

A new approach to surface gravity measurements in the Andes

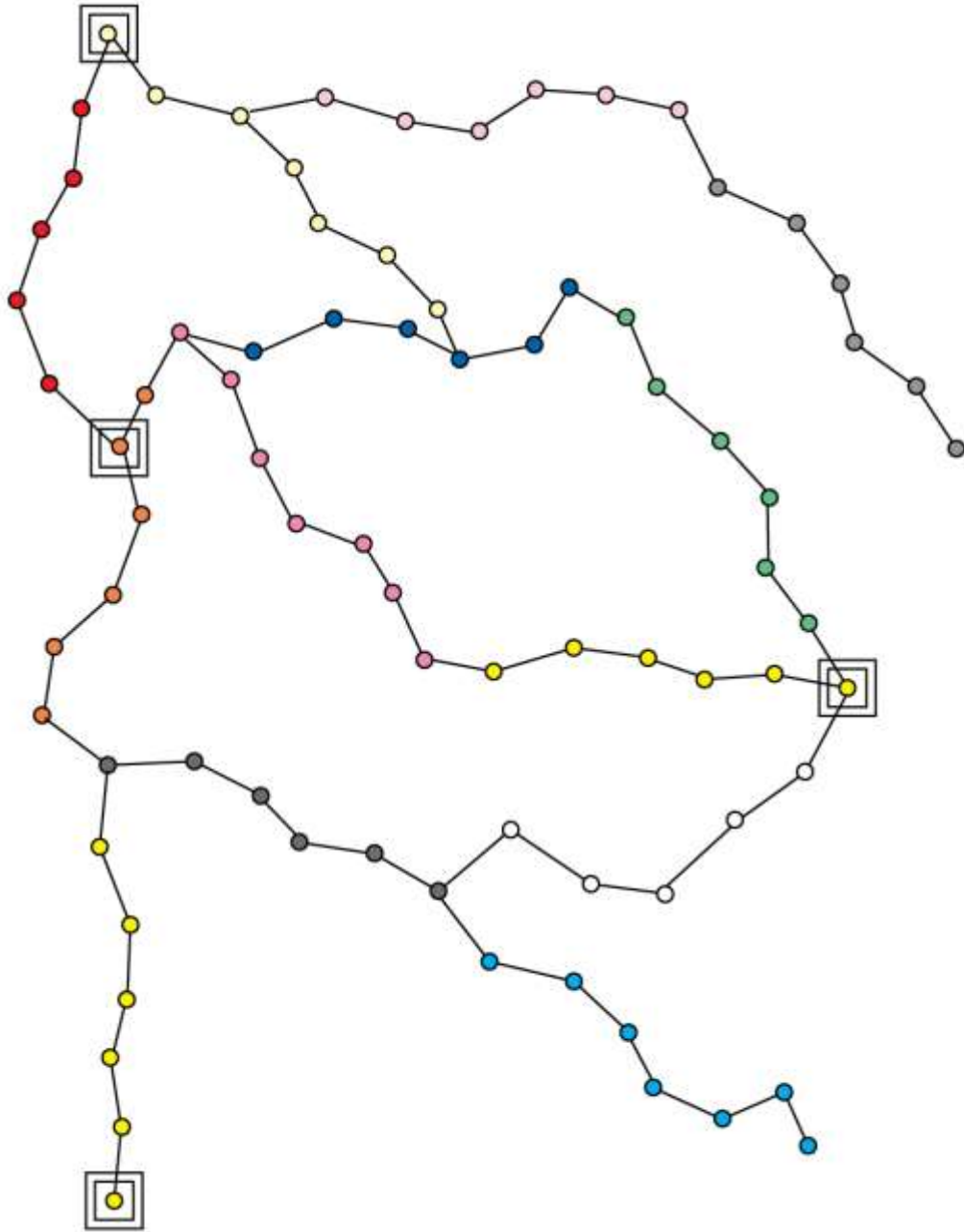


Michael Bevis, Arturo Echalar, Demián Gomez
Kevin Ahlgren and Jacob Heck



Medición de la gravedad superficial en los Andes:
Cómo es posible controlar su calidad?

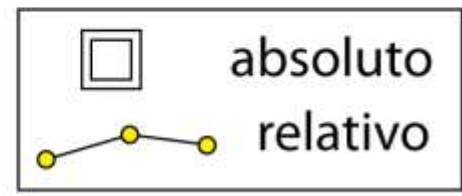




A surface gravity network is formed by combining a dense relative gravity network and a sparse absolute gravity network. As the network evolves it must be repeatedly adjusted in order to estimate the uncertainty in g at each station

Una red de gravedad consiste de una red dispersa de gravedad absoluta y una red densa de gravedad relativa.

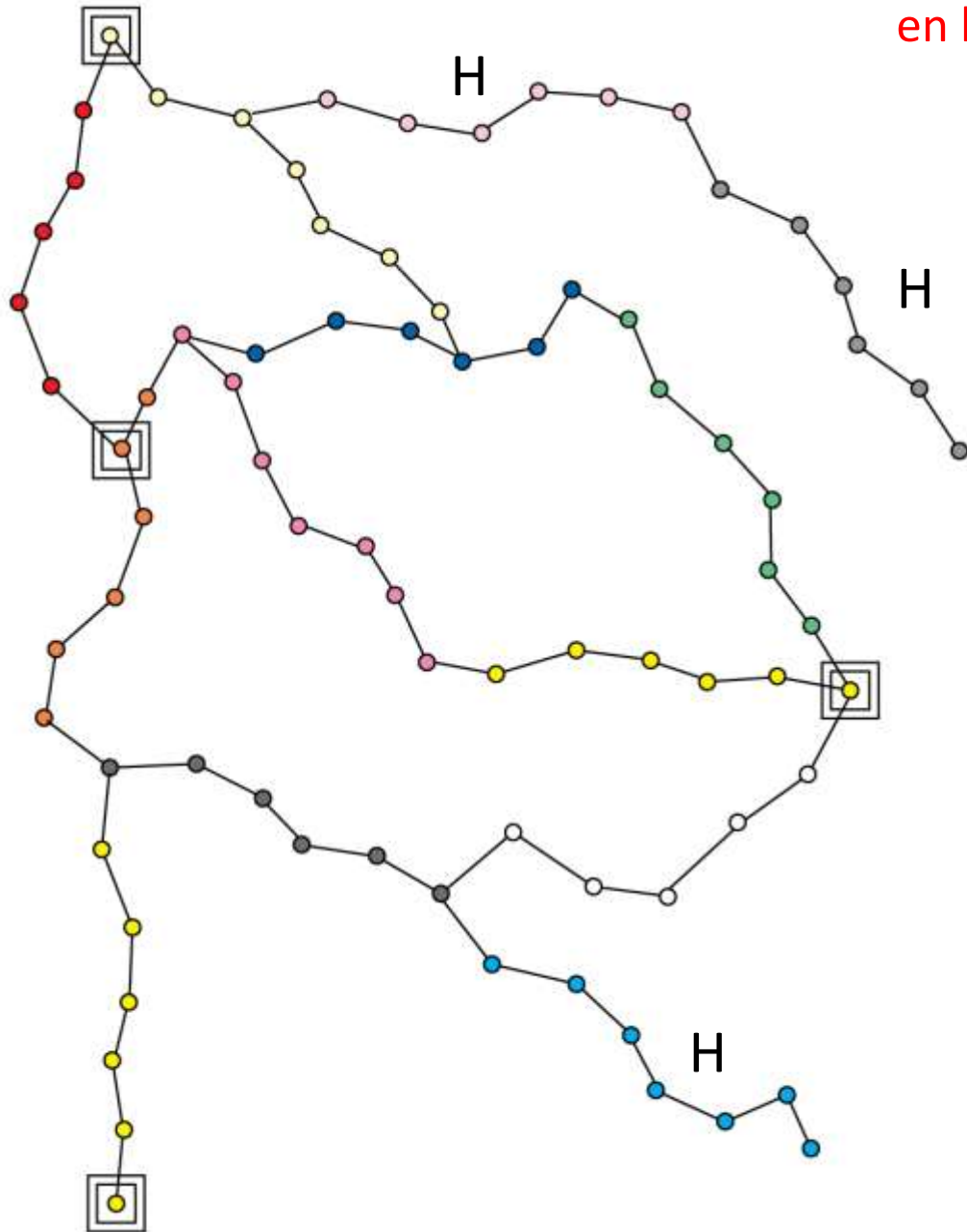
Durante la construcción de la red, es necesario ajustar la red cada 2 o 3 meses, para estimar la incertidumbre en la solución para g en cada estación.



En BOLIVIA
 15
 > 2000

EL OBJETIVO: mantener $\sigma_g < 0.5$ mgals en las estaciones *más debiles*

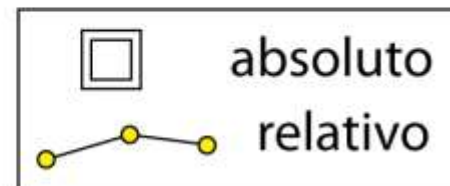
THE GOAL: keep $\sigma_g < 0.5$ mgals at the *weakest* stations.



The weakest station
In the network
La estación más debil

H = *una línea colgada*

H = a hanging survey line



EL OBJETIVO: mantener $\sigma_g < 0.5$ mgals
en las estaciones *más debiles*

THE GOAL: keep $\sigma_g < 0.5$ mgals
at the *weakest* stations.

This is not easy in Bolivia because:

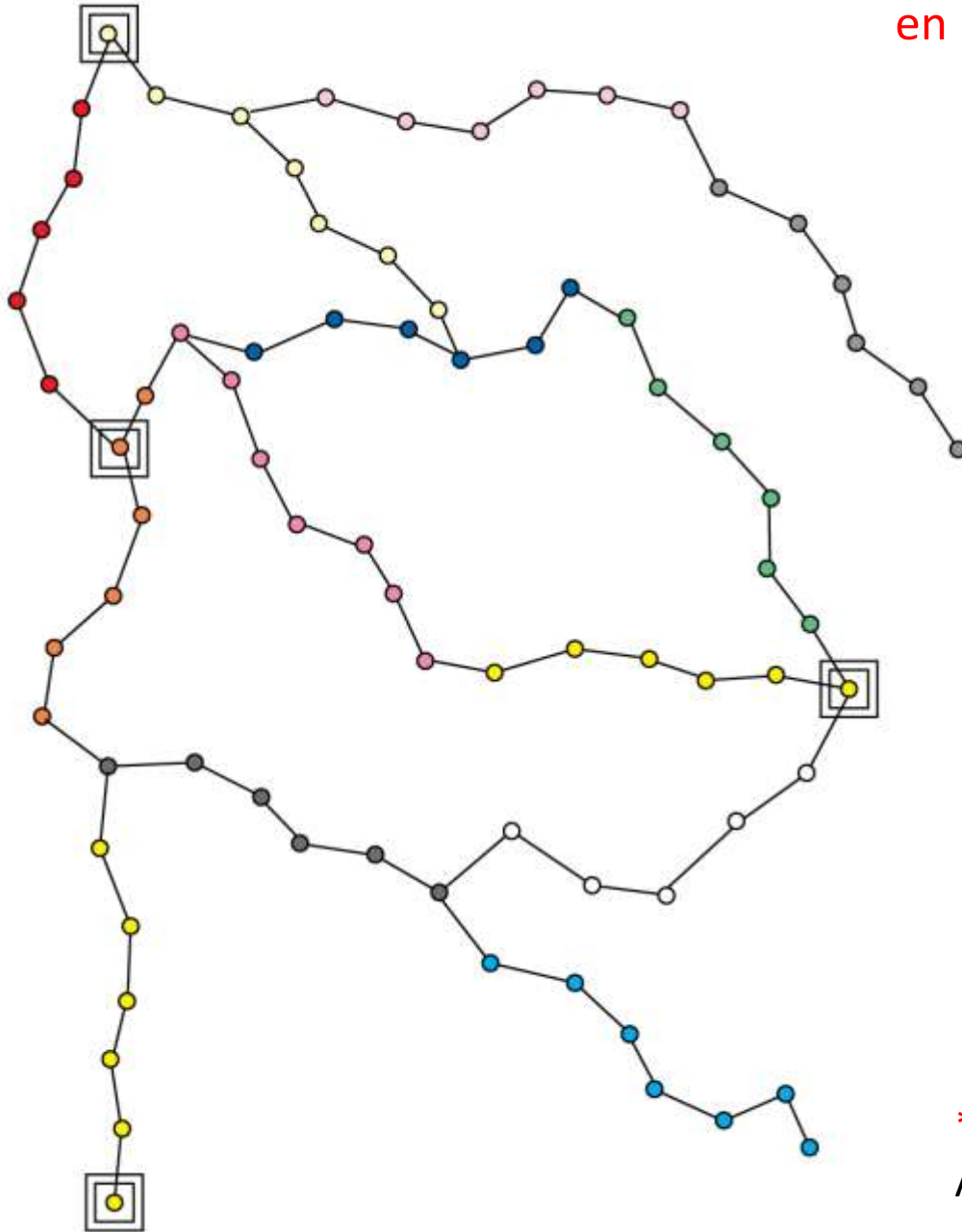
- the roads often very rough
- the roads often very slow *
- the gravimeters experience large changes in atmospheric pressure

Eso no es facil en Bolivia porque

- muchos caminos son muy malos
- muchos caminos son muy lentos *
- los gravímetros experimentan grandes cambios en la presión atmosférica

* Ejemplo:

Apolo – Sta Rosa, 40 km lineal, 7 horas



LaCoste & Romberg
Model G Gravimeter



This is a relative gravimeter used to measure the *difference* in gravity Δg_{ij} between stations i and j . It cannot measure the absolute value of gravity.

Este es un gravímetro relativo. Puede medir la *diferencia* en gravedad Δg_{ij} entre dos estaciones, i and j . No puede medir el valor absoluto de gravedad.

If a measurement (m) has an unknown but constant **bias** (b)

Si cada medida, m , tuviera un sesgo (error) constante, b

$$m_i = g_i + b$$

$$m_j = g_j + b$$



$$\Delta g_{ij} = g_j - g_i = (m_j - b) - (m_i - b)$$

$$\Delta g_{ij} = m_j - m_i$$

podríamos cancelar b
(por sustracción)

LaCoste & Romberg
Model G Gravimeter



This is a relative gravimeter used to measure the *difference* in gravity Δg_{ij} between stations i and j . It cannot measure the absolute value of gravity.

Es un gravímetro relativo. Puede medir la *diferencia* en gravedad Δg_{ij} entre dos estaciones, i and j . No puede medir el valor absoluto de gravedad.

If a measurement (m) has an unknown but constant bias (b)

Si cada medida, m , tuviera un sesgo (error) constante, b

$$m_i = g_i + b$$
$$m_j = g_j + b$$



$$\Delta g_{ij} = g_j - g_i = (m_j - b) - (m_i - b)$$

$$\Delta g_{ij} = m_j - m_i$$

podríamos cancelar b
(por sustracción)

BUT, there are two problems

- the bias (b) is slowly changing in time
- gravity tides

PERO, hay dos problemas

- el error (b) esta cambiando lentamente en el tiempo
- mareas de gravedad

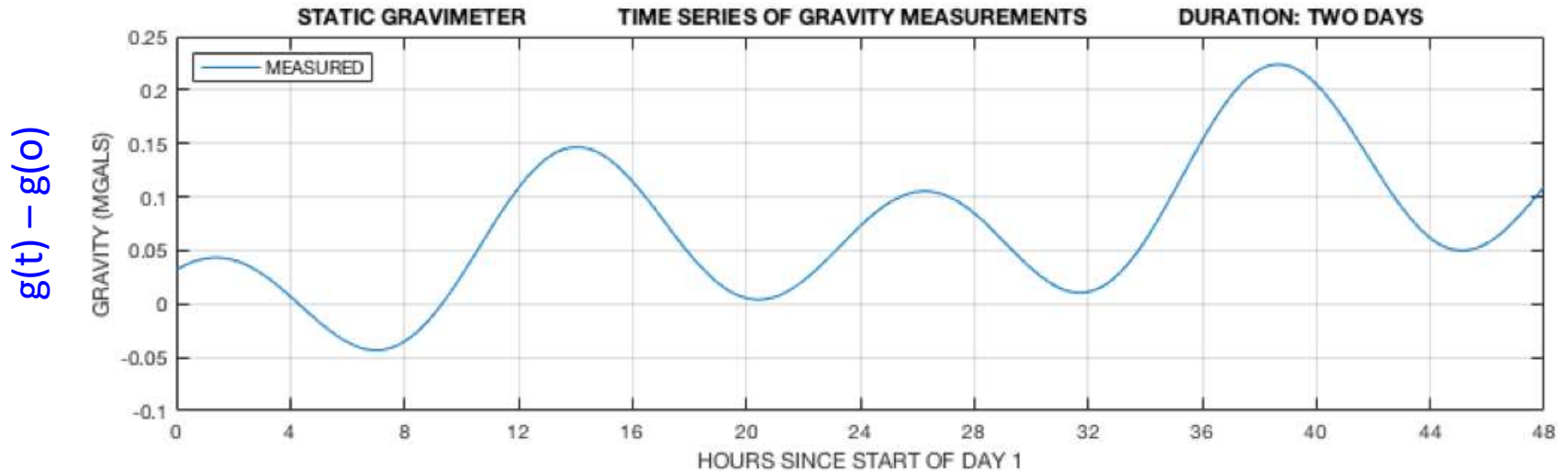
LaCoste & Romberg
Model G Gravimeter



A thought experiment

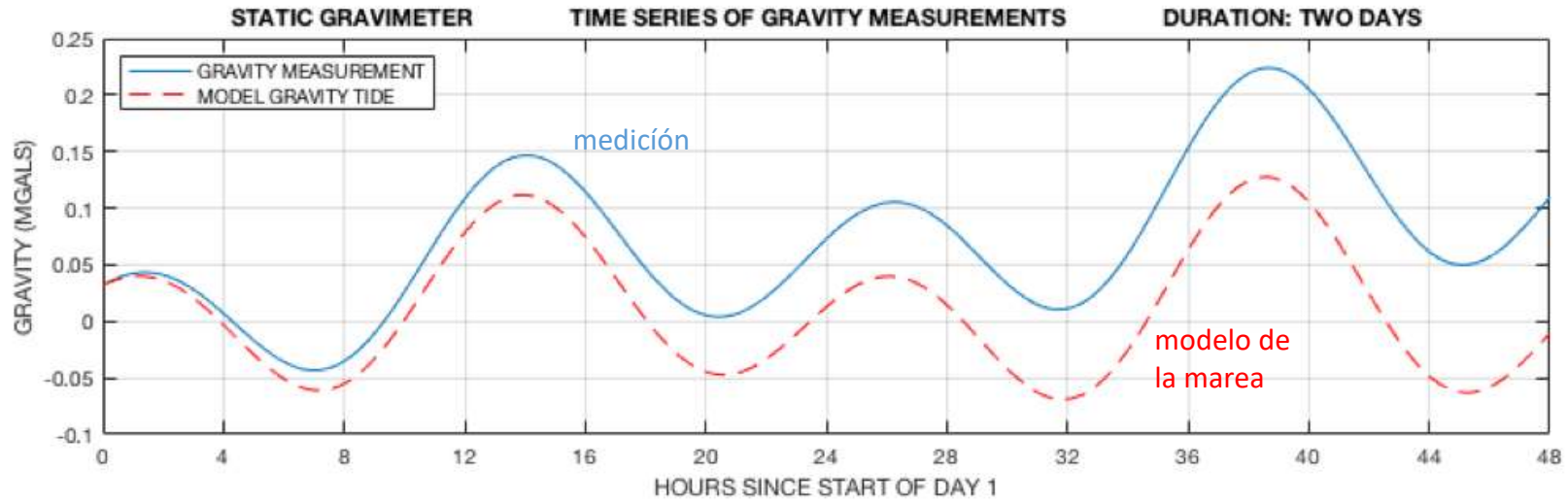
Un experimento mental

Un gravimetro estático que registra un serie de tiempo, $g(t)$



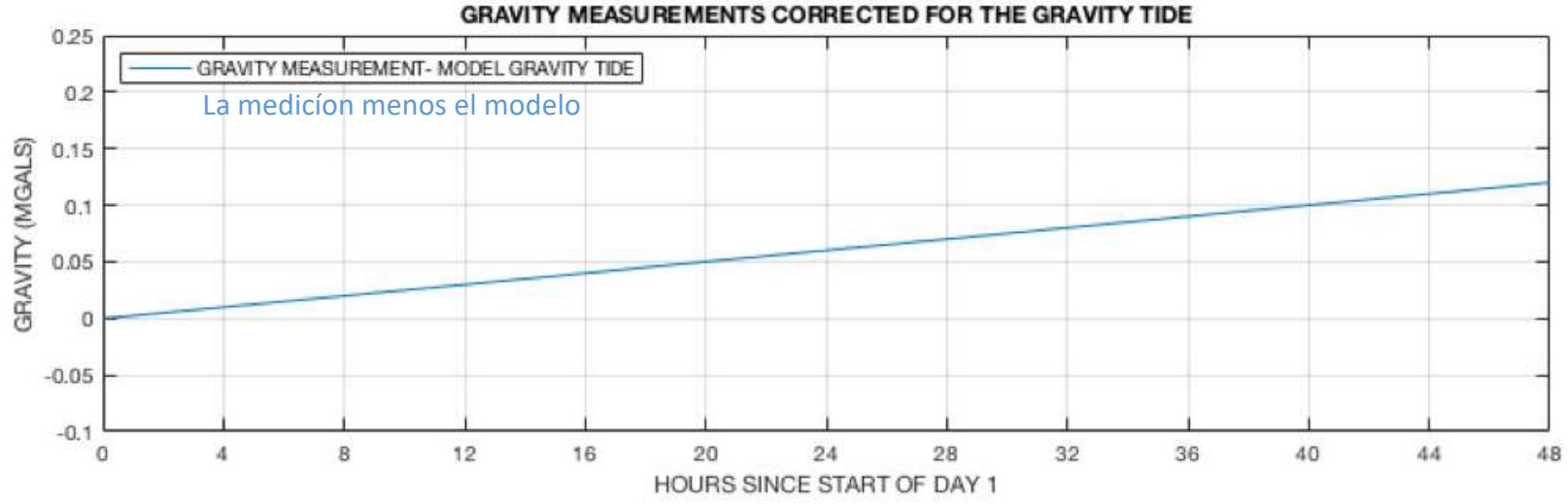
un gravímetro estático

$g(t) - g(0)$



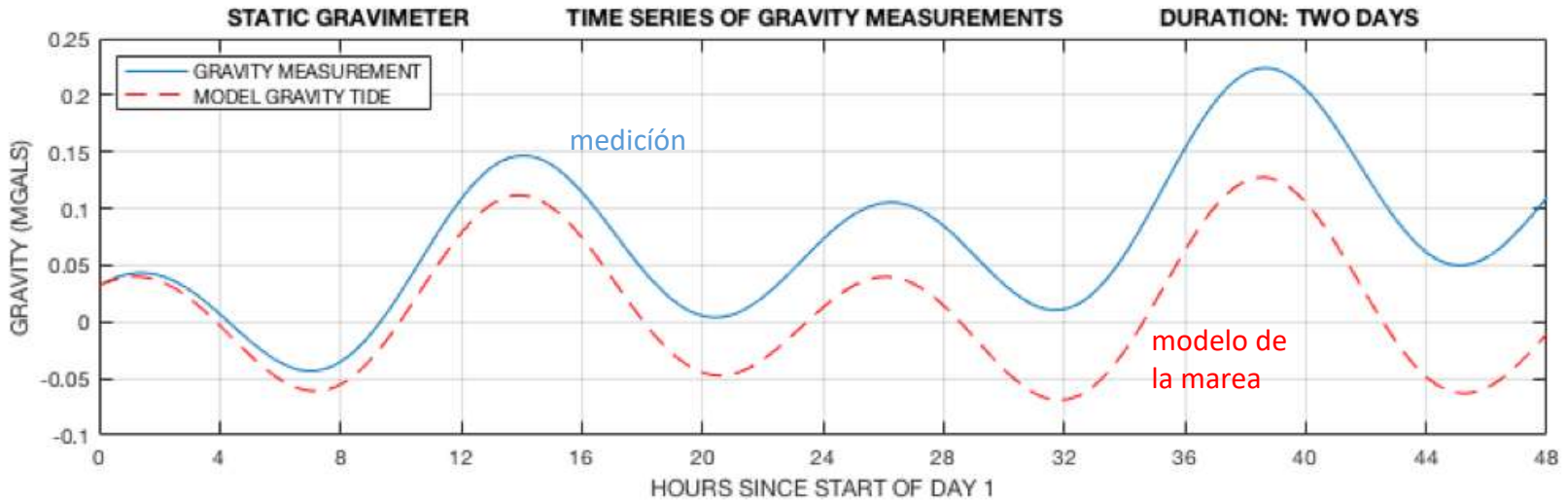
gravedad, $g(t)$, corregida por la marea de gravedad

$\delta g(t)$ instrumental

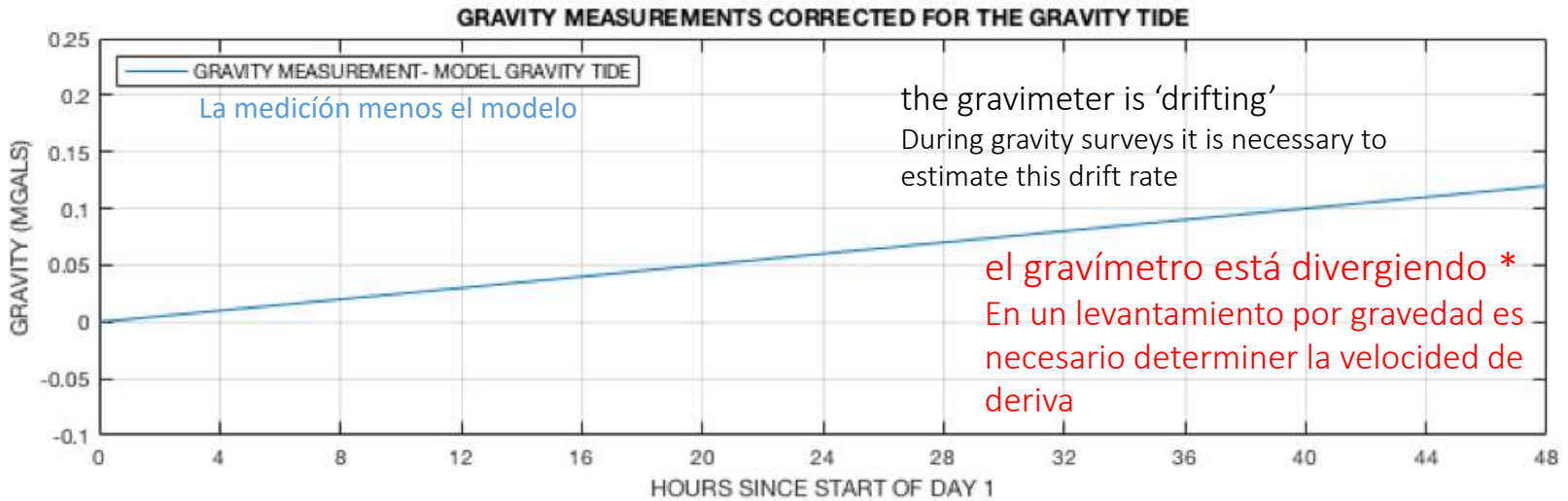


un gravímetro estático

$g(t) - g(0)$



$\delta g(t)$ instrumental



* el gravímetro presenta una deriva, un cambio en tiempo que manifiesta la inestabilidad del instrumento, no un cambio físico en gravedad.

Over a short period of time (say 2 days), we can assume a linear drift rate ($r = db/dt$)

Si la variabilidad del error (b) es lineal en tiempo (por uno o dos días)

$$b = c + r t \quad r = \text{índice de deriva} = db/dt$$

$$m_i = g_i + b_i$$

$$m_j = g_j + b_j$$

$$\begin{aligned} \Delta g_{ij} &= g_j - g_i = (m_j - b_j) - (m_i - b_i) \\ &= (m_j - m_i) - (b_j - b_i) \\ &= (m_j - m_i) - r (t_j - t_i) \end{aligned}$$

Al fin

$$\Delta g_{ij} = (m_j - m_i) - r \Delta t_{ij}$$

El tiempo para viajar de la estación i a la estación j

The travel time from station i to station j

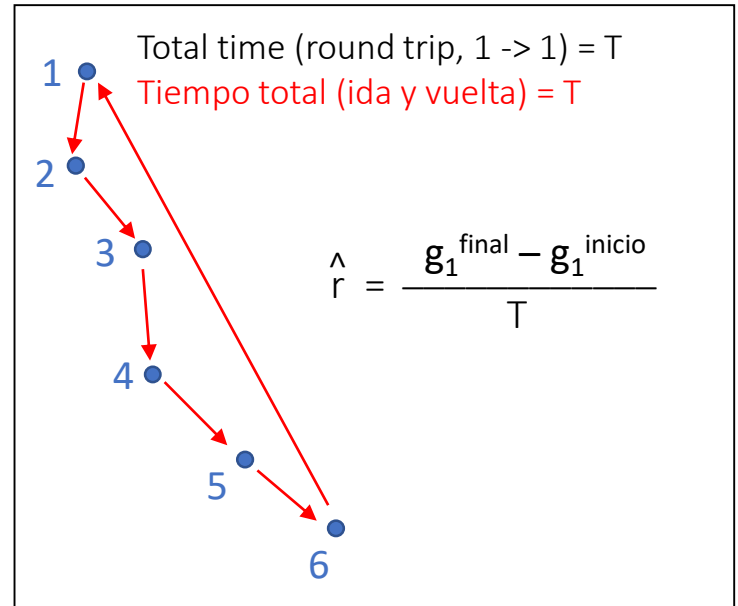
El índice de deriva (desconocida)

The (unknown) drift rate

Doblando la línea para estimar la índice de deriva

Closing the survey line to estimate r

$$\Delta g_{ij} = (m_j - m_i) - r \Delta t_{ij}$$



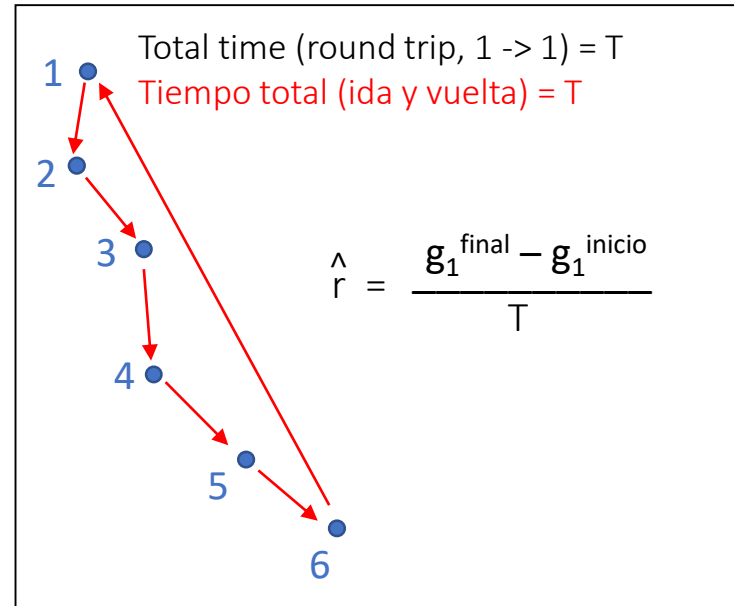
knowns = 6 ($m_{12}, m_{23}, m_{34}, m_{45}, m_{56}, m_{61}$)
conocidos

unknowns = 6 ($g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, r$)
desconocidos

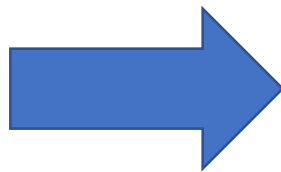
Doblando la linea para estimar la tasa de deriva

Closing the survey line to estimate r

$$\Delta g_{ij} = (m_j - m_i) - r \Delta t_{ij}$$



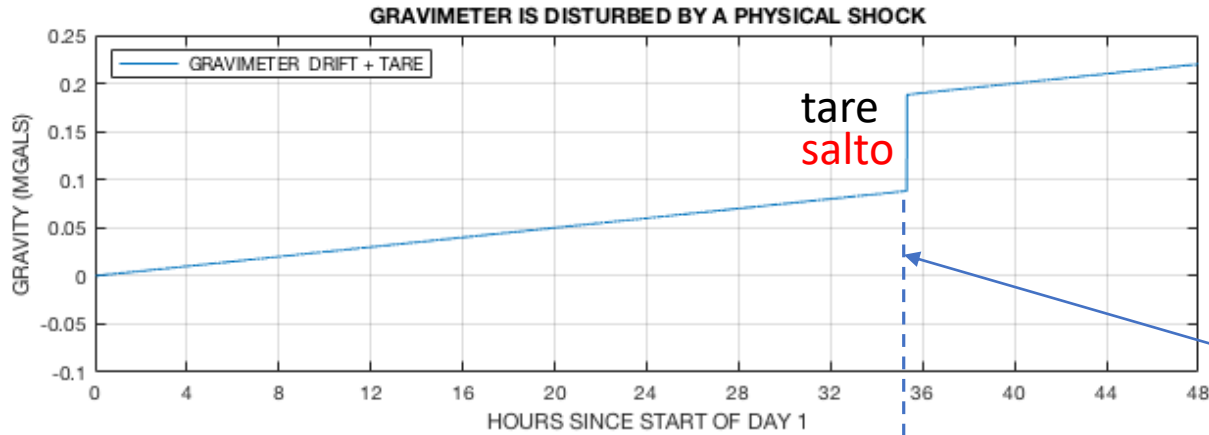
PROBLEM!
There is no redundancy
No hay redundancia



knowns = 6 ($m_{12}, m_{23}, m_{34}, m_{45}, m_{56}, m_{61}$)
conocidos
unknowns = 6 ($g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, r$)
desconocidos

Supongamos que el gravímetro está sujeto a un golpe

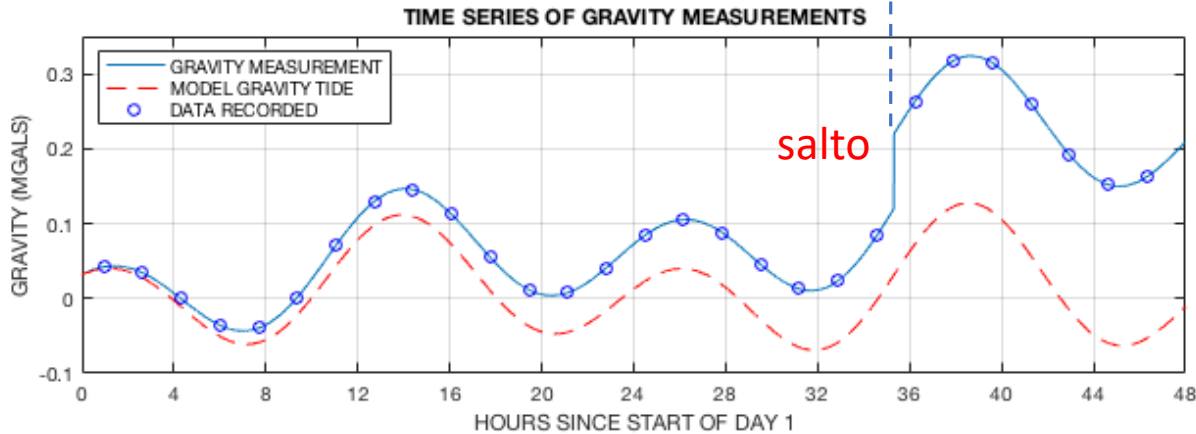
$\delta g(t)$ instrumental



Hay una 'tare' o salto en la lectura del gravímetro



$g(t) - g(0)$



Hay un salto en el valor aparente de la gravedad.

Este es un artefacto.
Gravedad no cambió.

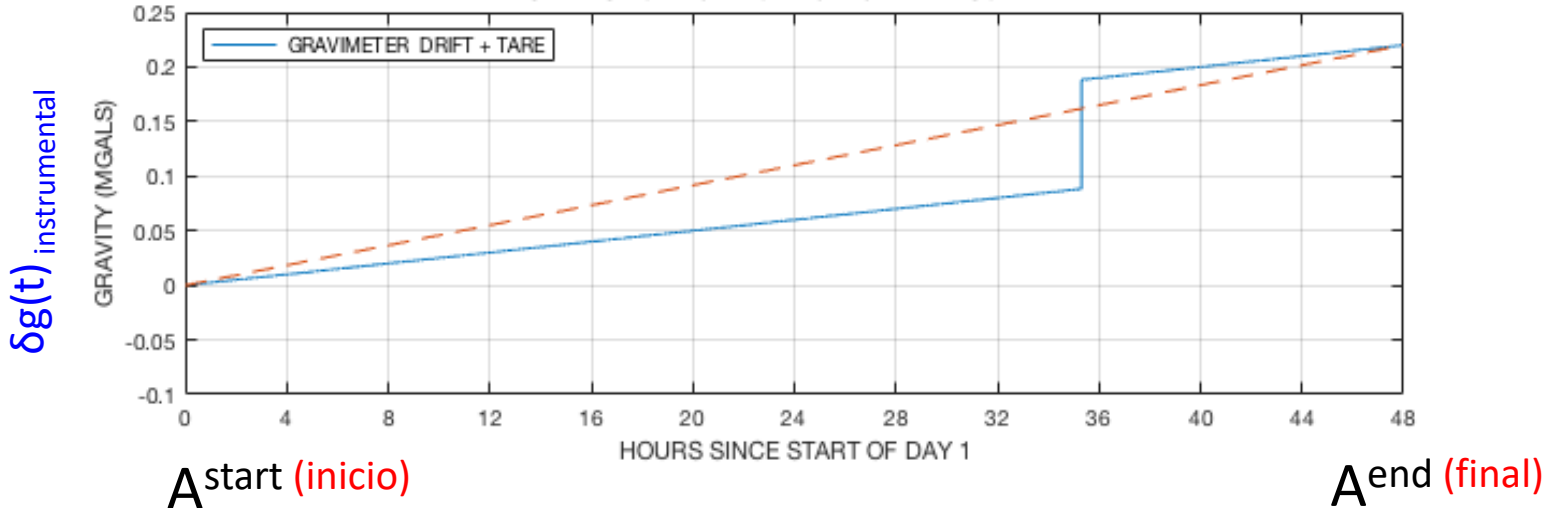
El salto es obvio si las medidas de gravedad son continuas. Menos obvio si hay una medida cada hora!

Si el gravímetro se está moviendo, el salto no será observado.

Asumiendo que se realiza una medición A-B-C-D-E-F-A en 48 horas



SAME SITUATION DURING A GRAVITY SURVEY



$$r = (g_{A \text{ end}}^{\text{final}} - g_{A \text{ start}}^{\text{inicio}}) / 48$$

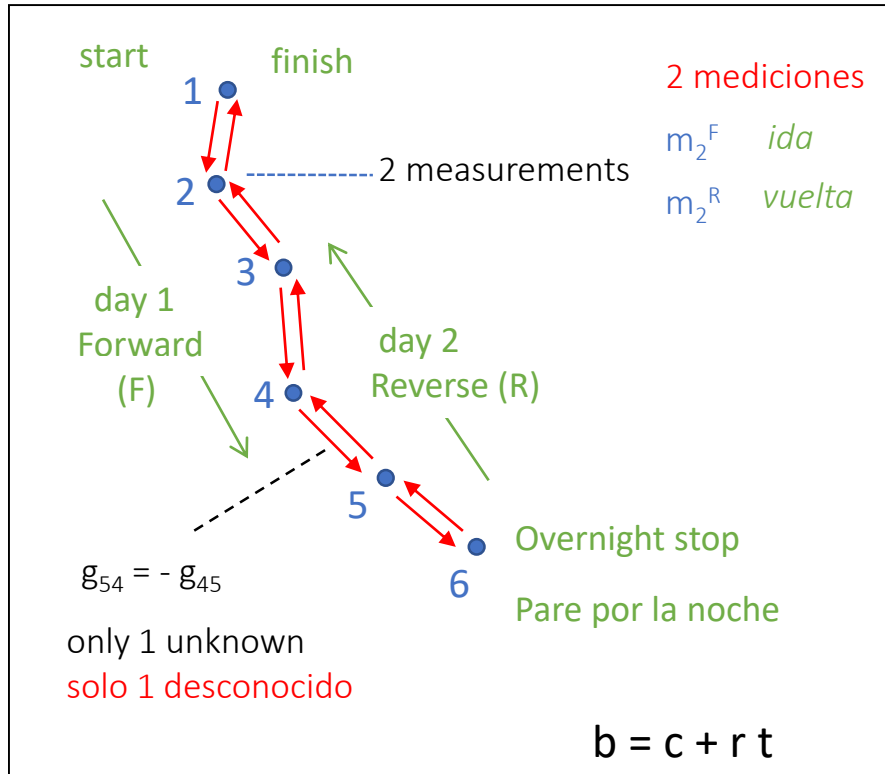
se podría calcular el índice de deriva y asumir que esta representado por la línea roja, sin considerar el salto que ha sufrido el instrumento, entonces el proceso de cálculo será incorrecto. Pues en realidad es la línea azul.

Todas las soluciones para los valores de Δg estarán incorrectos .

IGM/OSU PROTOCOLO DE MEDICIÓN POR CADA LINEA DE GRAVEDAD

OSU/IGM MEASUREMENT PROTOCOL FOR EACH SURVEY LINE

Every station is measured in the forward and reverse directions



Cada estación se mide, ida y vuelta

All measurement times

$$t_1^F - t_6^F, t_6^R - t_1^R$$

are recorded and used in the estimation of r and the g_{ij}

Cada tiempo de medición

$$t_1^F - t_6^F, t_6^R - t_1^R$$

es anotado, y usado para estimar r y los Δg_{ij}

1. Measurement errors will be detected
2. Often the line can be saved by rejecting one station
3. Lines with >2 problems are rejected

unknowns = 7 ($g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, c, r$)

desconocidos

knowns = 12 ($m_1^F - m_6^F, m_6^R - m_1^R$)

conocidos

THE LS PROBLEM IS OVERDETERMINED

Hay redundancia! Hay 5 residuos.

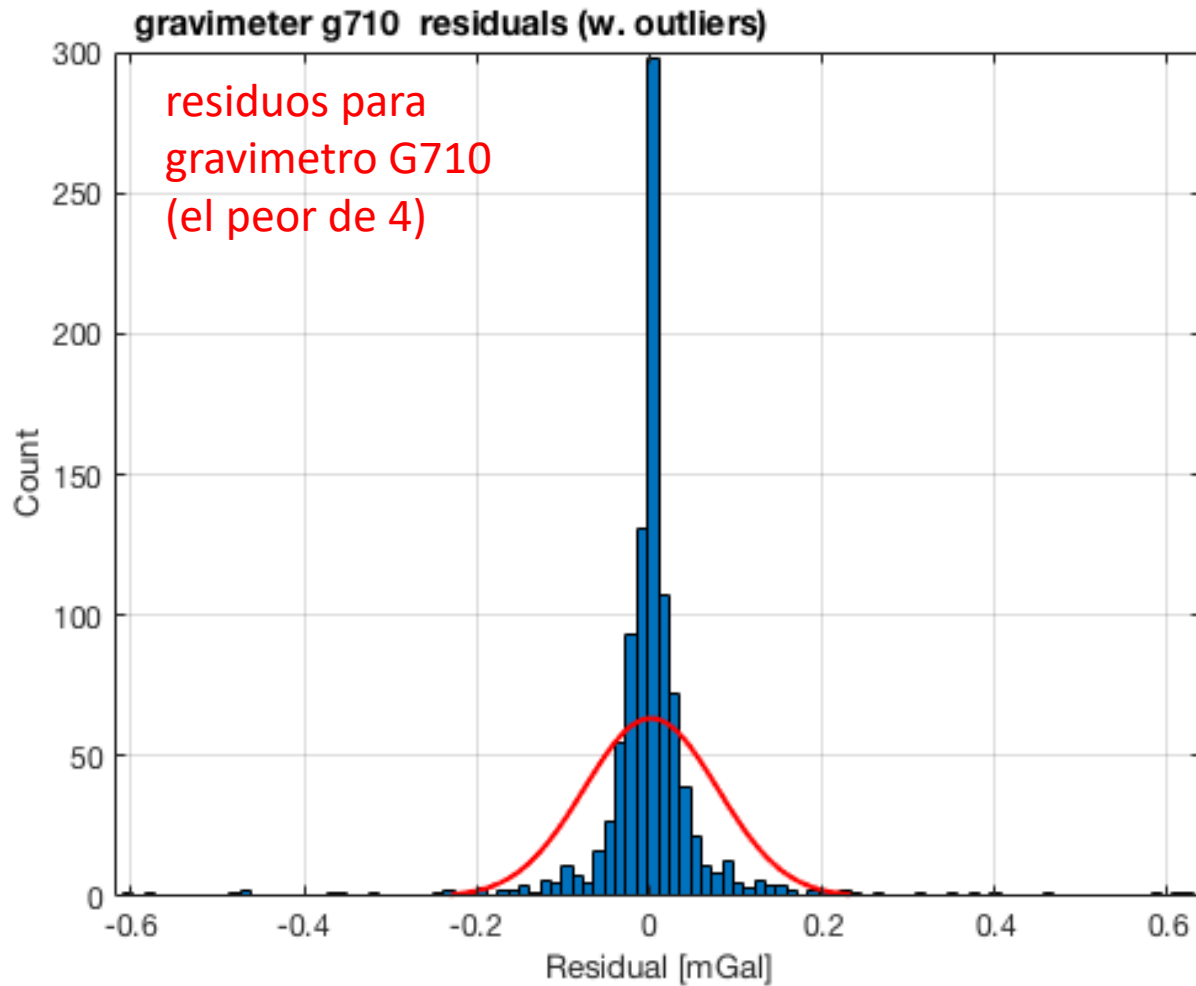
Un residual por cada par de estaciones.

1. Podemos detectar casi todos los errores
2. A menudo podemos guardar una línea rechazando una estación
3. Se rechazan líneas con >2 problemas

Residuals from initial network adjustment – including outliers

La distribución de los residuos de ajuste preliminar

No es gaussiano!

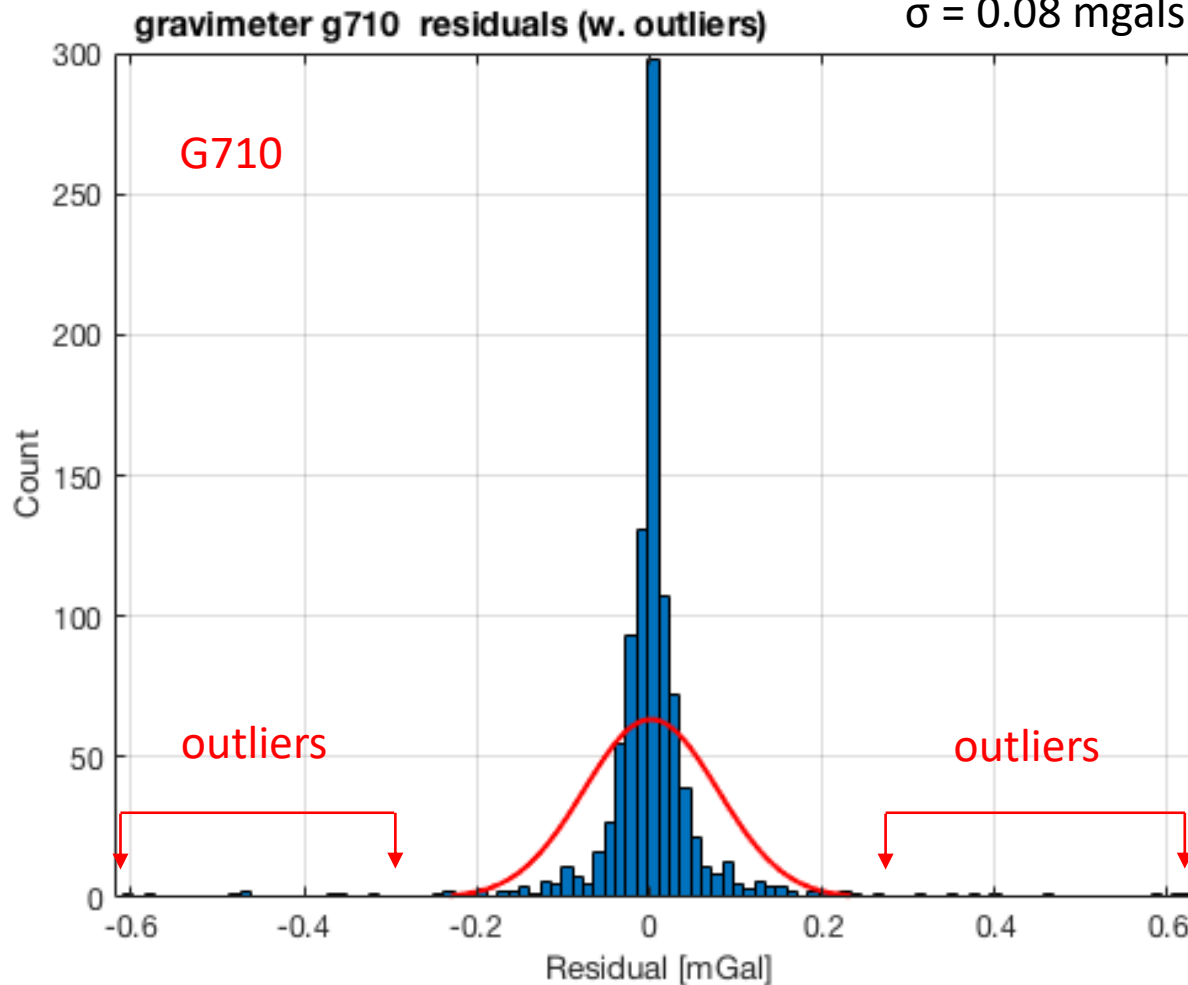


Residuals from network adjustment – including outliers

OUTLIERS : ‘colas estadísticas’ o ‘valores intípicas’
En inglés, ‘outlier’ implica que el valor es falso o sin significa física

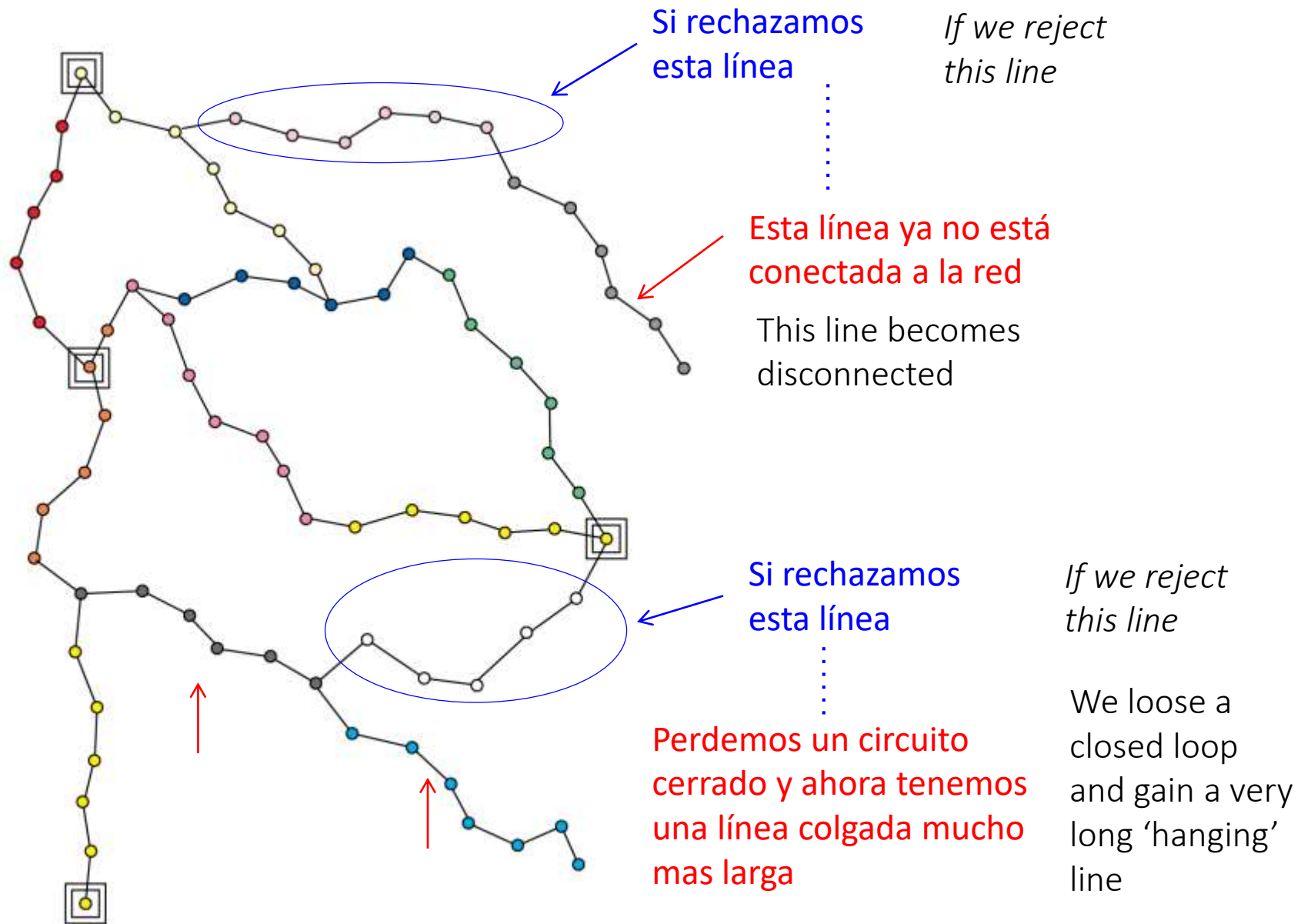
sin outliers

$\sigma = 0.08$ mgals



El problema de rechazar líneas con malas soluciones por gravedad

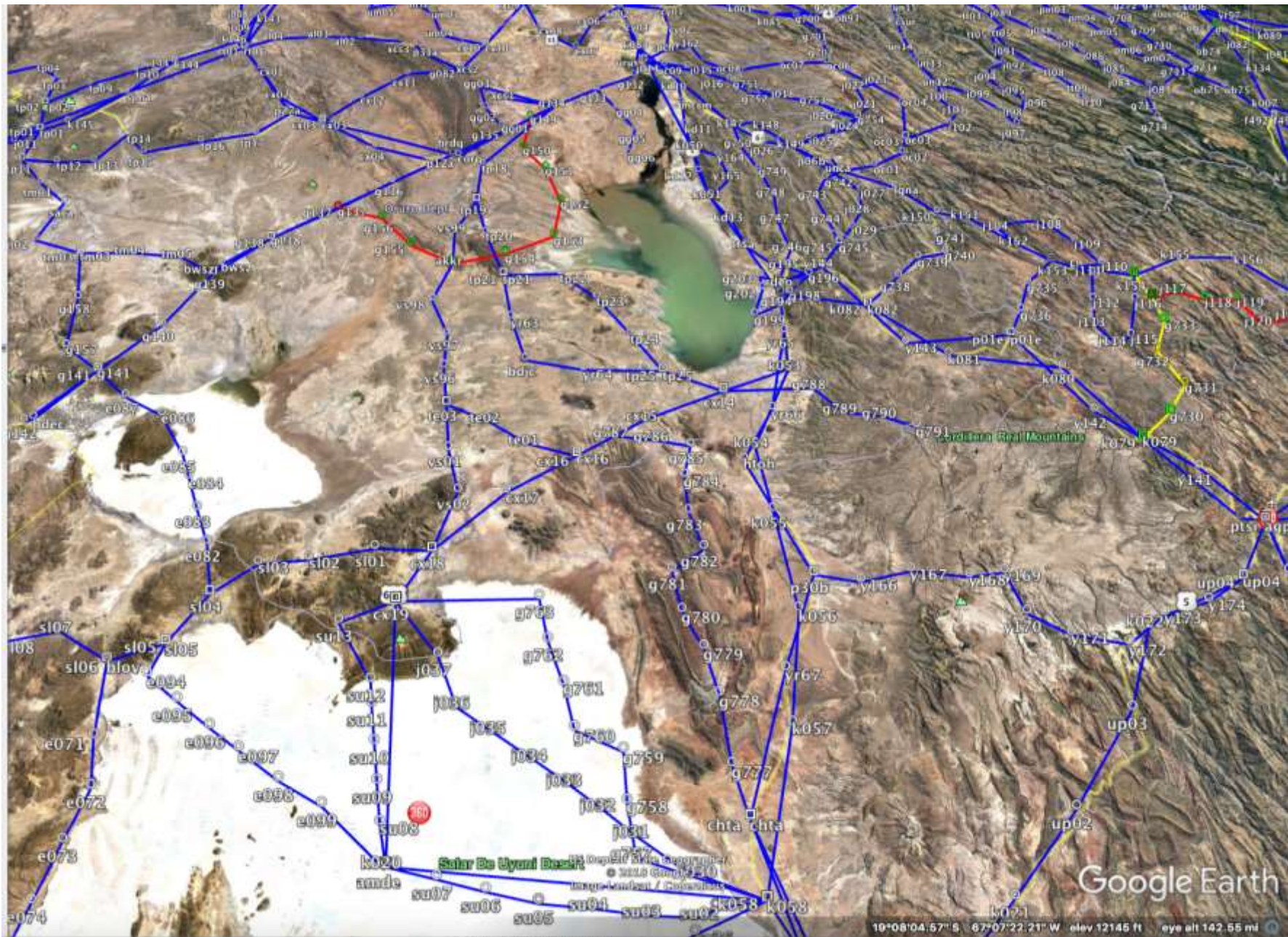
The problem of rejecting bad survey lines

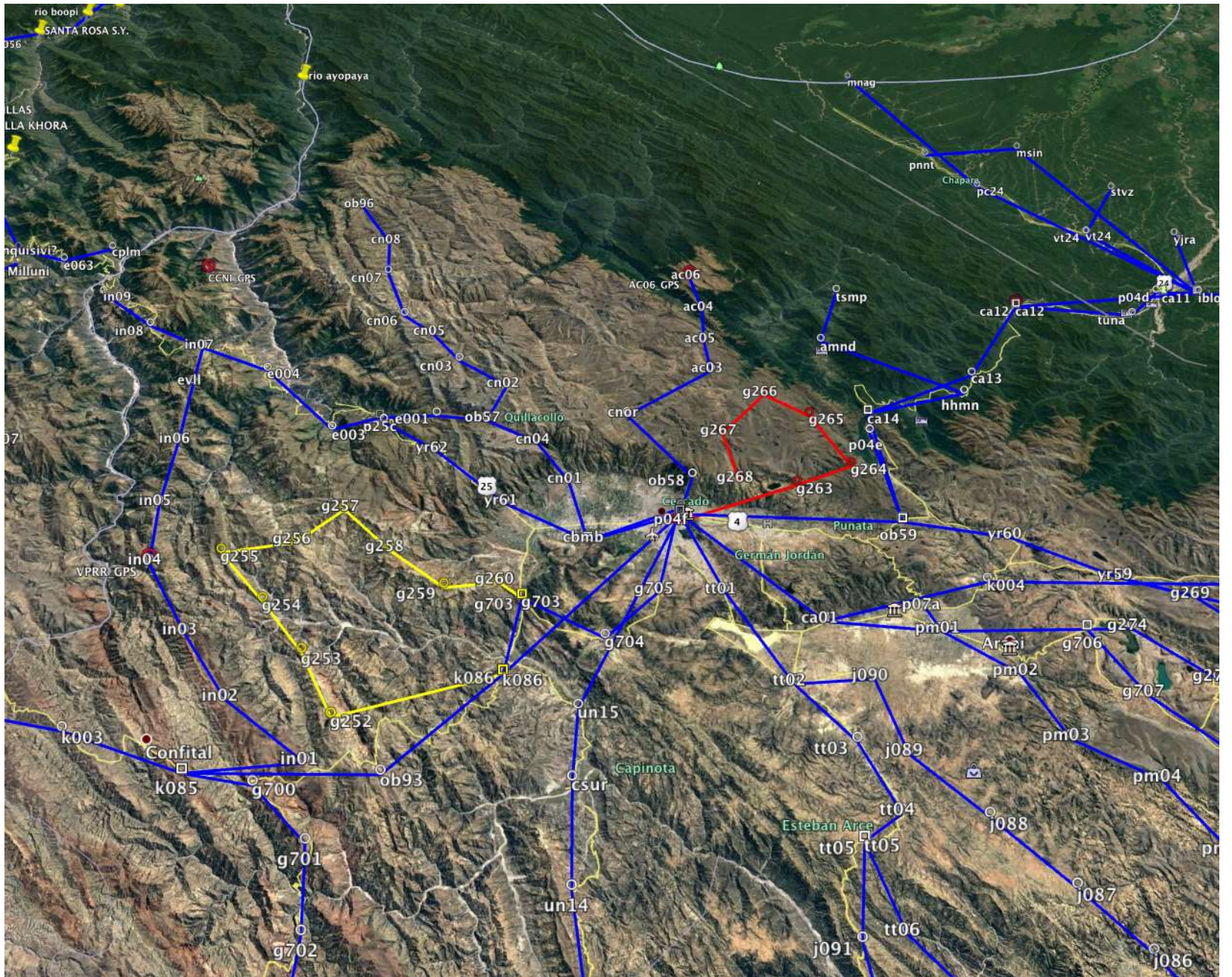


Protocolo 2

OSU/IGM MEASUREMENT PROTOCOL FOR EACH SURVEY LINE

- Cada equipo del campo tiene dos operadores y dos gravímetros.
 - Hay dos soluciones independientes para cada línea de gravedad.
-
- Each gravity survey team has two gravimeters and two operators
 - There are two independent solutions for each gravity line.



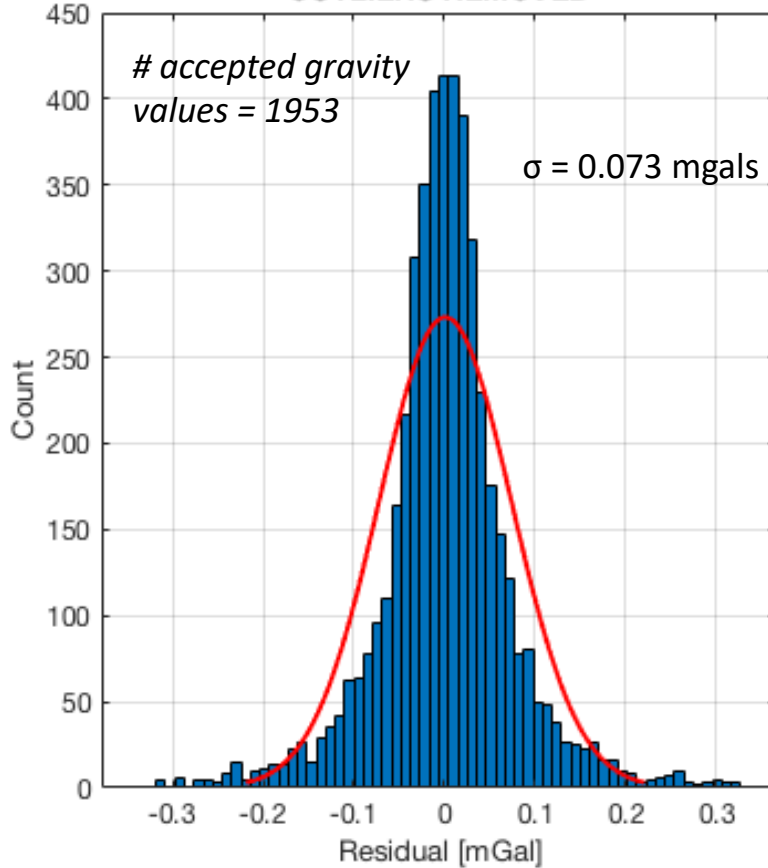




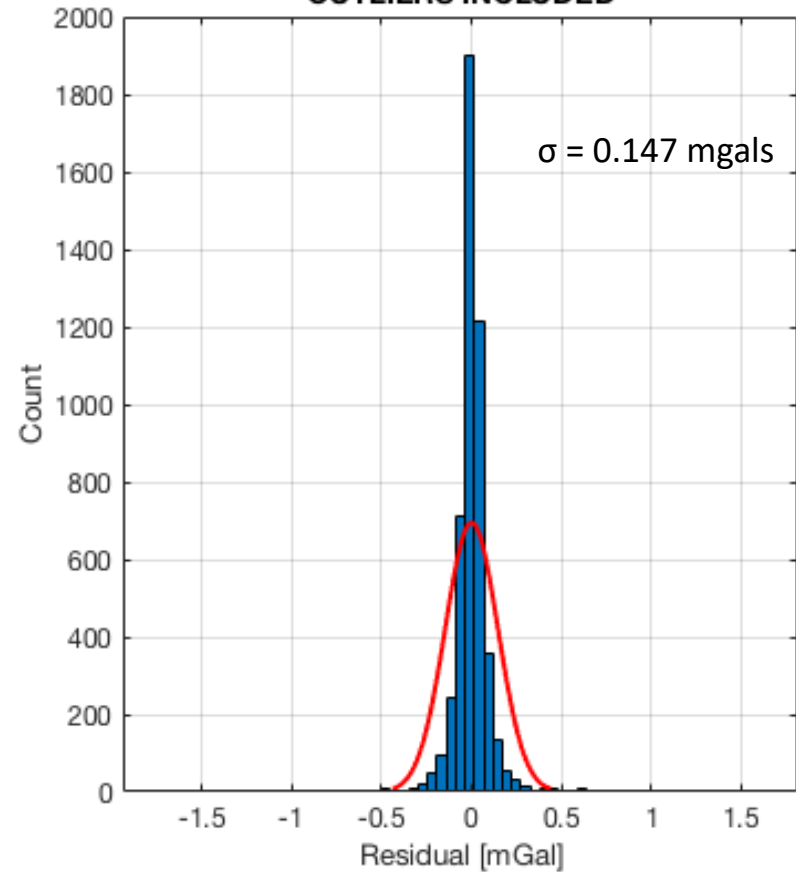
Residuals from network adjustment

Residuales del ajuste del red

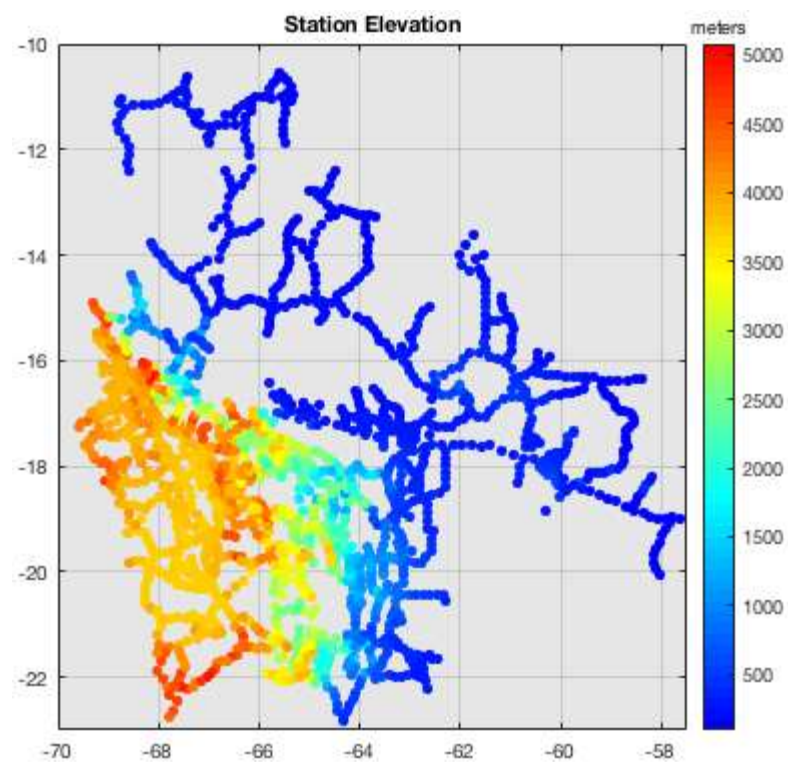
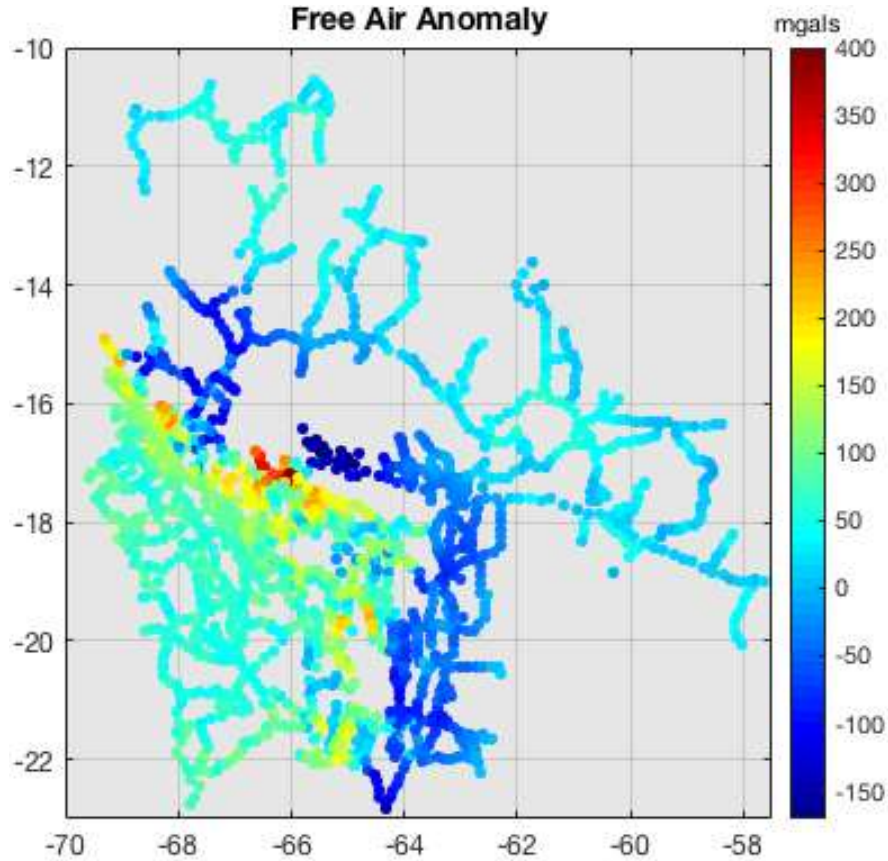
SIN LAS COLAS ESTADÍSTICAS
OUTLIERS REMOVED



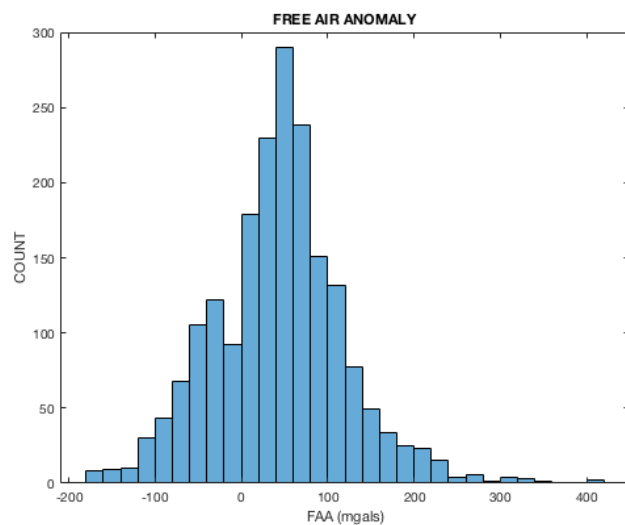
CON LAS COLAS ESTADÍSTICAS
OUTLIERS INCLUDED



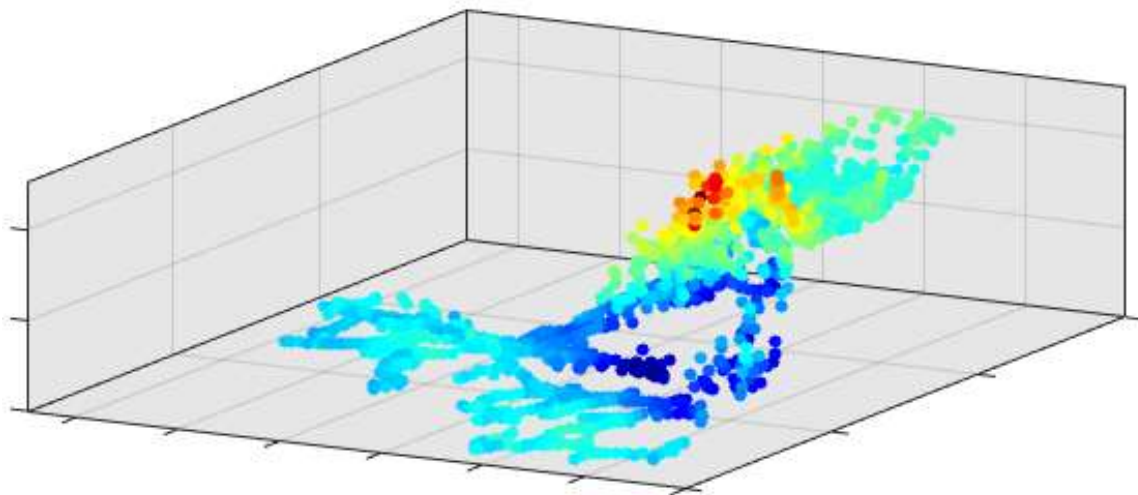
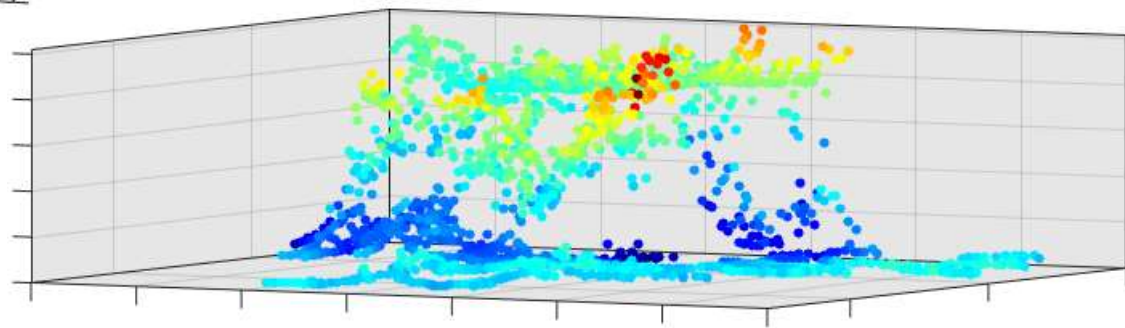
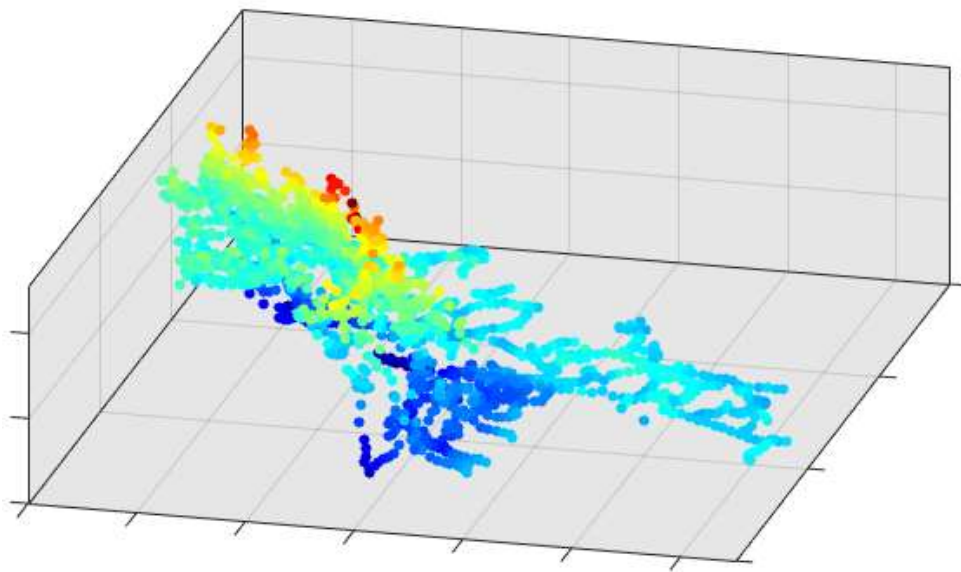
Our software allows us to identify and reject outliers

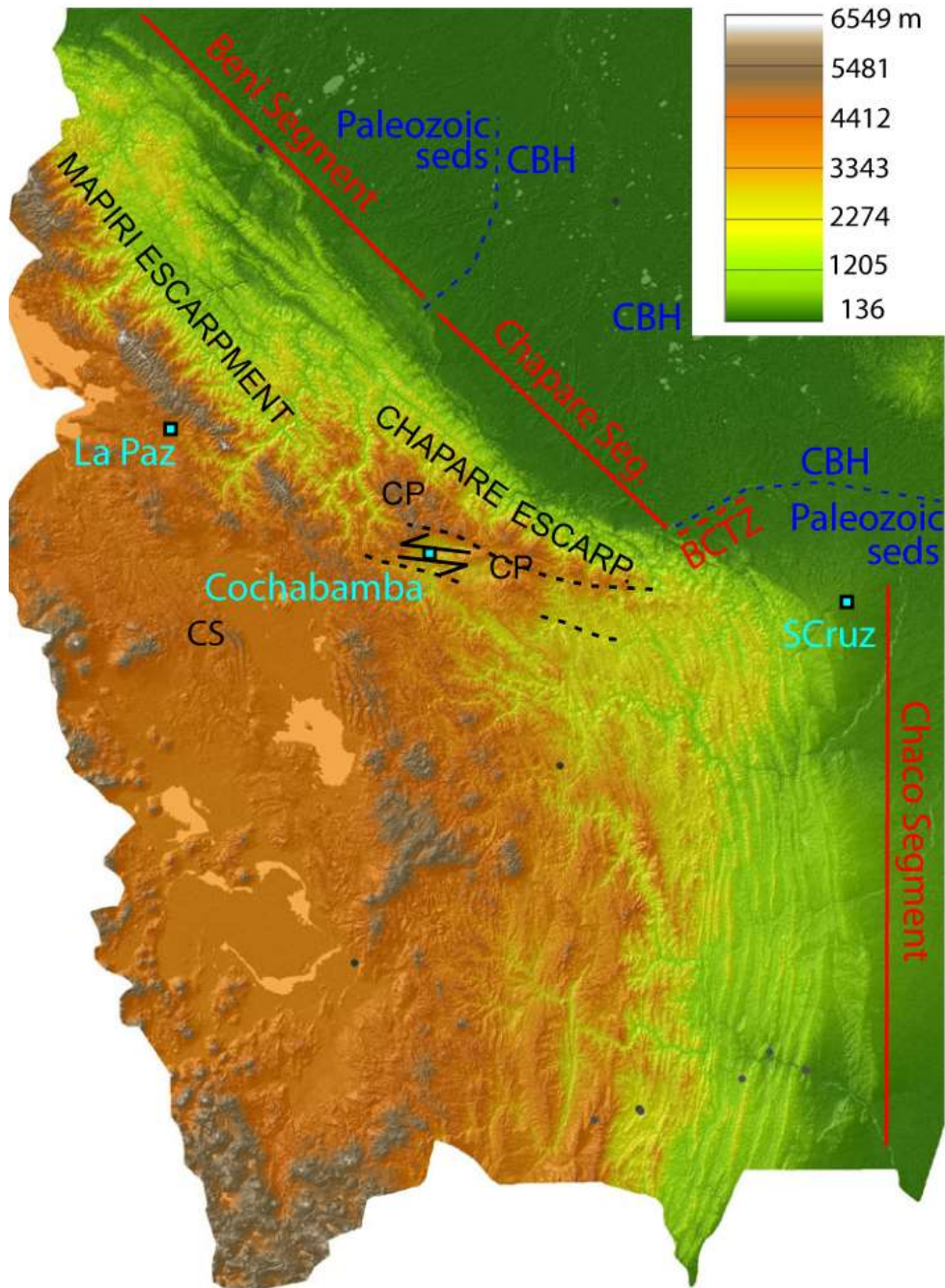


Free Air Anomaly on Topography



The most positive anomaly looms over the most negative anomaly.



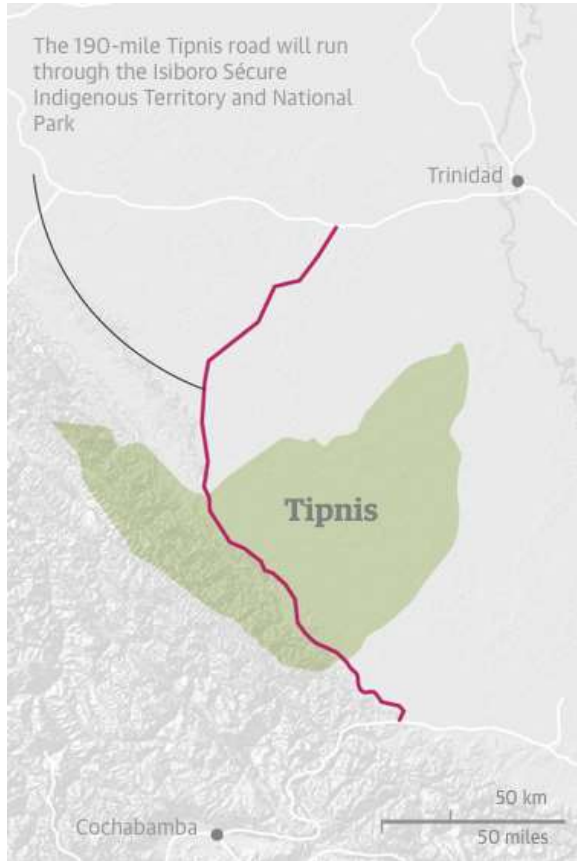
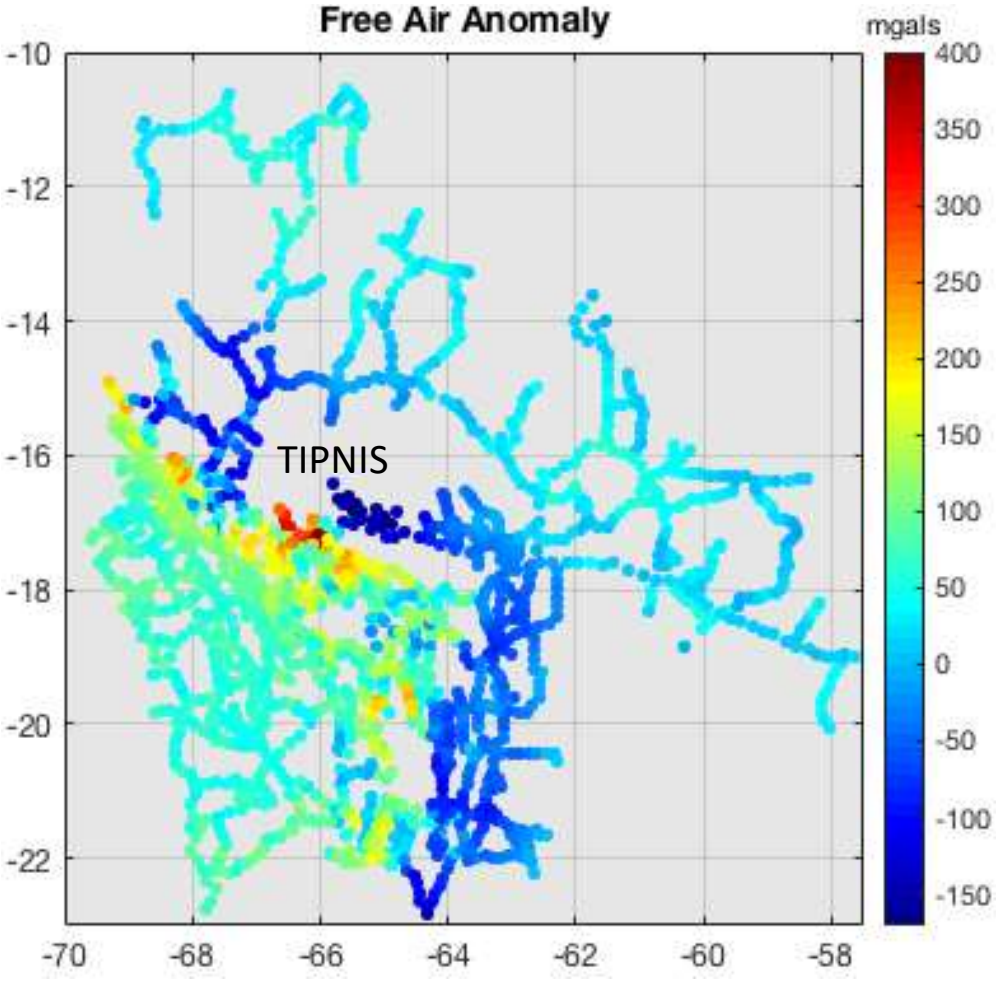


La relación entre topografía y gravedad esta cambiando en espacio por que hay cambios grandes en el proceso de isostacia flexural. Es controlada por la neotectonica.

The relationship between gravity and topography is changing along the length of the Subandes because they are segmented tectonically, and there are major changes, from one segment to the next, in the nature of flexural isostacy.

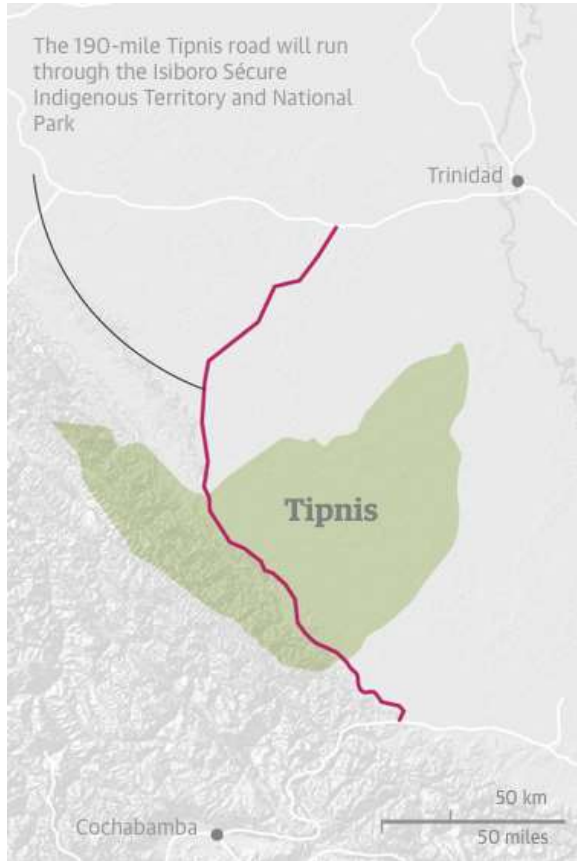
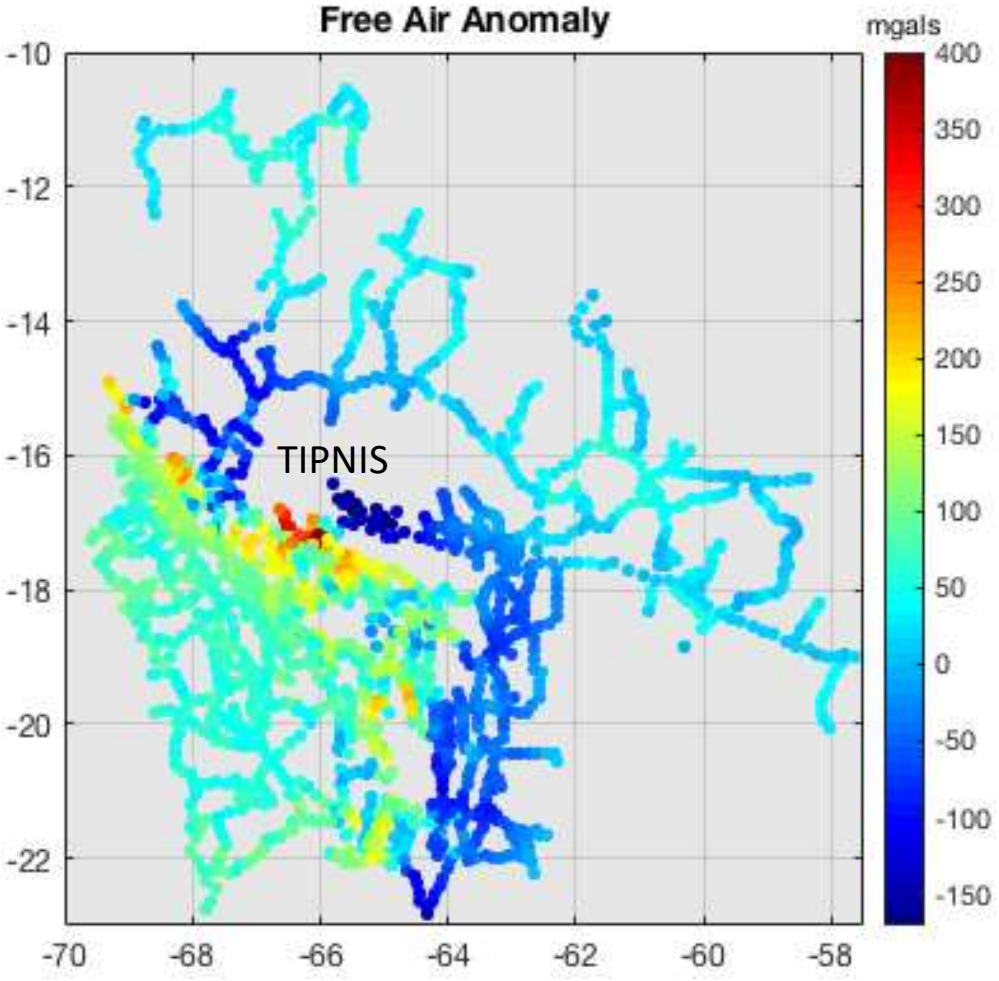
TIPNIS

Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Secure



TIPNIS

Territorio Indígena y Parque Nacional Isiboro Secure



En el proximo año, entraremos en esta área usando caballos (ingresando desde las tierras altas) y botes.



Tambien, planificamos densificar la red en la Cordillera Real cerca de La Paz, cuando sea necesario a pie.

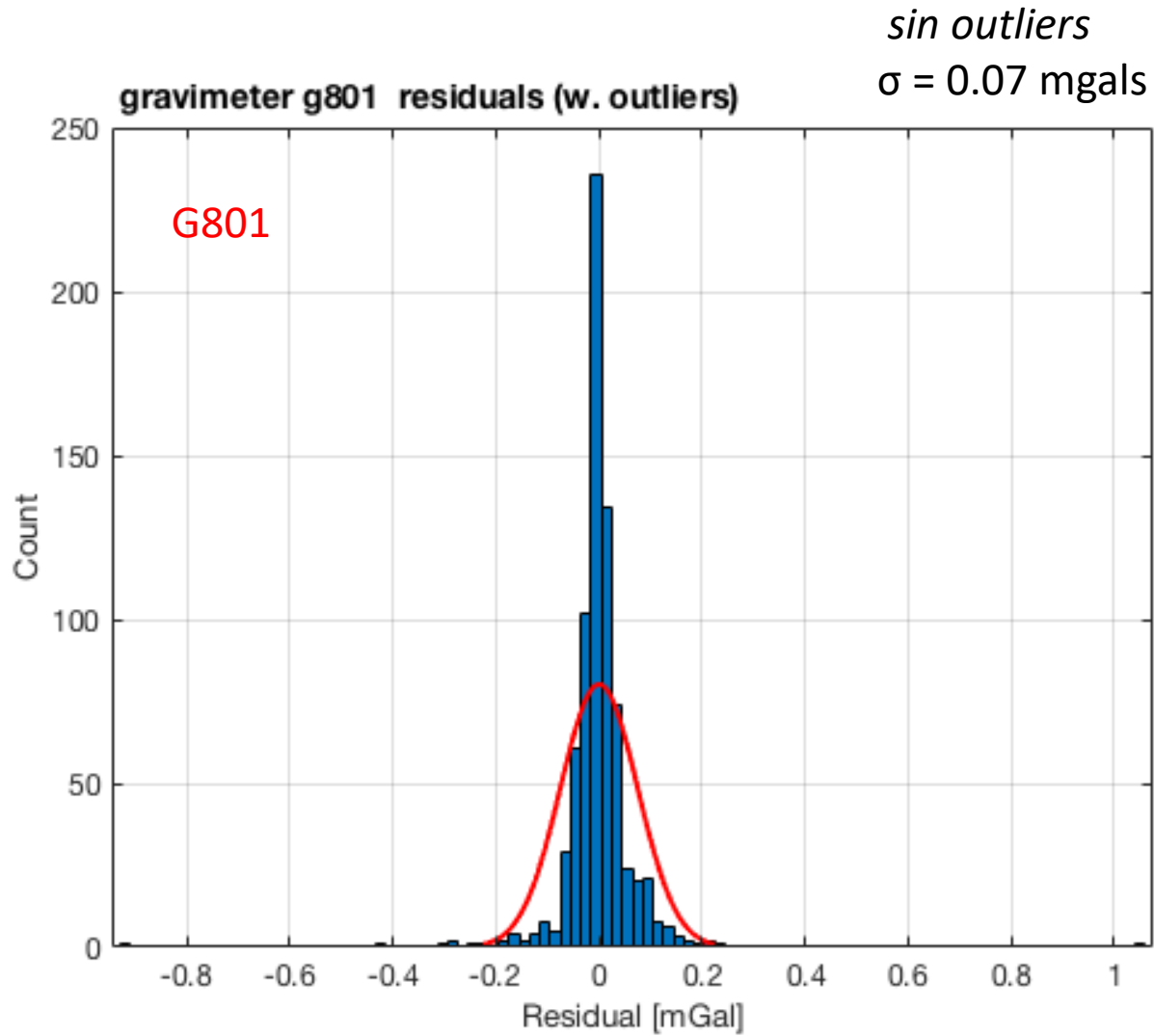




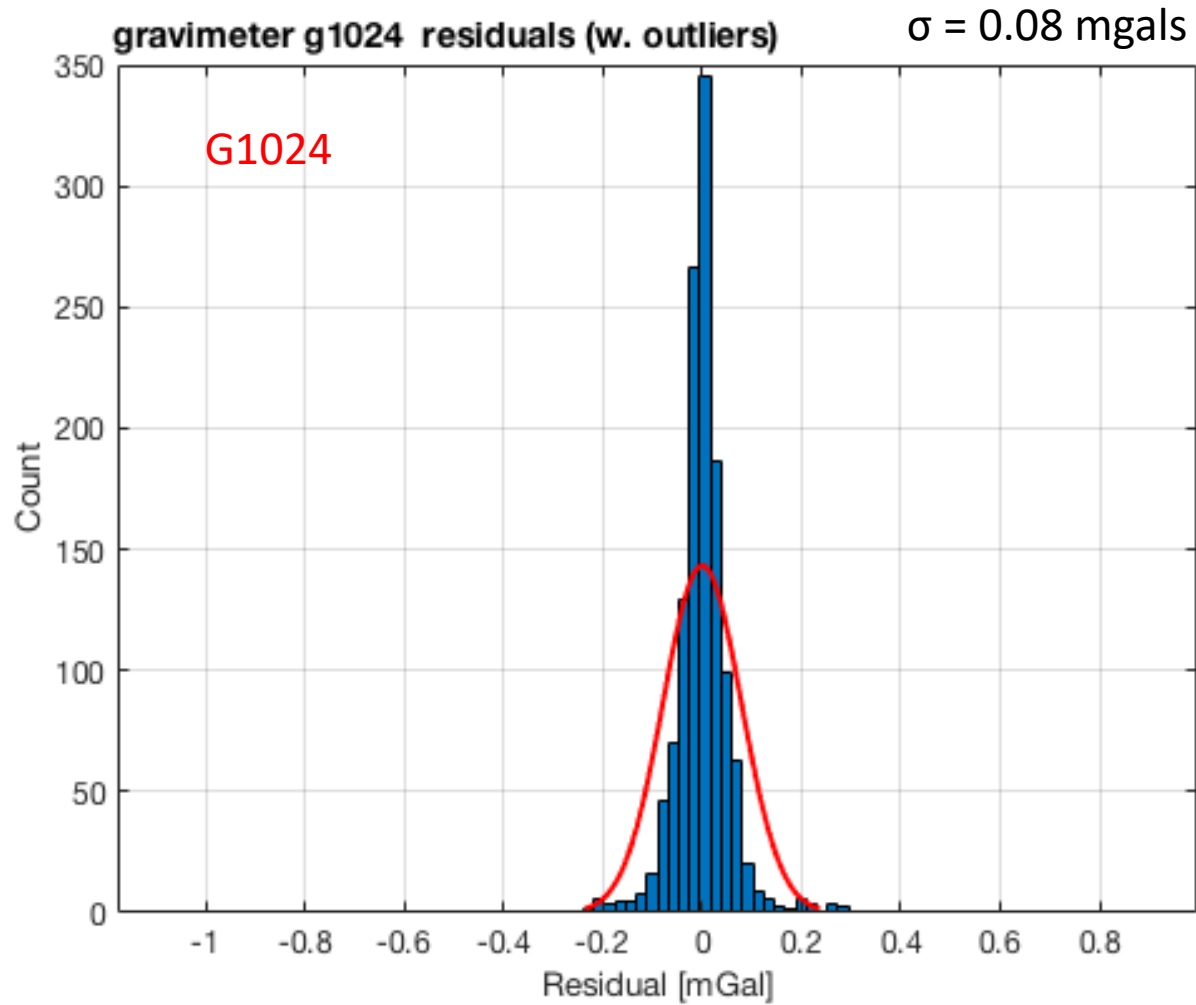
Gracias!

Para más información: mbevis@gmail.com

Residuals from network adjustment – including outliers



Residuals from network adjustment – including outliers



Residuals from network adjustment – including outliers

