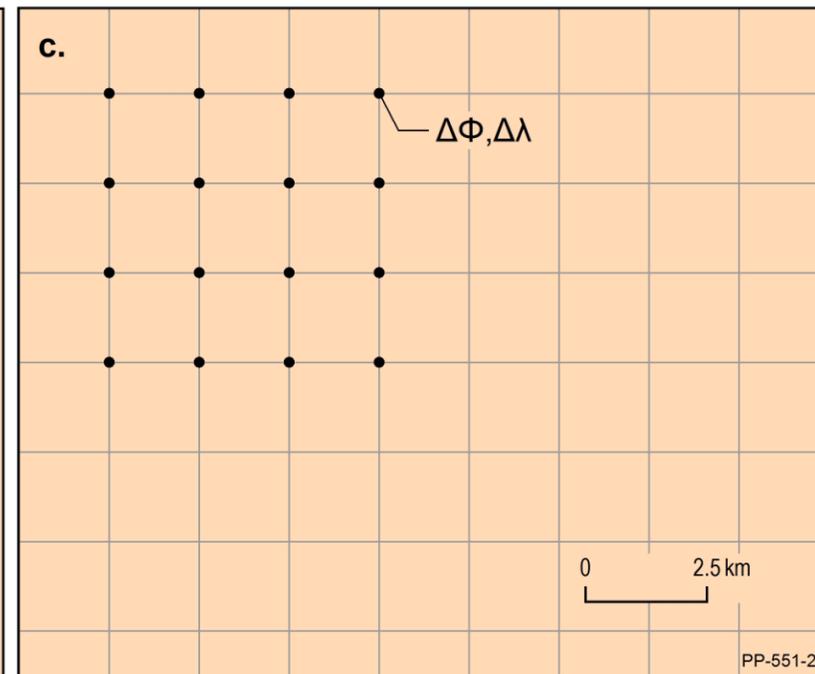
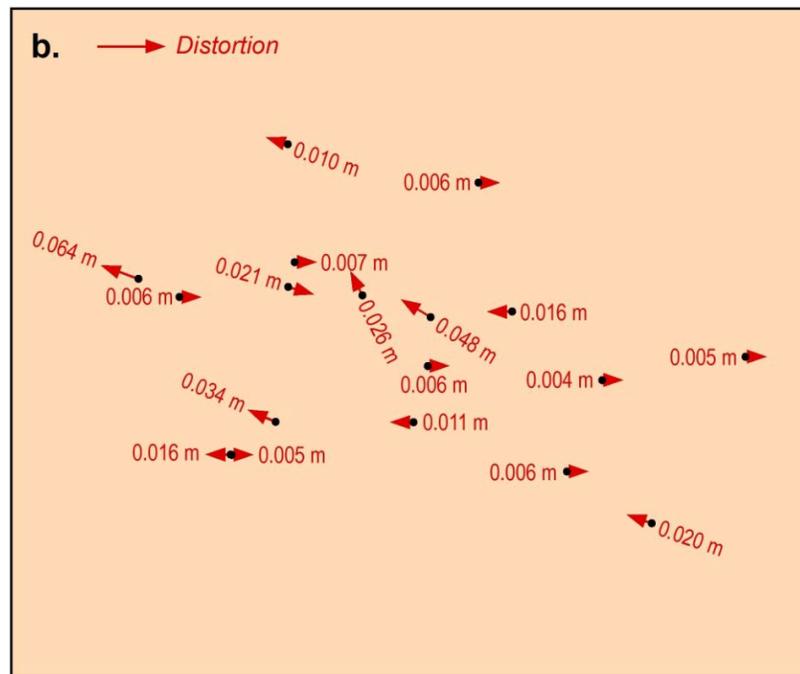
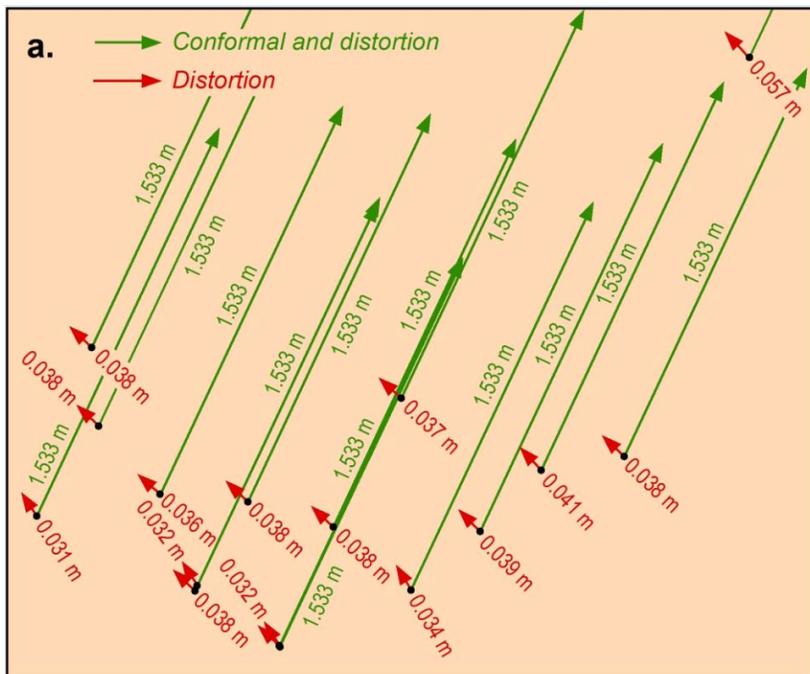
- Cuadrícula de conformación
- Marcas topográficas
 - Publicado GDA94
 - GDA2020 ajustado

Aplicación:

- 2D
- Datos alineados con la red de marcas de control topográfico

Cortesía de Alex Woods, DELWP

Deformación 2D (Conformación + Cuadrícula de deformación)



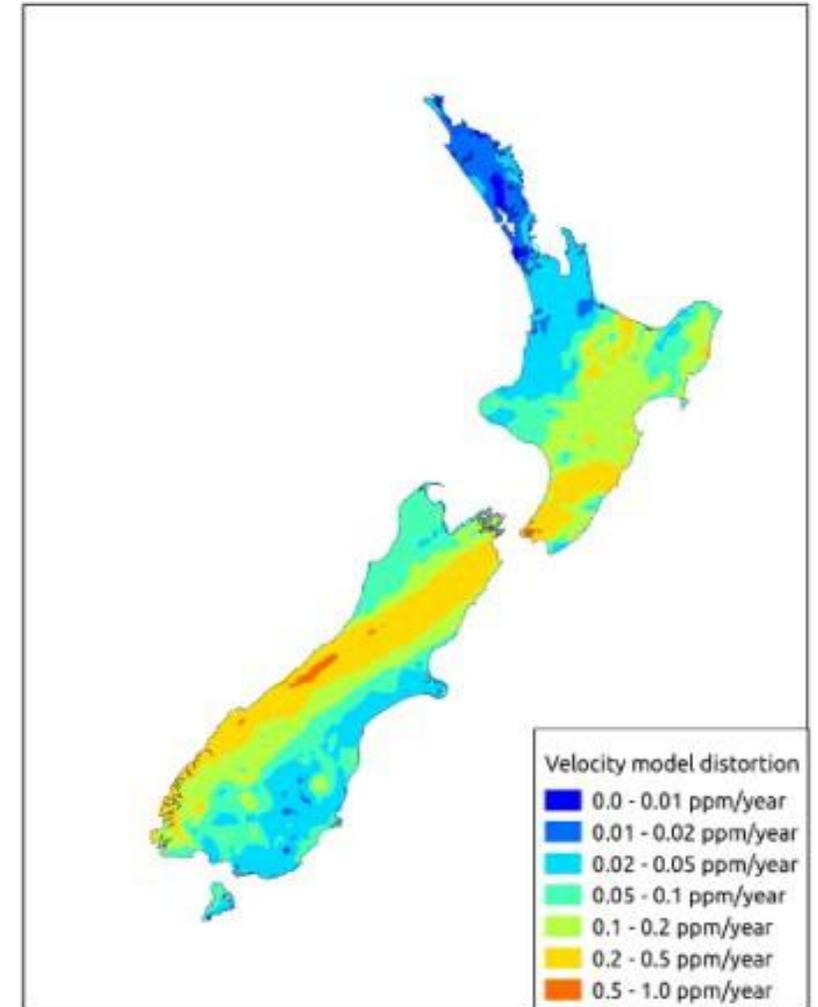
- componentes de conformación (verde) y distorsión (rojo) de las cuadrículas de transformación;
- baja fiabilidad del componente de distorsión;
- la cuadrícula tiene un componente de latitud y otro de longitud.

Deformación 3D

Se utilizan modelos de deformación para estimar:

- La deformación de la corteza terrestre, incluidos los movimientos tectónicos, las fallas y los terremotos.

Nueva Zelanda (NZGD2000) se define a través de su relación con ITRF mediante el modelo de deformación.



**MÁS
FUERTES.
JUNTOS**

Deformación 3D

	Patrón de retroceso	Patrón de avance
Descripción	Un patrón de retroceso corrige las coordenadas en el pasado para tener en cuenta la deformación que se ha producido desde una época de referencia específica.	Un patrón de avance proyecta las coordenadas hacia el futuro o las corrige al presente para reflejar la deformación en curso.
Propósito	Ajustar las coordenadas históricas (p. ej., datos topográficos recogidos hace años) para alinearlas con el marco de referencia moderno NZGD2000, que representa la superficie de la Tierra en una época de referencia específica (2000.0).	Ajustar las coordenadas actuales o pasadas para tener en cuenta el movimiento de la corteza que se producirá (o se ha producido) después de la época de referencia (2000.0) para alinearlas con su posición en el mundo real.
Escenario	Supongamos que las coordenadas se midieron en 2012. Para utilizarlas en el marco NZGD2000 tal y como era en 2000, se aplica un patrón de retroceso para "deshacer" el movimiento tectónico ocurrido entre 2000 y 2012.	Si hoy se realizara un estudio topográfico (por ejemplo, en 2025), las coordenadas necesitarían un patrón de avance para "predecir" el movimiento desde la época 2000.0.
Utilización	Suele aplicarse cuando se integran conjuntos de datos antiguos en un marco geodésico moderno o cuando se comparan datos históricos con coordenadas actuales.	Es esencial para aplicaciones como el posicionamiento GNSS en tiempo real, donde las coordenadas deben reflejar la superficie terrestre actual en lugar del marco de referencia 2000.0.

Recursos



GeodePy

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>



Australian Geospatial Reference System Compendium

Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping
Geodesy Working Group
16 August 2022

https://www.icsm.gov.au/sites/default/files/2022-08/AGRS_Compndium_20220816.pdf

Recursos: Servicios de transformación

GDA94 – GDA2020 Online Transformation Service

Purpose

The online transformation service (powered by FME) provides a reference standard that enables software developers and spatial professionals to transform their data from the Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA94) to the Geocentric Datum of Australia 2020 (GDA2020). Users can simply drag and drop files onto the page and receive an email with a link to download the output file.

Please note, this service is not intended to enable users to transform all their data from GDA94 to GDA2020; instead it aims to provide a method of checking systems and processes implemented by government or the spatial industry to ensure the transformation results are correct. The online transformation service accepts the following formats at this time: Shapefiles, CSV, ASCII Grid, GeoTIFF, ECW, JPEG2000, GeoJSON.

Drop
File(s)
Here

Allowed input file types

CSV Shapefile JPEG2000 GeoJSON GeoTIFF ASCII Grid ECW

Choice of Transformation

Three different transformations are provided for you to choose from:

- 7-parameter similarity
- Conformal
- Conformal and Distortion

<http://positioning.fsdg.org.au/>

<https://github.com/GeoscienceAustralia/GeodePy>

EUREF Permanent GNSS Network

ETRF/ITRF Coordinate Transformation Tool (ECTT)

On-line coordinate transformation between coordinates (position and velocity) expressed in any ETRFxx realizations of the European Terrestrial Reference System (ETRS89) and any ITRFyy realizations of the International Terrestrial Reference System (ITRS). In case output coordinates are requested at a different epoch than the provided input coordinates, it is mandatory to also input station velocities.

For transformations to and from the Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF), use ITRF. GTRF is aligned to current versions of the ITRF.

Explanation and examples are available from the following [tutorial](#). However, note that with the introduction of the most recent transformation tool (August 2022), this tutorial has become slightly outdated. If you use the ECTT tool, please cite [doi:10.24414/ROB-EUREF-ECTT](https://doi.org/10.24414/ROB-EUREF-ECTT).

Change epoch format: Decimal Year: YYYY.DD

INPUT

Frame: ETRF89 Epoch: 2000.00

TRANSFORM TO

Frame: ETRF89 Epoch: 2000.00

Transform

```
# Lines starting by # are treated as comments
# Fields (in decimal format) should be separated by at least one space
# --> Example without velocity ---
# Stationname (no space character) X[m] Y[m] Z[m] :
Station_1 4027894.006 307045.600 4919474.910
#
# --> Example with velocity ---
# Stationname (no space ch.) X[m] Y[m] Z[m] VX[m/yr] VY[m/yr] VZ[m/yr] :
Station_2 4027894.006 307045.600 4919474.910 0.01 0.2 0.03
```

https://www.epncb.oma.be/_productsservices/coord_trans/

Situación actual

- Actualización de la precisión del código GDA94-WGS84(genérico) EPSG (1150) de 1 m a 3 m
- Introducción de los códigos EPSG GDA94-GDA2020
- Introducción del código EPSG GDA2020-ITRF2014 (8049)

Futuro

- Debates con OGC+EPSG para reconocer WGS84 como dependiente del tiempo.

