8vas. Jornadas de Capacitación Regional en Georreferenciación

Dictadas por el
INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

17 y 18 de junio de 2014 – Neuquén

Sistemas y Marcos de Referencia Geodésicos

Sistema de Referencia

- Es un soporte matemático para asignar coordenadas a puntos medidos sobre la superficie terrestre. Parte de definiciones teóricas y convencionales basadas en mediciones.

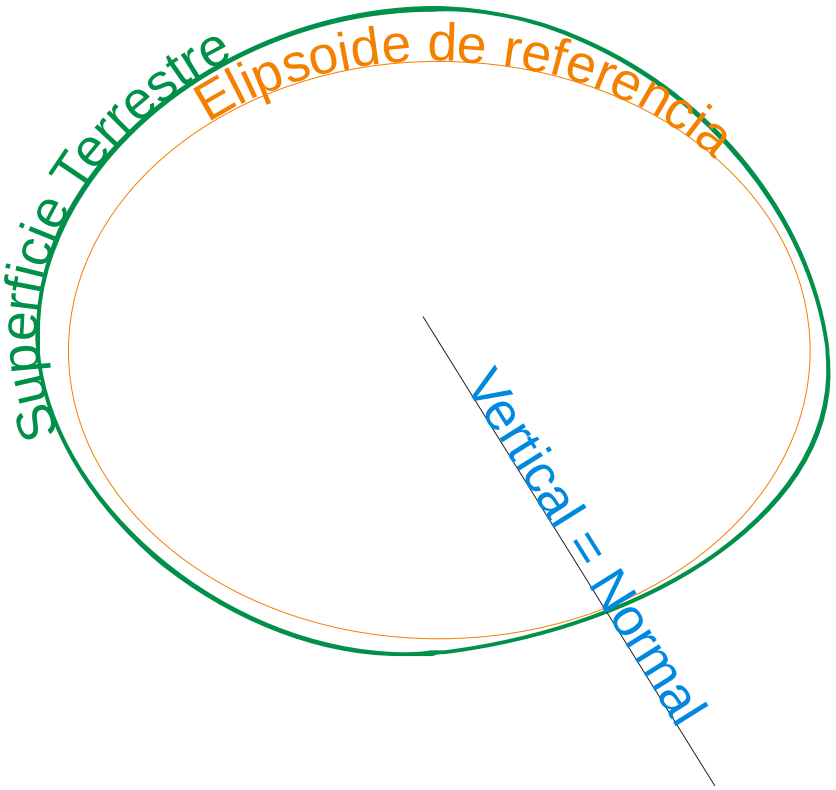
- Es necesario definirlos para establecer la posición de puntos que respondan a un Sistema de Coordenadas con un **origen**, una **orientación** y una **escala** que sea accesible para todos los usuarios.

  - Sistema Local
    - Un punto **Datum** y un elipsoide de revolución.

  - Sistema Global
    - Terna de ejes cartesianos ortogonales, cuyo origen coincide prácticamente con el centro de masas terrestre.

Sistema de Referencia Local

- Se define un punto **Datum** donde coinciden la normal al elipsoide y al geoide (**Origen**), definición de Latitud y Longitud.
- Esta definición es **local** ya que cambia con la **posición geográfica** del punto Datum.
- Sistema **planimétrico**, sin alturas asociadas.



Sistema de Referencia Local

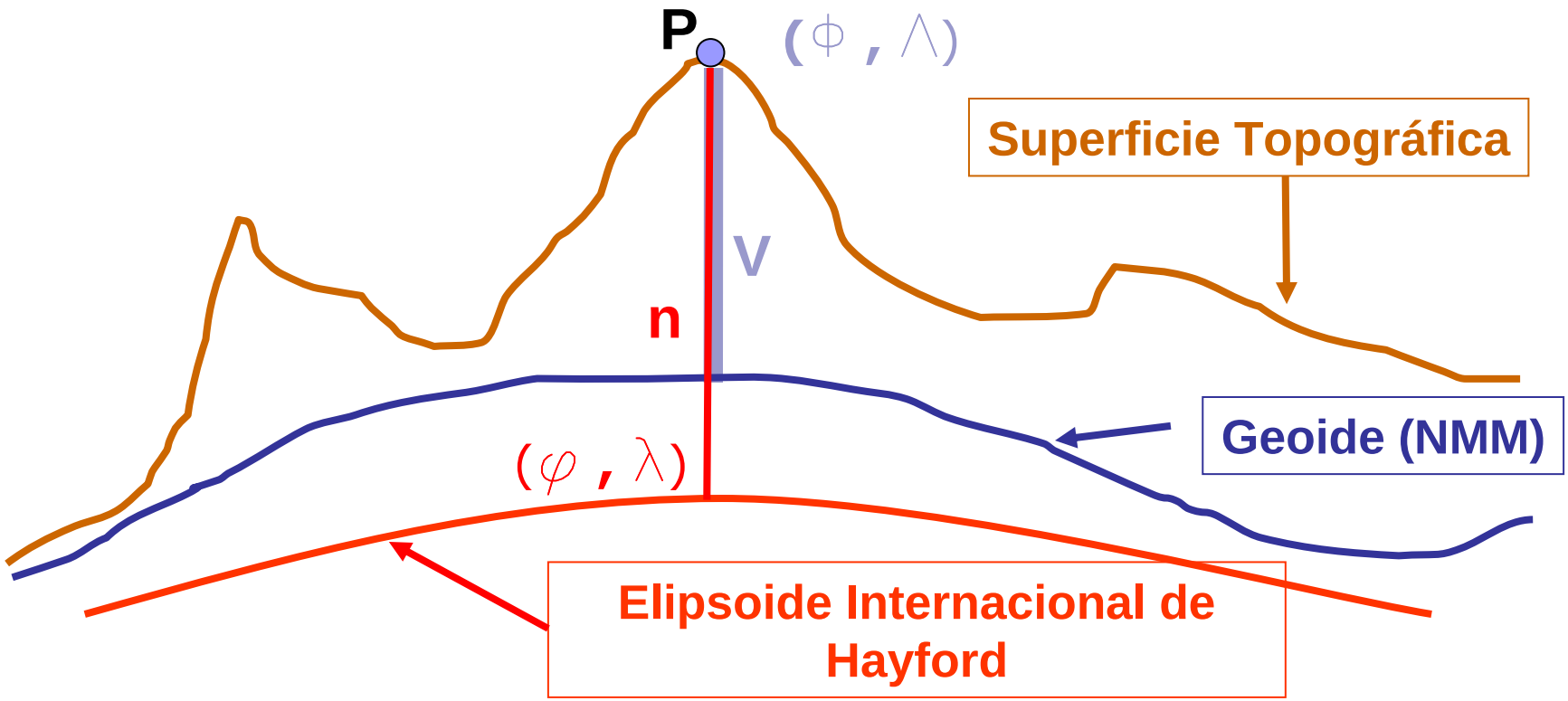
V = Vertical del lugar (normal al geoide)

(Φ , Λ) = Coordenadas astronómicas (Latitud y Longitud)

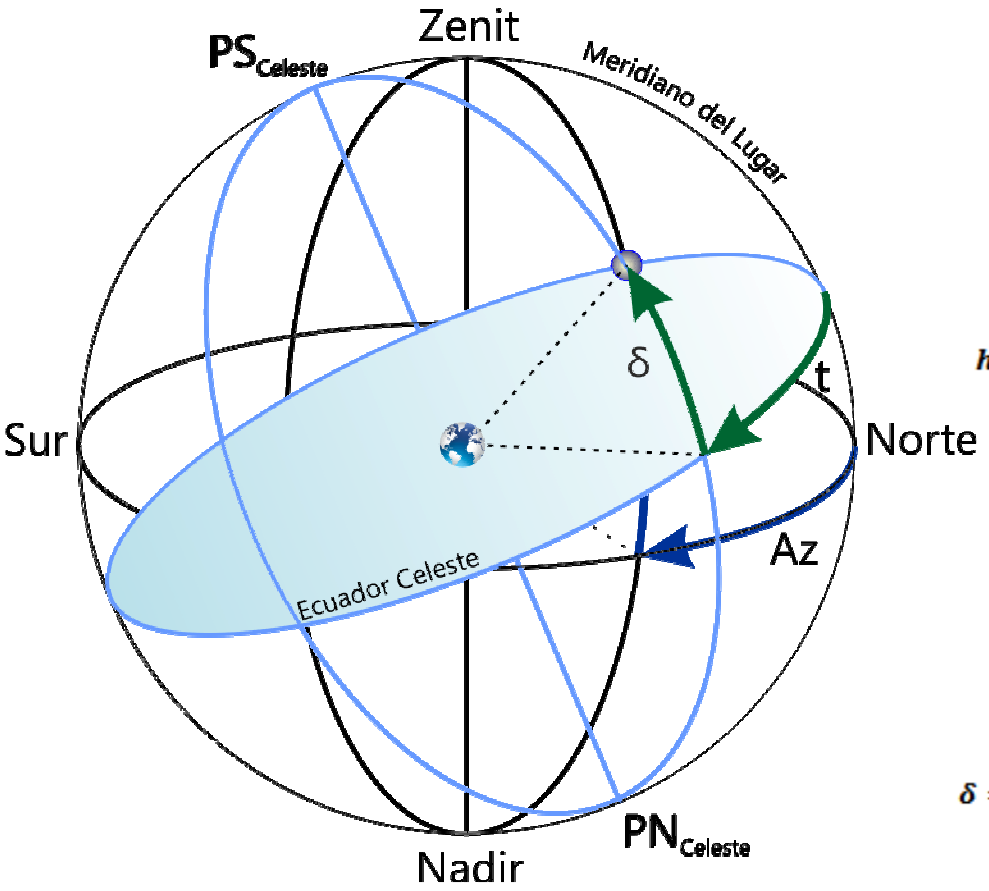
n = Normal a la superficie del elipsoide

(φ , λ) = Coordenadas geodésicas (Latitud y Longitud)

P = Punto DATUM (V coincide con n) ⇨ (Φ , Λ) coinciden con (φ , λ)



Sistemas de Coordenadas Celestes



Horizontales

- Acimut (**Az**)
- Altura (**h**)

$$\boldsymbol{Az} = arcSen\left[\frac{Sen(\boldsymbol{t}).Cos(\boldsymbol{\delta})}{Cos(\boldsymbol{h})}\right]$$

$$\boldsymbol{h} = arcSen[Sen(\boldsymbol{\phi}).Sen\ (\boldsymbol{\delta}) + Cos(\boldsymbol{\phi}).Cos(\boldsymbol{\delta}).Cos(\boldsymbol{t})]$$

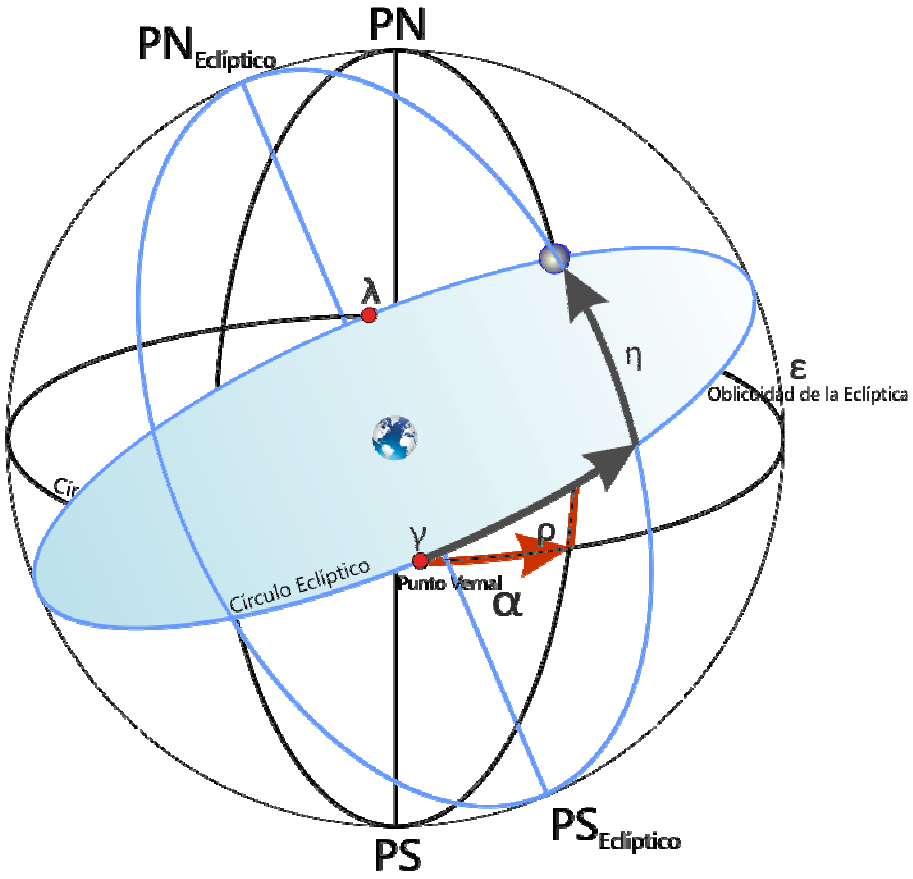
Ecuatoriales Horarias

- Ángulo Horario (**t**)
- Declinación (**δ**)

$$\boldsymbol{t} = arcSen\left[\frac{Sen(\boldsymbol{Az}).Cos(\boldsymbol{h})}{Cos(\boldsymbol{\delta})}\right]$$

$$\boldsymbol{\delta} = arcSen[Sen(\boldsymbol{\phi}).Sen\ (\boldsymbol{h}) - Cos(\boldsymbol{\phi}).Cos(\boldsymbol{h}).Cos(\boldsymbol{Az})]$$

Sistemas de Coordenadas Celestes



Ecuatoriales Absolutas

- Ascención Recta (**α**)
- Declinación (**δ**)

$$\alpha = arcCos\left[\frac{Cos(\eta).Cos(\rho)}{Cos(\delta)}\right]$$

$$\delta = arcSen[Cos(\varepsilon).Sen\ (\eta) + Sen(\varepsilon).Cos(\eta).Cos(\rho)]$$

Eclípticas

- Latitud Eclíptica (**η**)
- Longitud Eclíptica (**ρ**)

$$\rho = arcCos\left[\frac{Cos(\delta).Cos(\alpha)}{Cos(\eta)}\right]$$

$$\eta = arcSen[Cos(\varepsilon).Sen\ (\delta) - Sen(\varepsilon).Cos(\delta).Cos(\alpha)]$$

Marcos de Referencia

- **Materialización** de un Sistema de Referencia mediante mediciones.
- Está constituido por las **coordenadas** de una red de puntos que lo definen.
- Las coordenadas de los mismos son consistentes entre sí para una **época** en particular



Pto. Datum Campo Inchauspe



Marcos de Referencia Locales

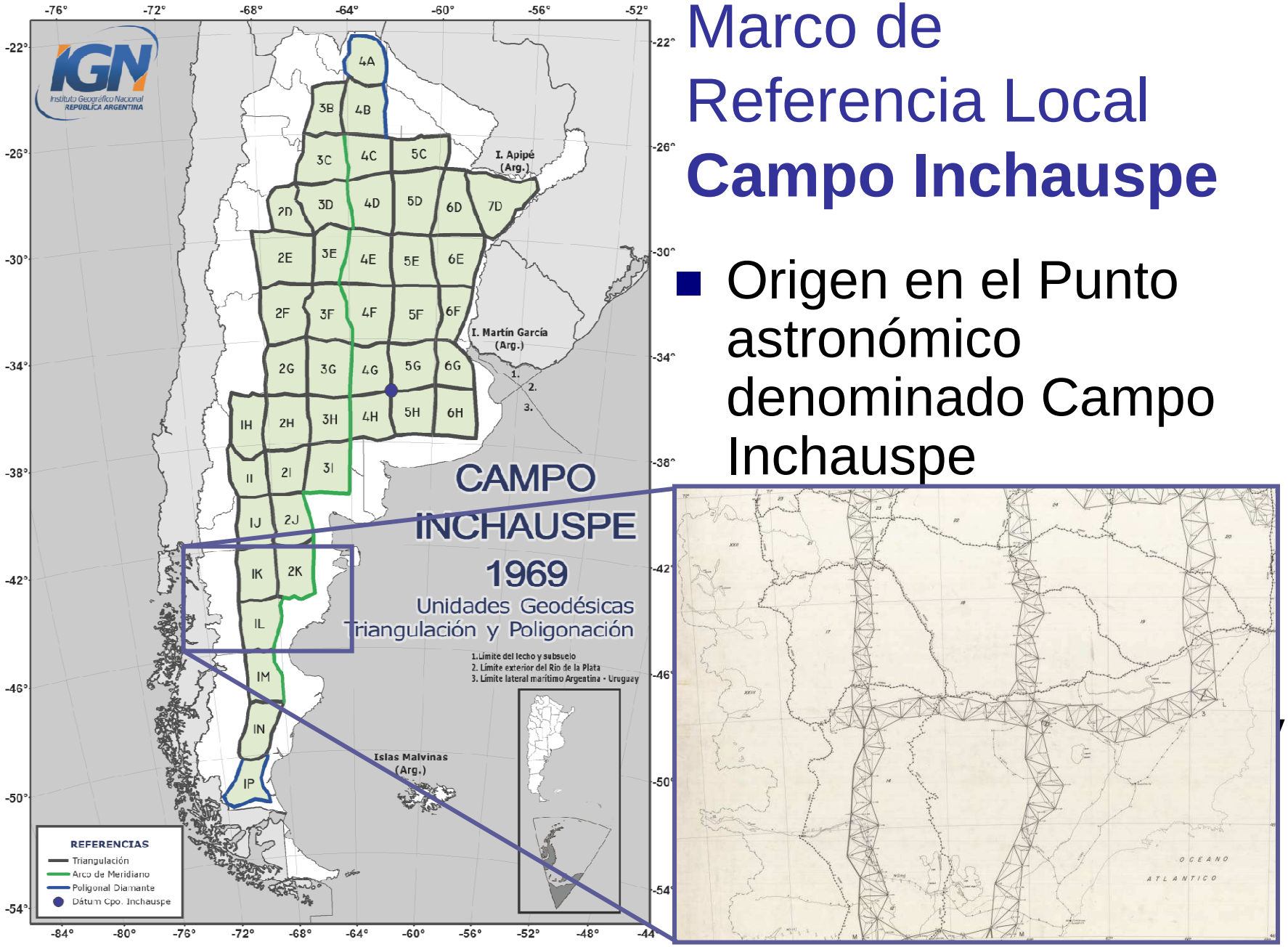
Marcos históricos de Argentina.

- Yavi
- Aguaray
- Carranza
- 25 de Mayo
- Castelli
- **Campo Inchauspe**
- Chos Malal
- Pampa del Castillo
- Tapi Aike

- Fueron materializados en función de las necesidades de generación de cartografía en las distintas regiones del país

Marco de Referencia Local **Campo Inchauspe**

- Origen en el Punto astronómico denominado Campo Inchauspe



Marcos de Referencia

- El Marco de Referencia Geodésico es el soporte para la confección de cartografía. Sin Marco de Referencia Geodésico no hay cartografía posible.

- Un Marco de Referencia Geodésico Nacional debe ser **ÚNICO**.

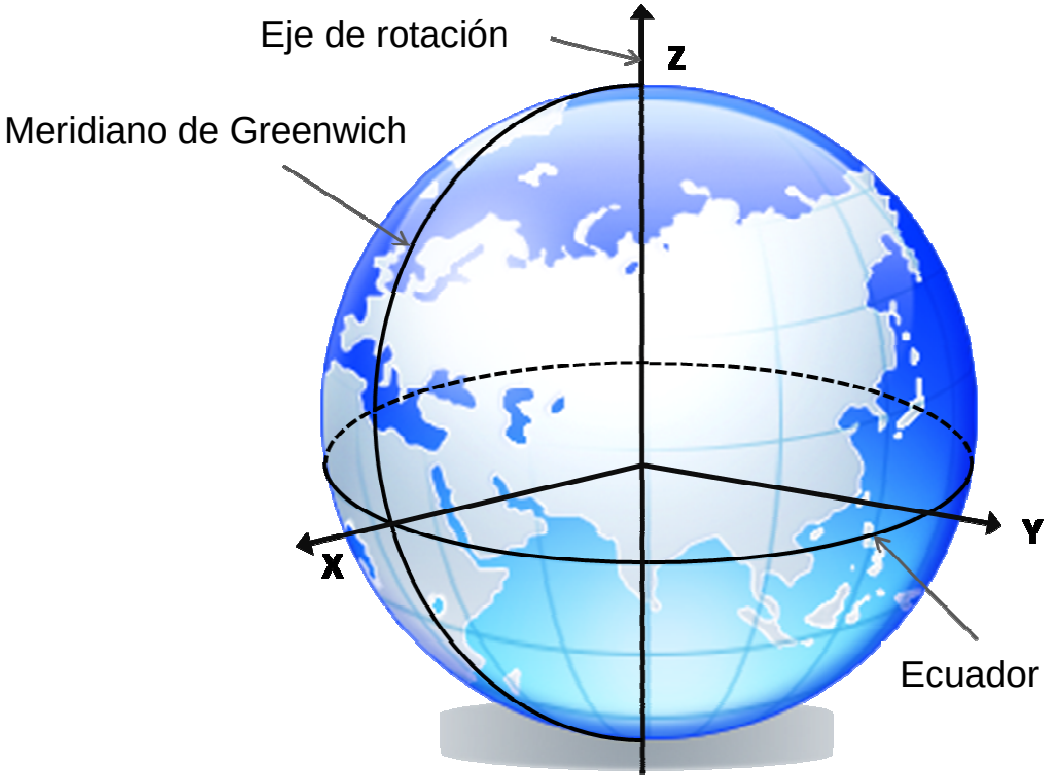
Marcos de Referencia

¿Qué ocurriría si no se utilizara un Marco de Referencia Único?



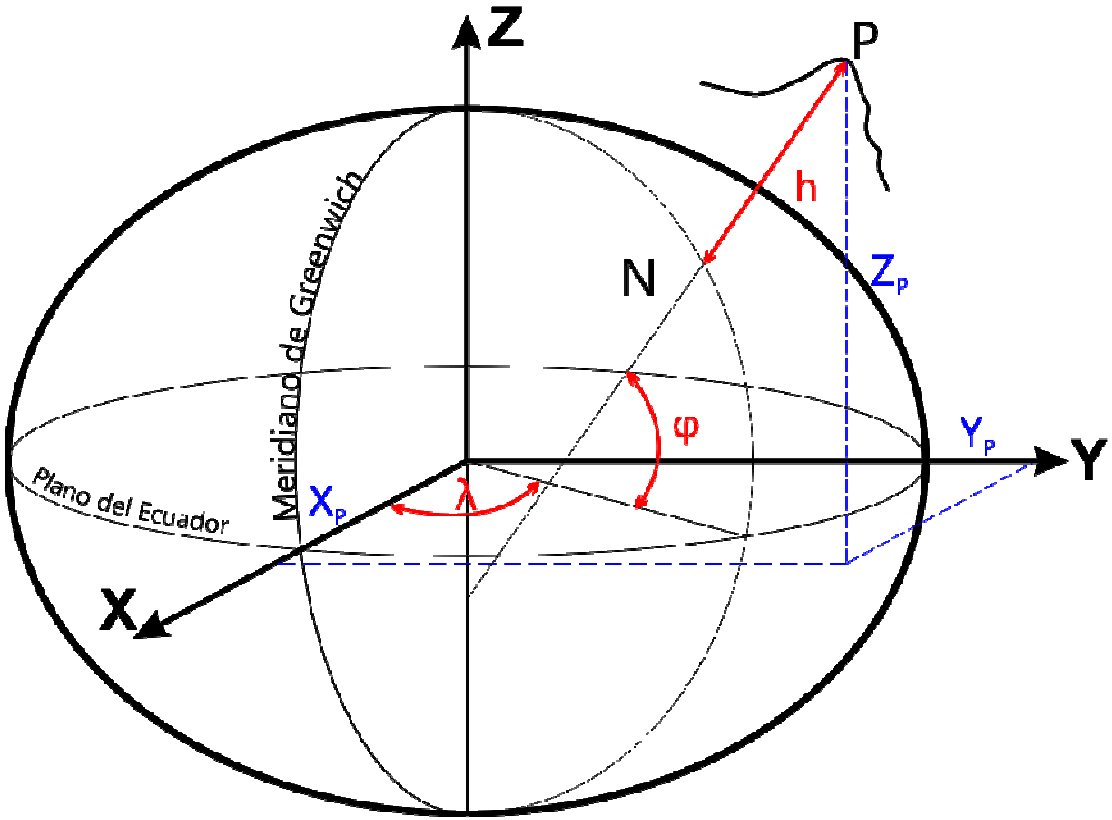
Sistema de Referencia Global

- Origen coincidente con el geocentro (centro de masa de la Tierra).
- Eje Z, paralelo a la dirección del polo para una época determinada.
- Eje X, coincidente con el plano meridiano de Greenwich para una época determinada.
- Eje Y, situado en el plano ecuatorial y perpendicular al plano XZ.
- Coordenadas cartesianas tridimensionales **XYZ**



Sistema de Referencia Global

- Para mejor interpretación de la ubicación se aplica transformación (X,Y,Z)→(φ,λ,h)



Parámetros de elipsoides

Elipsoide Hayford:

Semieje mayor (a) = 6.378.388 m

Achatamiento (f) = 1 / 297

Elipsoide WGS 84 :

Semieje mayor (a) = 6.378.137 m

Achatamiento (f) = 1 / 298,257223563

Elipsoide GRS 80 :

Semieje mayor (a) = 6.378.137 m

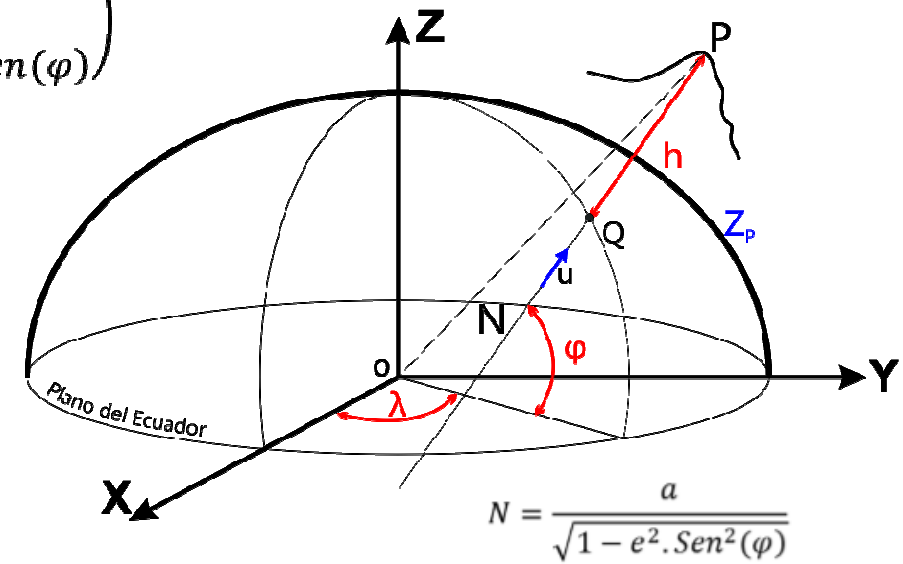
Achatamiento (f) = 1 / 298,257222101

Relación entre Sistemas de Coordenadas

$$(X, Y, Z) \longrightarrow (\varphi, \lambda, h)$$

$$\overline{OQ} = \begin{pmatrix} XQ \\ YQ \\ ZQ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N.Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ N.Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ N.(1-e^2).Sen(\varphi) \end{pmatrix} = N.\bar{u} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ N.e^2.Sen(\varphi) \end{pmatrix}$$

$$\bar{h} = \overline{QP} = \begin{pmatrix} N.Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ N.Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ h.Sen(\varphi) \end{pmatrix} = h.\bar{u}$$



$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2.Sen^2(\varphi)}}$$

$\overline{OP} = \overline{OQ} + \overline{QP}$, *Con lo que:*

$$\overline{OP} = \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h).Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ (N+h).Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ [N.(1-e^2)+h].Sen(\varphi) \end{pmatrix} = (N+h)\begin{pmatrix} Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ .Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ .Sen(\varphi) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ N.e^2.Sen(\varphi) \end{pmatrix}$$

Relación entre Sistemas de Coordenadas

$(\varphi, \lambda, h) \rightarrow (X, Y, Z)$

$$tg(\varphi) = \frac{Z\frac{b}{a} + e^2 a.sen^3(u)}{\frac{b}{a}(\rho - e^2 a.\cos^3(u))} \qquad -90^o \le \varphi \le 90^o$$

$$tg(\lambda) = \frac{Y}{X} \qquad -180^o \le \lambda \le 180^o$$

$$h = \rho.\cos(\varphi) + Z.sen(\varphi) - a(1 - e^2.sen^2(\varphi))^{1/2}$$

Donde:

- $r = \left(\rho^2 + Z^2\right)^{1/2}$
- $\rho = \left(X^2 + Y^2\right)^{1/2}$
- $tg(u) = \frac{Z}{\rho}.\left(\frac{b}{a} + e^2 \frac{a}{r}\right)$

$$-90^o \le u \le 90^o$$

Relación entre Sistemas de Coordenadas

X: 1856059.095 m

Y: -4607179.612 m

Z: -3988295.669 m



Latitud: -38º 57' 3.77611”

Longitud: -68º 3' 26.46568”

Altura Elipsoidal: 323.476 m

Sistemas de Referencia Espacial y Terrestre

- En base a las precisiones alcanzadas en las técnicas de medición, para la astronomía, geodesia y geodinámica es necesario contar con dos Sistemas de Referencia: uno fijo en el Espacio y otro fijo en la Tierra.

- Al Sistema fijo en el Espacio se lo denomina **International Celestial Reference System (ICRS – Sistema de Referencia Internacional Celeste)**.

- Al Sistema Fijo a la Tierra se lo denomina **International Terrestrial Reference System (ITRS – Sistema de Referencia Internacional Terrestre)**.

ICRS / ICRF

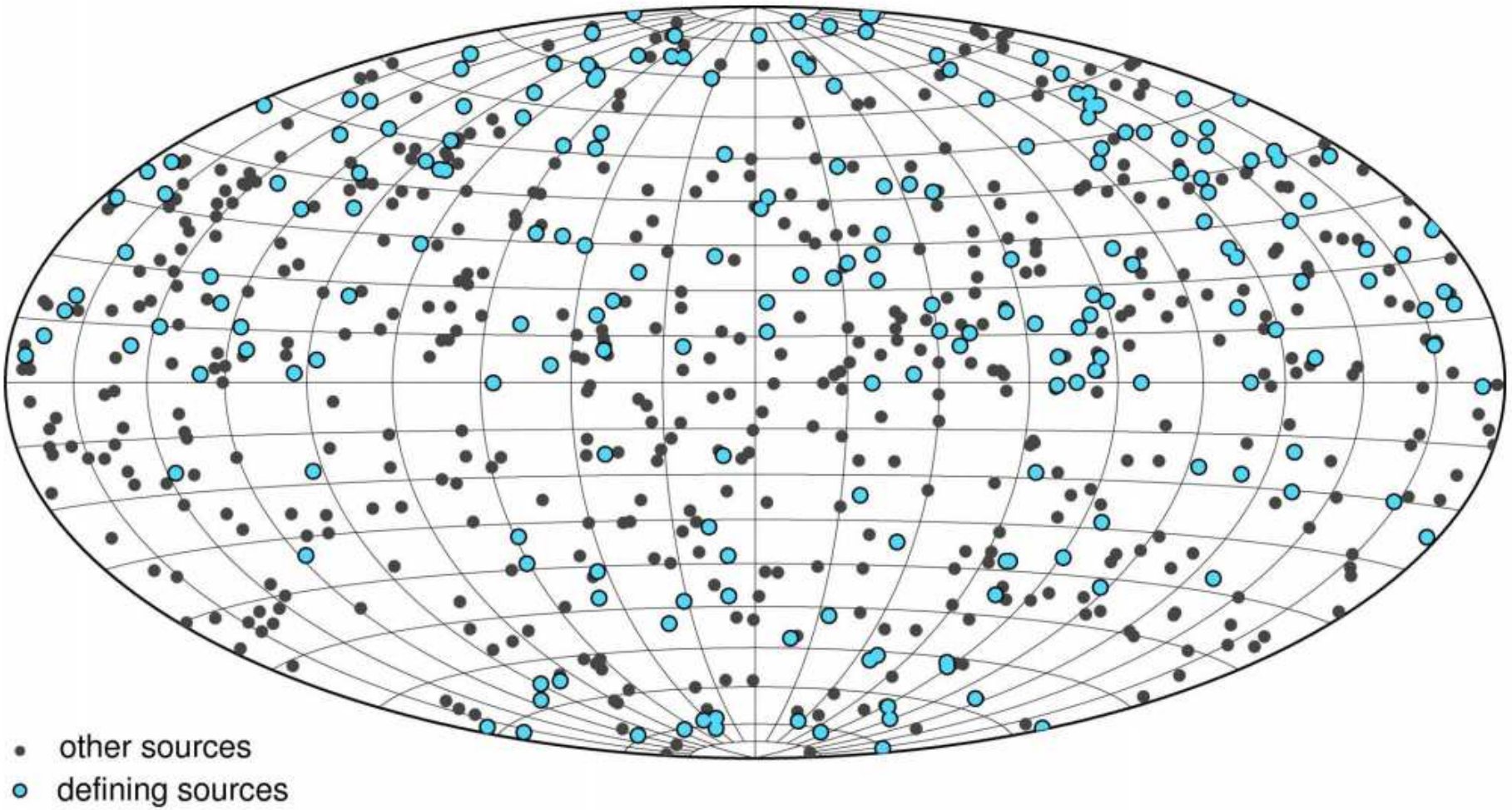
International Celestial Reference System
International Celestial Reference Frame

El ICRS es un Sistema de Referencia inercial ubicado en el Baricentro del Sistema Solar con los ejes en direcciones fijas apuntando a quásares.

El eje X se ubica fijo en una posición cercana al punto Vernal, el eje Z cercano al polo norte celeste y el plano XY está ubicado cercano al plano medio definido para la época J2000.

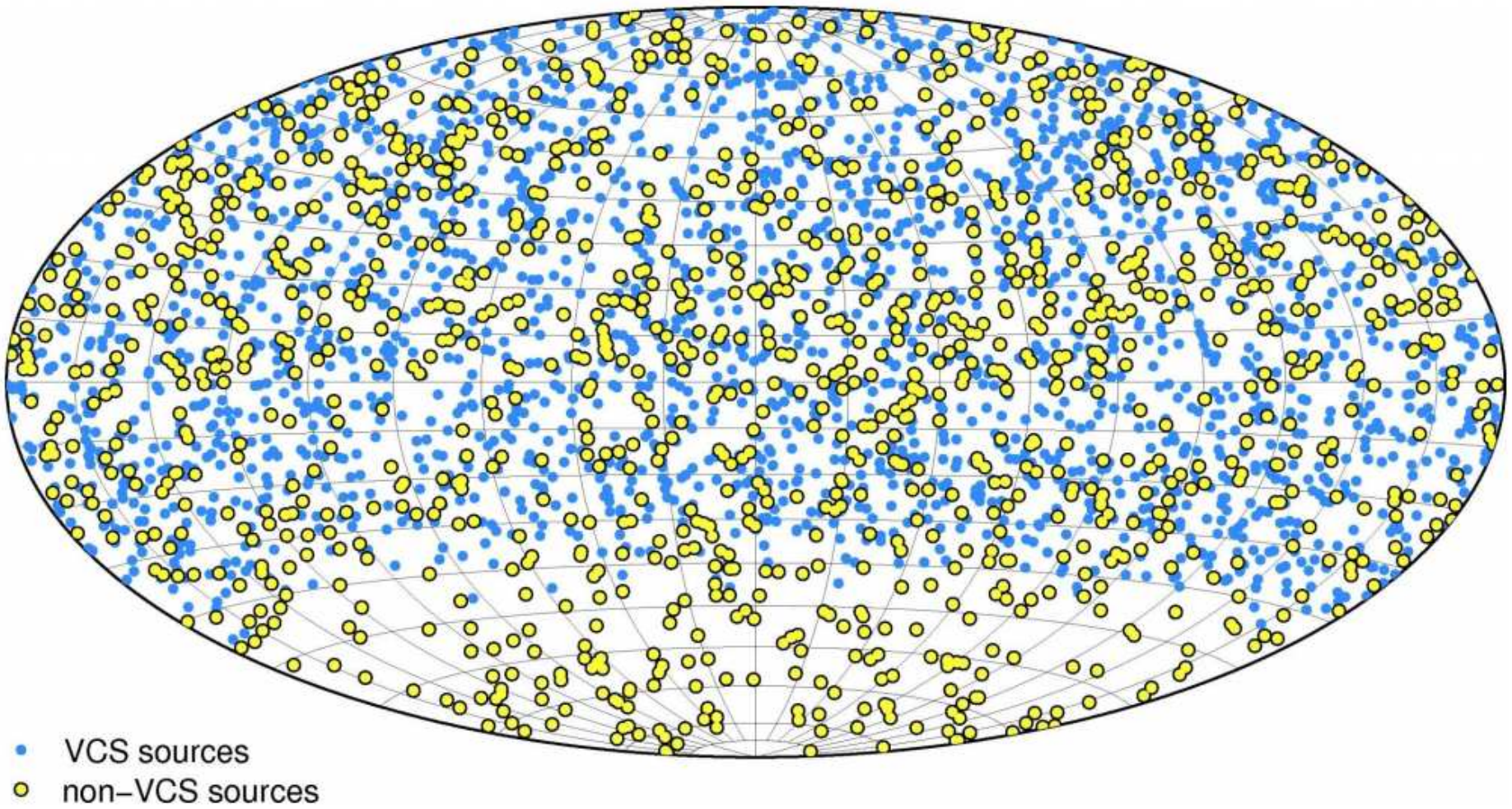
El ICRF (Marco de Referencia Celeste Internacional), queda materializado por 608 quásares seleccionados por la Unión Astronómica Internacional.

ICRF1 (1997)



608 quásares (212 son de definición)

ICRF2 (2009)



3414 quásares (295 son de definición)

ICRF1 vs ICRF2

	ICRF1	ICRF2
Observaciones VLBI	1.6 Millones	6.5 Millones
Fuentes de Definición	212	295
Cantidad Total de fuentes	608	3414
Estabilidad de los ejes	~30 μas	~10 μas

ITRS / ITRF

International Terrestial Reference System
International Terrestial Reference Frame

El ITRS es un Sistema de Referencia Fijo a la Tierra, con el origen ubicado en el centro de masas terrestre con los ejes en direcciones fijas establecidas por convención.

El eje X se ubica fijo en la dirección del Meridiano de Greenwich, el eje Z coincidente con el eje de rotación terrestre, el eje Y completa la terna y el plano XY está ubicado coincidente con el plano del ecuador. Todas estas direcciones están definidas para una época en particular que forma parte de la definición.

El ITRF (Marco de Referencia Terrestre Internacional), queda materializado por puntos fijos del terreno que posean técnicas permanentes de medición astronómica.

Sistema de Referencia Convencional Terrestre

Movimiento de oscilación del eje de rotación de la tierra:

Respecto al sistema Espacio Fijo (Precesión y nutación)

Respecto al sistema Tierra Fija (movimiento polar)

Definición del Sistema Convencional:

ICRS: Sistema de Referencia Celeste Internacional (inercial)

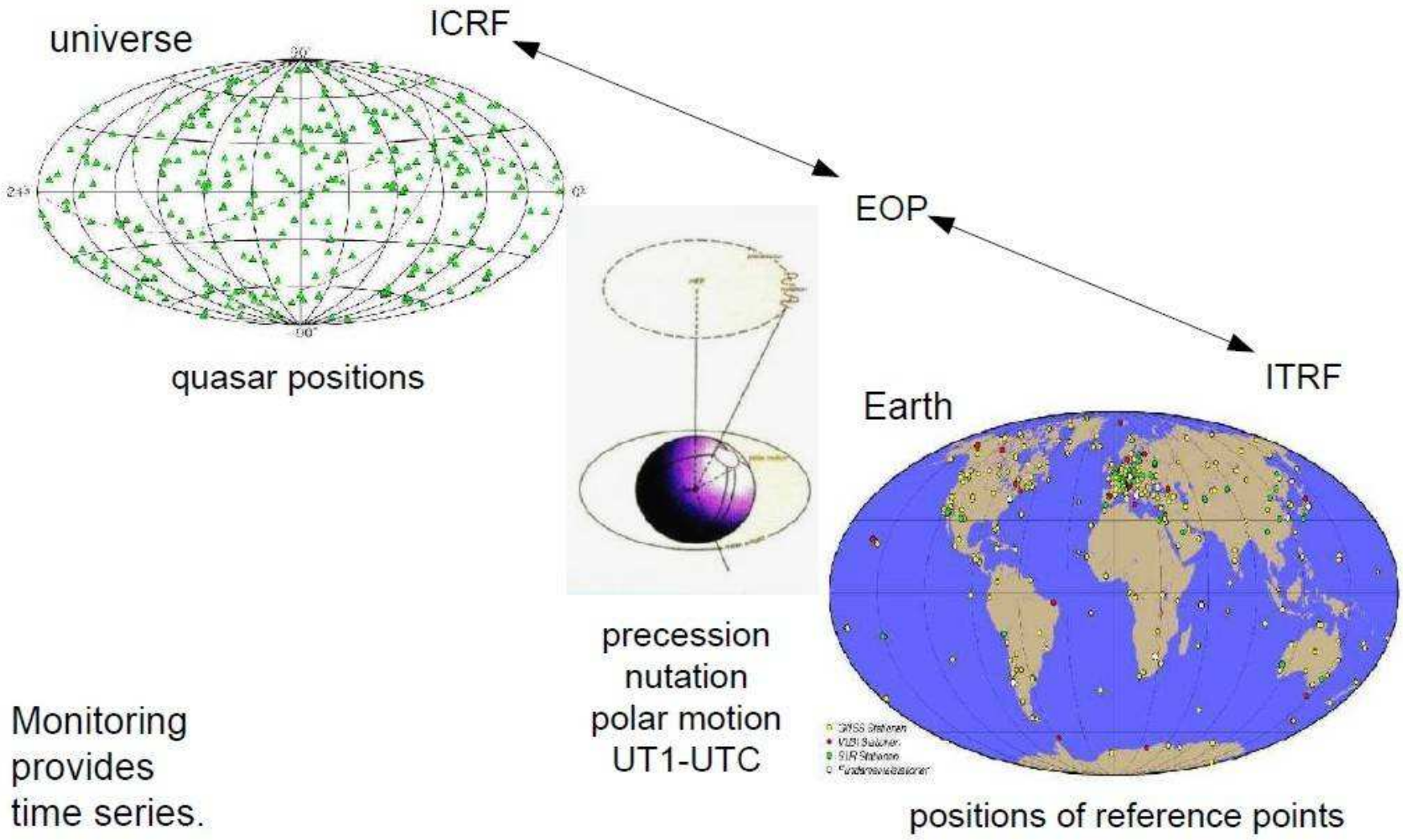
ITRS: Sistema de Referencia Terrestre Internacional (convencional)

CTP: Polo Terrestre Convencional (Eje $Z=X_3$)

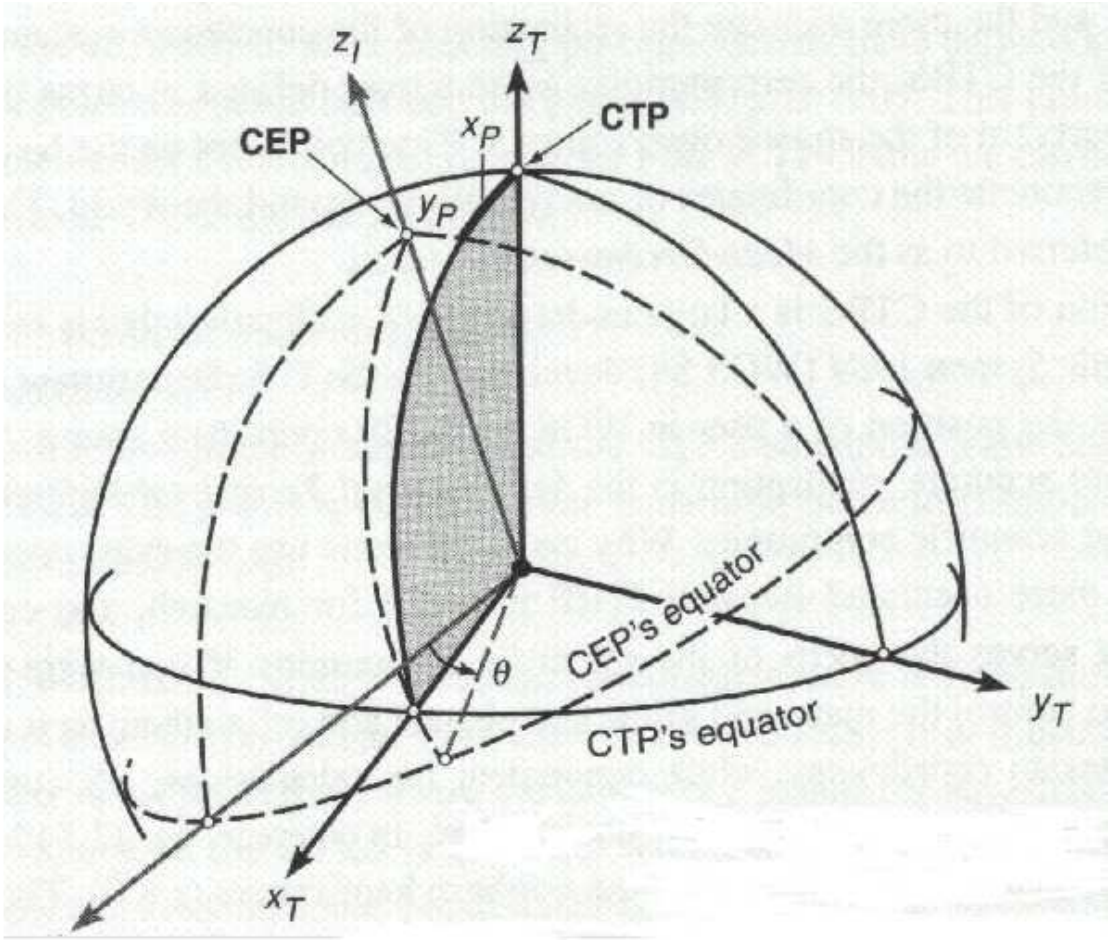
Meridiano de Greenwich: (Eje $X=X_1$)

Ejes X_1, X_2, X_3: Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS), definidos para una época en particular.

Sistemas de Referencia Espacial y Terrestre



Relación entre Espacio Fijo y Tierra Fija



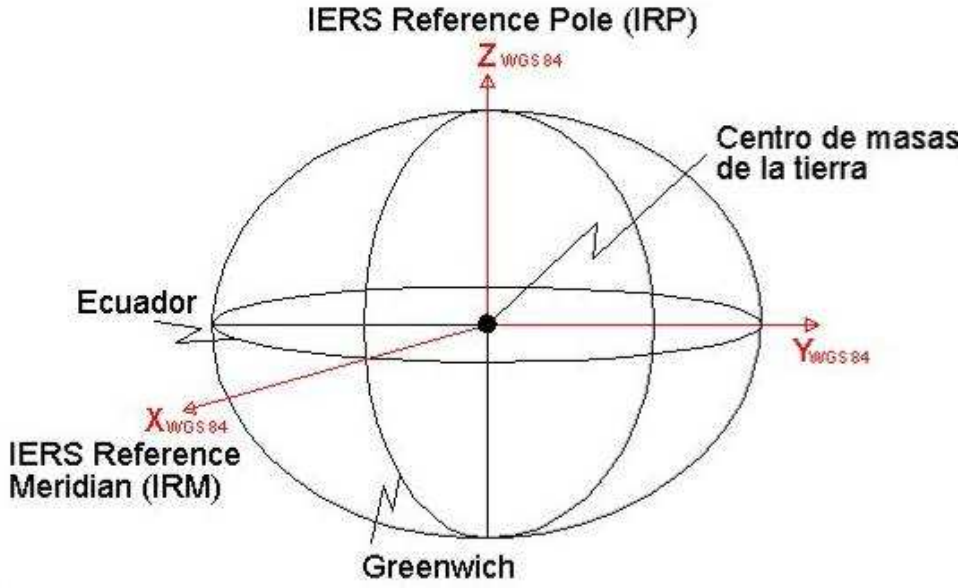
CTP: Polo Terrestre Convencional

CEP: Polo de efemérides celeste

Θ: Tiempo Sidéreo en Greenwich

EOP: Parámetros de Orientación Terrestre.

Marco de Referencia Global **WGS84**



- Origen: centro de masas de la tierra
- Eje Z: Corresponde a la dirección del Polo Convencional Terrestre (CTP en su sigla en inglés) (época 1984.0) definida por el BIPM.
- Eje X: Intersección del Meridiano de Referencia Internacional (IRM en su sigla en inglés) y el plano que pasa por el origen, normal al eje Z. El IRM es cercano al Meridiano Cero definido por el BIPM (época 1984.0).
- Eje Y: Completa el sistema de coordenadas ortogonal, Earth-Centered Earth-Fixed (ECEF).
- Establecido por el **Departamento de Defensa de los EEUU**.

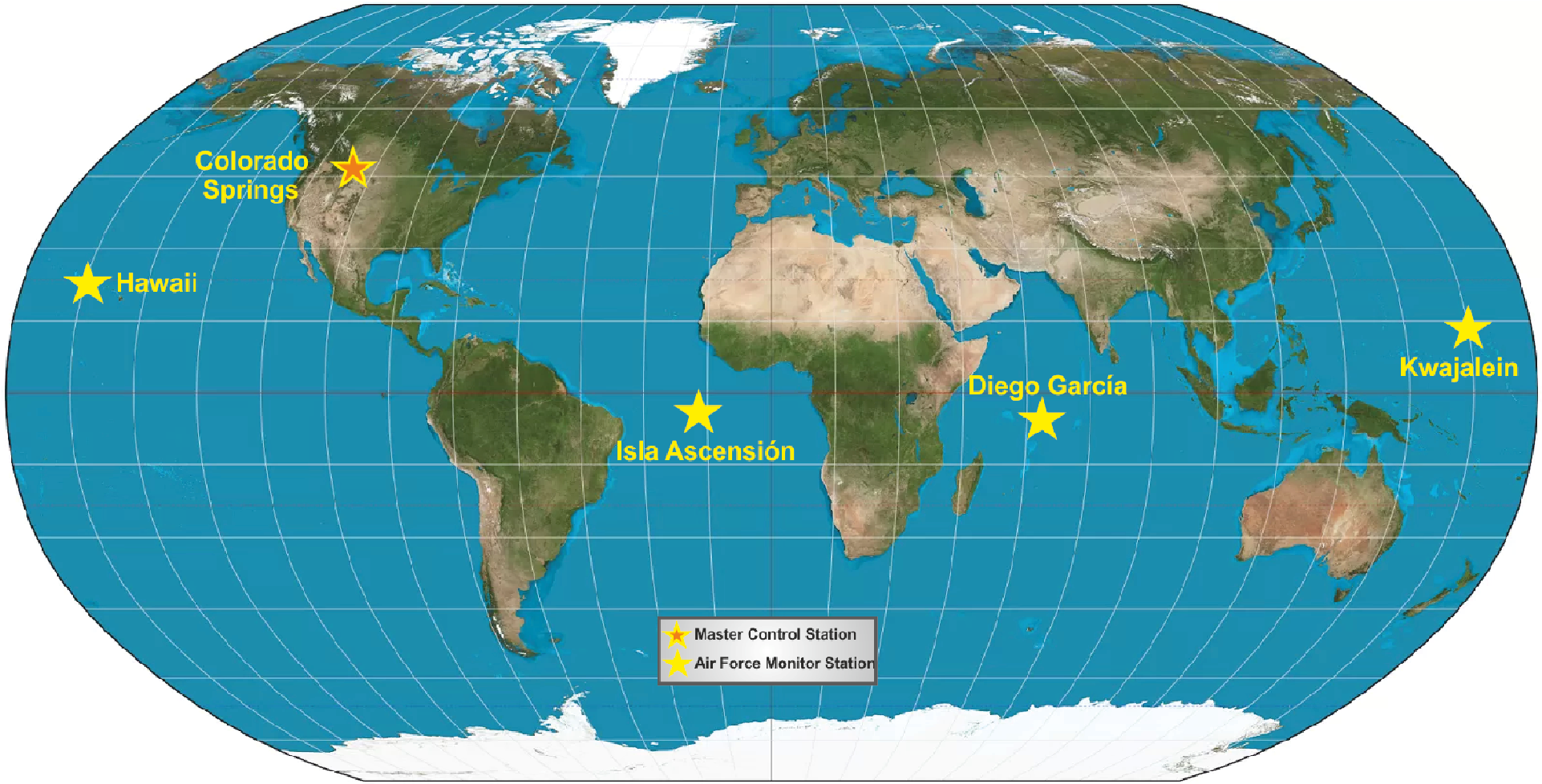
Estaciones GPS - Definición **WGS 84**

WGS 84 Station Set G873: Cartesian Coordinates*, 1997.0 Epoch

Station Location	NIMA Station Number	X (km)	Y (km)	Z (km)
Air Force Stations				
Colorado Springs	85128	-1248.597221	-4819.433246	3976.500193
Ascension	85129	6118.524214	-1572.350829	-876.464089
Diego Garcia(<2 Mar 97)	85130	1917.032190	6029.782349	-801.376113
Diego Garcia(>2 Mar 97)	85130	1916.197323	6029.998996	-801.737517
Kwajalein	85131	-6160.884561	1339.851686	960.842977
Hawaii	85132	-5511.982282	-2200.248096	2329.481654
NIMA Stations				
Australia	85402	-3939.181976	3467.075383	-3613.221035
Argentina	85403	2745.499094	-4483.636553	-3599.054668
England	85404	3981.776718	-89.239153	4965.284609
Bahrain	85405	3633.910911	4425.277706	2799.862677
Ecuador	85406	1272.867278	-6252.772267	-23.801890
US Naval Observatory	85407	1112.168441	-4842.861714	3985.487203
China	85409	-2148.743914	4426.641465	4044.656101

*Coordinates are at the antenna electrical center.

Estaciones GPS (USAF-NGA)
Determinación **WGS84**



Definición **WGS 84** - Parámetros

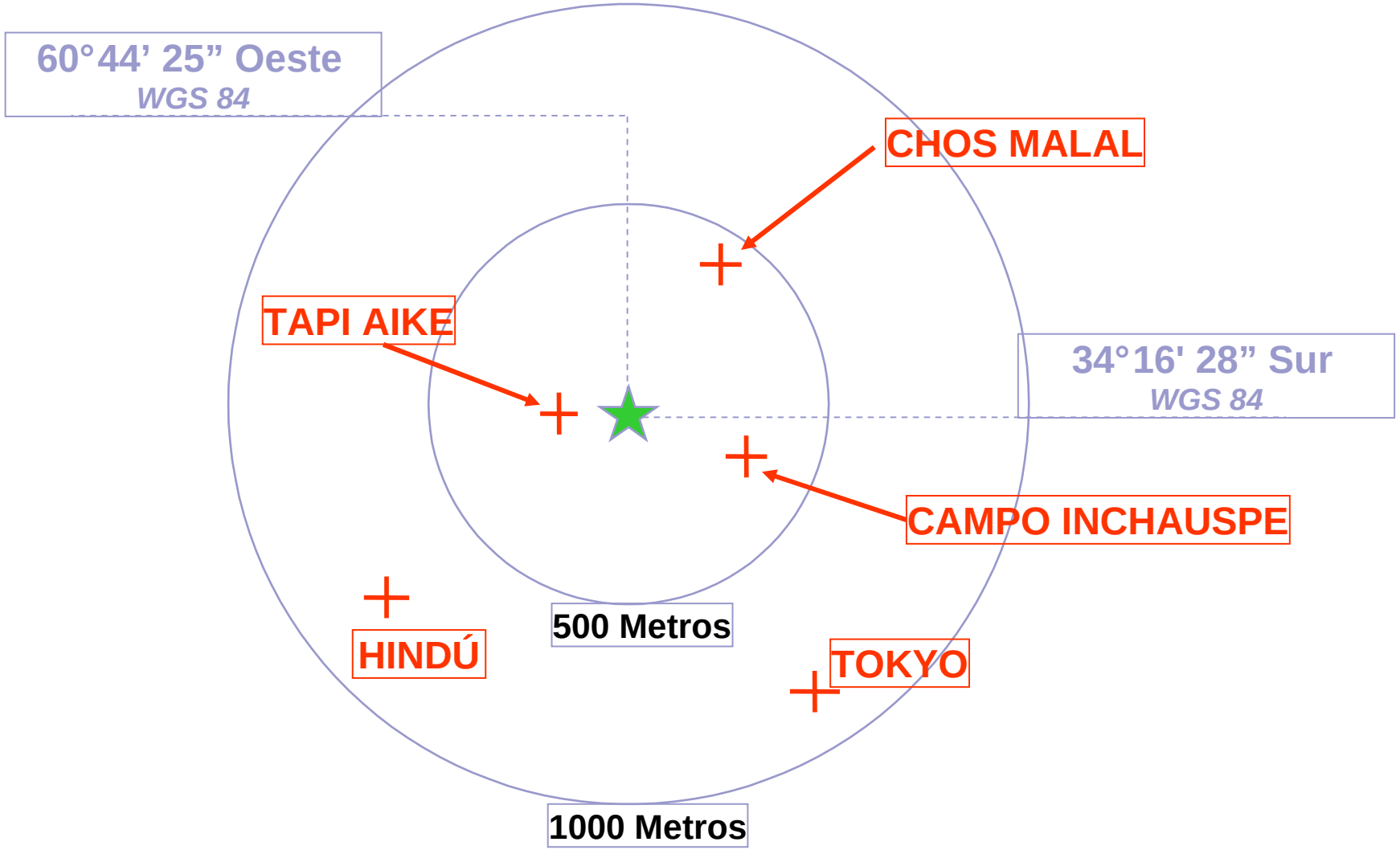
WGS 84 Four Defining Parameters

Parameter	Notation	Value
Semi-major Axis	a	6378137.0 meters
Reciprocal of Flattening	1/f	298.257223563
Angular Velocity of the Earth	ω	$7292115.0 \times 10^{-11}$ rad/s
Earth's Gravitational Constant (Mass of Earth's Atmosphere Included)	GM	$3986004.418 \times 10^{8} m^3/s^2$

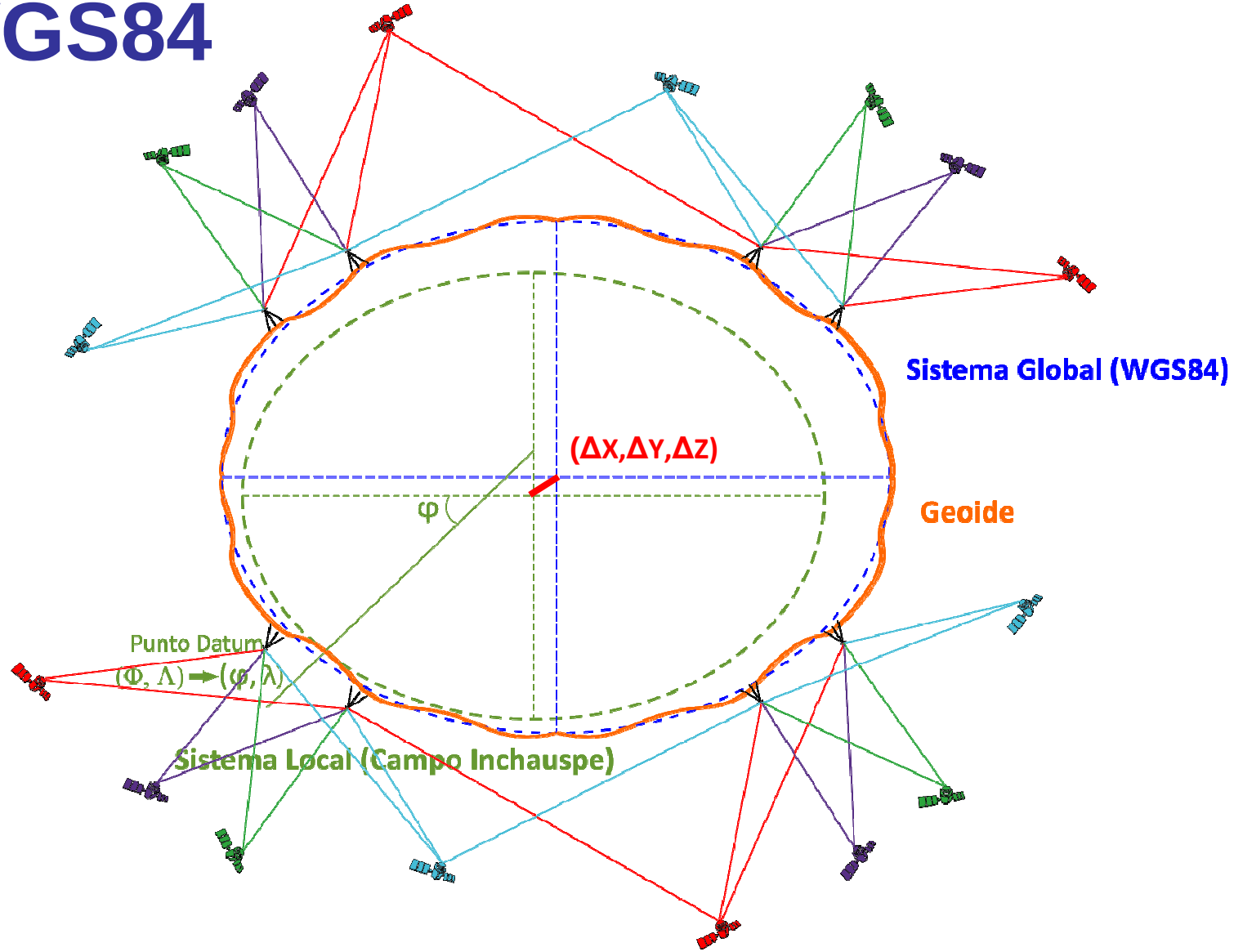
WGS 84 Parameter Values for Special Applications

Parameter	Notation	Value	Accuracy (1σ)
Gravitational Constant (Mass of Earth's Atmosphere Not Included)	GM′	$3986000.9 \times 10^{8} m^3/s^2$	$\pm 0.1 \times 10^{8} m^3/s^2$
GM of the Earth's Atmosphere	GM_A	$3.5 \times 10^{8} m^3/s^2$	$\pm 0.1 \times 10^{8} m^3/s^2$
Angular Velocity of the Earth (In a Precessing Reference frame)	ω^*	$(7292115.8553 \times 10^{-11} + 4.3 \times 10^{-15} T_U)$ rad/s	$\pm 0.15 \times 10^{-11}$ rad/s

Diferencia entre **Marcos de Referencia Locales** y **WGS84**



Diferencia entre **Campo Inchauspe** y **WGS84**



Transformación de Molodensky

$$\varphi_1, \lambda_1, h_1 \rightarrow \varphi_2, \lambda_2, h_2$$

$$\Delta\varphi = \rho'' / M \cdot (- \Delta X \cdot SEN\,\varphi \cdot COS\,\lambda - \Delta Y \cdot SEN\,\varphi \cdot SEN\,\lambda + \Delta Z \cdot COS\varphi + (a \cdot \Delta f + f \cdot \Delta a) \cdot SEN\,2\,\varphi)$$

$$\Delta\lambda = \rho'' / N \cdot COS\,\varphi \cdot (- \Delta X \cdot SEN\,\lambda + \Delta Y \cdot COS\,\lambda)$$

$$\Delta h = \Delta X \cdot COS\,\varphi \cdot COS\,\lambda + \Delta Y \cdot COS\,\varphi \cdot SEN\,\lambda + \Delta Z \cdot SEN\,\varphi + (a \cdot \Delta f + f \cdot \Delta a) \cdot SEN^2\,\varphi - \Delta a$$

Los valores $\Delta\varphi$ y $\Delta\lambda$ se obtienen en segundos de arco (“) y Δh en metros (m)

Parámetros de transformación

Campo Inchauspe 69 $\Rightarrow$ WGS 84 (Posgar 94)

$$\Delta X = - 148 \text{ m}$$
$$\Delta Y = + 136 \text{ m}$$
$$\Delta Z = + 90 \text{ m}$$
$$\Delta a = - 251 \text{ m}$$
$$\Delta f = - 1{,}419270155 \cdot 10^{-5}$$

Las diferencias (Δ) se obtienen como :

Sistema Campo Inchauspe 69 - Sistema Posgar 94

Parámetros de transformación

Appendix B.7
Transformation Parameters
Local Geodetic Datums to WGS 84

Continent: SOUTH AMERICA

Local Geodetic Datums		Reference Ellipsoids and Parameter Differences			No. of Satellite Stations Used	Transformation Parameters				
Name	Code	Name	Δa(m)	Δf x 10^4		Cycle Number	Pub. Date	ΔX(m)	ΔY(m)	ΔZ(m)
BOGOTA OBSERVATORY Colombia	BOO	International 1924	-251	-0.14192702	7	0	1987	307 ±6	304 ±5	-318 ±6
CAMPO INCHAUSPE 1969 Argentina	CAI	International 1924	-251	-0.14192702	20	0	1987	-148 ±5	136 ±5	90 ±5
CHUA ASTRO Paraguay	CHU	International 1924	-251	-0.14192702	6	0	1987	-134 ±6	229 ±9	-29 ±5
CORREGO ALEGRE Brazil	COA	International 1924	-251	-0.14192702	17	0	1987	-206 ±5	172 ±3	-6 ±5

Sistema de Referencia Global **ITRS** (Sistema de Referencia Internacional Terrestre)

- Sistema de Referencia fijo a la Tierra, con origen ubicado en el centro de masas terrestre con los ejes en direcciones fijas establecidas por convención.

- El eje X se ubica fijo en la dirección del Meridiano de Greenwich, el eje Z coincidente con el eje de rotación terrestre, el eje Y completa la terna y el plano XY está ubicado coincidente con el plano del ecuador. Todas estas direcciones están definidas para una época en particular que forma parte de la definición.

- Definido por el **IERS (Servicio Internacional de Rotación Terrestre)**.

Marco de Referencia Global
ITRF (Marco de Referencia Terrestre Internacional)

- Materialización del Sistema de Referencia Internacional Terrestre (ITRS).
- Lista de **coordenadas** y **velocidades** para una selección de estaciones permanentes
- El Servicio Internacional de Rotación Terrestre (IERS) calcula un ITRF periódicamente. La última publicación es el ITRF08, con datos de estaciones permanentes hasta el año 2008

Marco de Referencia Global
ITRF

- **La posición de un punto situado sobre la superficie de la Tierra en una época "t" cuyas coordenadas "" son funciones del tiempo, se expresa como:**

$$\bar{X}_{(t)} = \bar{X}_0 + \frac{d\bar{X}_0}{dt}.(t - t_0) + \sum_i \Delta\bar{X}_{i(t)} \qquad \bar{X}_{(t)} = \left(X_{(t)}; Y_{(t)}; Z_{(t)}\right)$$

- **Donde:**
  - $\Delta\bar{X}_{i_{(t)}}$ **son las correcciones debidas a diversos factores variables en el tiempo (desplazamientos ocasionados por mareas terrestres, incluidos los efectos permanentes, la carga oceánica, mareas polares, rebote postglacial, carga atmosférica, variaciones del geocentro, etc.)**
  - $\bar{X}_{(t)}$ **y** t_0 **las coordenadas y el tiempo de la época inicial**

Marcos de Referencia

- La definición y densificación de los Marcos de Referencia actuales en los que se apoya el sistema **GPS** solo son posibles a través de las técnicas de medición espacial más precisas.

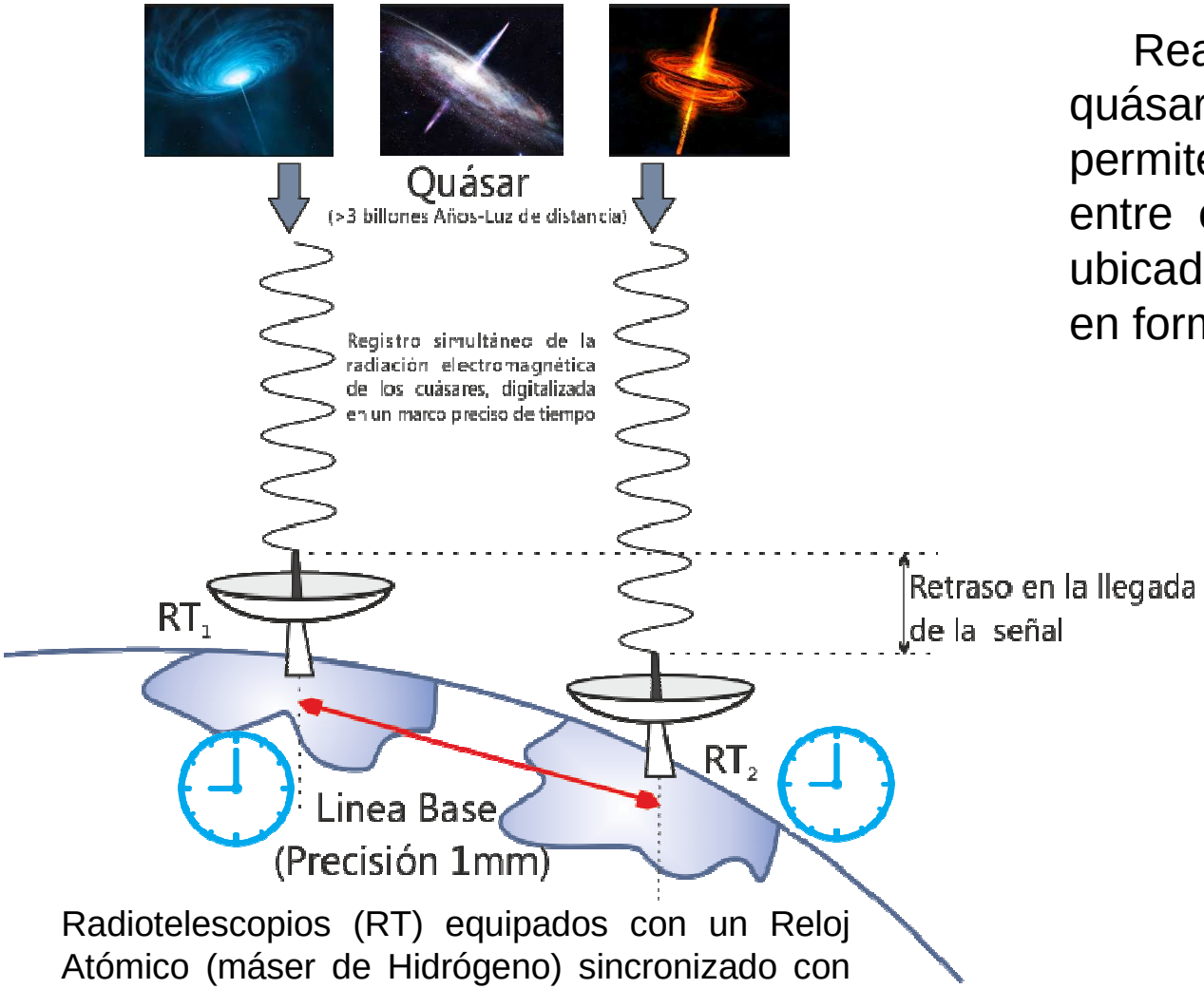
- Su precisión y realización es de fundamental importancia para estudiar fenómenos que suceden en la Tierra (rebote post-glacial, cambios de nivel medio del mar, estudios atmosféricos, etc).

Marcos de Referencia Globales

- Las técnicas para la determinación de los Marcos de Referencia son:
  - VLBI
  - SLR
  - LLR
  - DORIS
  - GNSS

VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

Interferometría de base muy larga



Radiotelescopios (RT) equipados con un Reloj Atómico (máser de Hidrógeno) sincronizado con la red de estaciones VLBI

Realiza mediciones hacia quásares y por interferometría permite calcular la distancia entre centros de observación ubicados a muy larga distancia en forma muy precisa.

Esta técnica permite establecer el Marco Celeste de Referencia Internacional, como así también contribuye a la determinación de los parámetros de rotación terrestre.

VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

Interferometría de base muy larga



Antena VLBI – Observatorio TIGO, Concepción, Chile

VLBI (Very Long Baseline Interferometry)

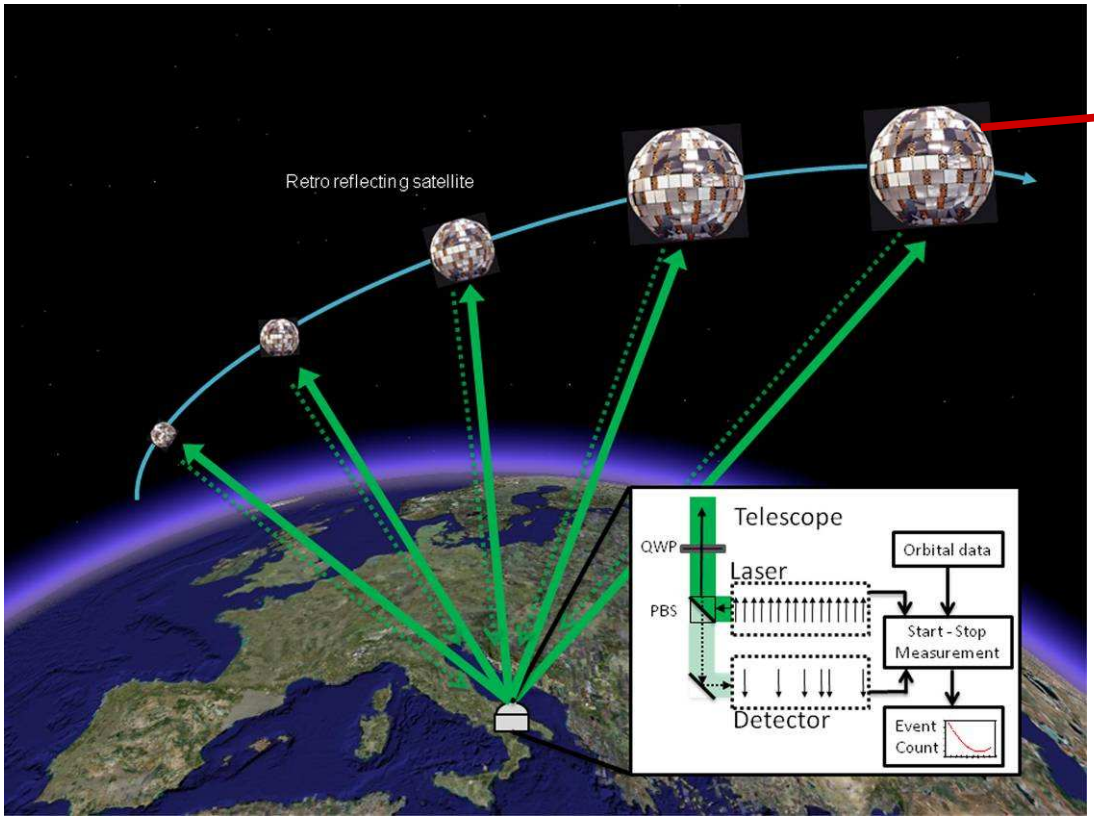


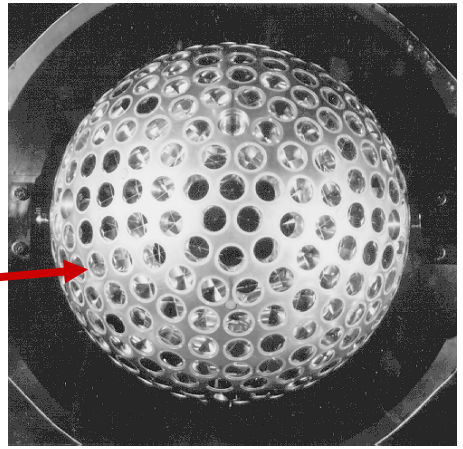
Estado actual de la red

SLR (Satellite Laser Ranging)

Medición láser a satélites

Medición de distancias a satélites desde observatorios sobre la superficie de terrestre.
La medición se realiza con láser, teniendo en cuenta el tiempo que tarda la señal en llegar al satélite y regresar





Satélite LAGEOS (LAser GEOdinamics Satellite)

SLR (Satellite Laser Ranging)

Medición láser a satélites



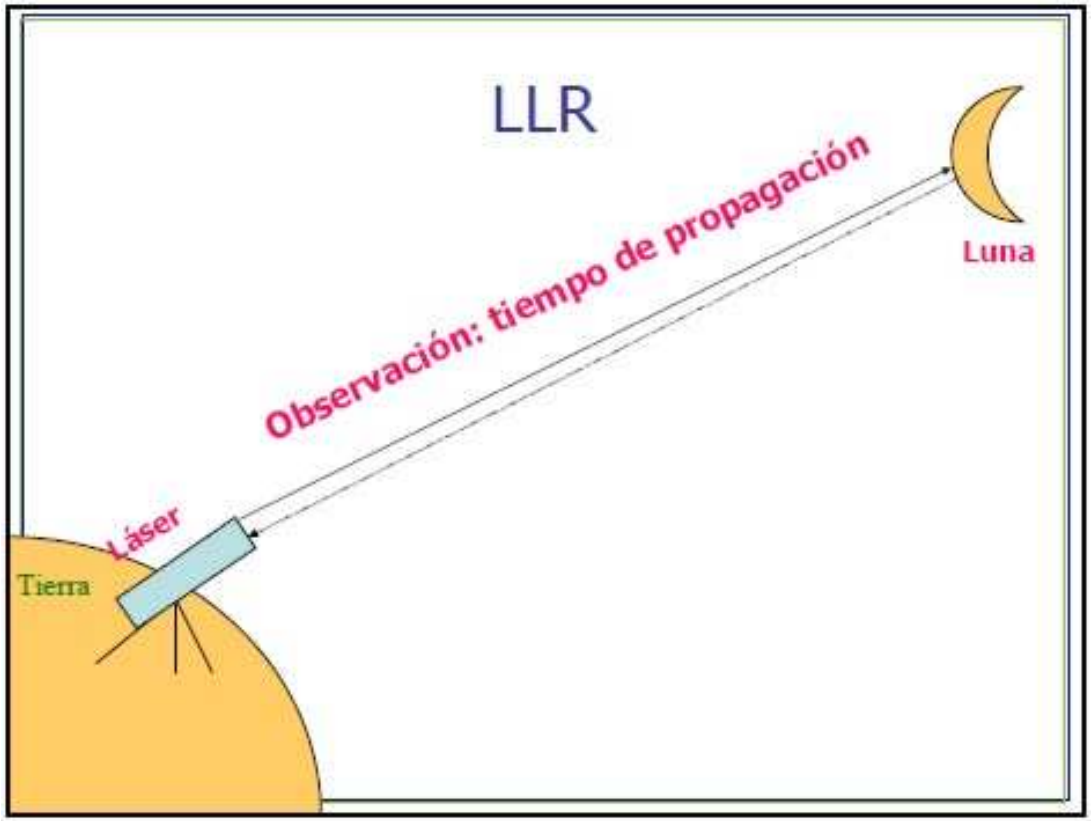


Sistema SLR – Observatorio TIGO, Concepción, Chile

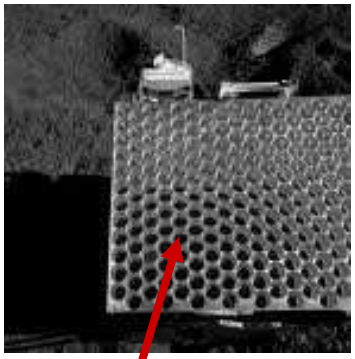
LLR (Lunar Laser Ranging)

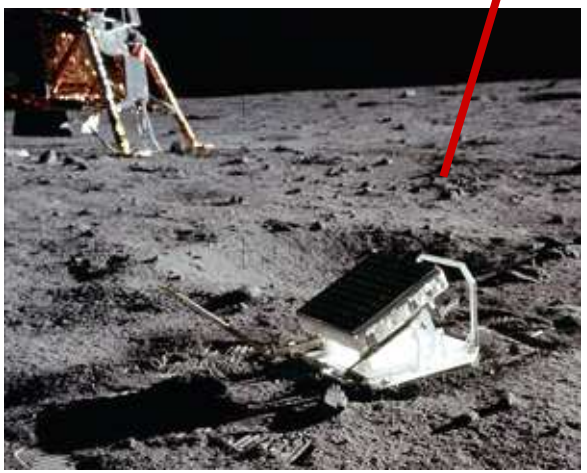
Medición láser a la luna

Medición de distancias a la Luna desde observatorios sobre la superficie de terrestre hacia reflectores en la luna.
La medición se realiza con láser, teniendo en cuenta el tiempo que tarda la señal en llegar al satélite y regresar.

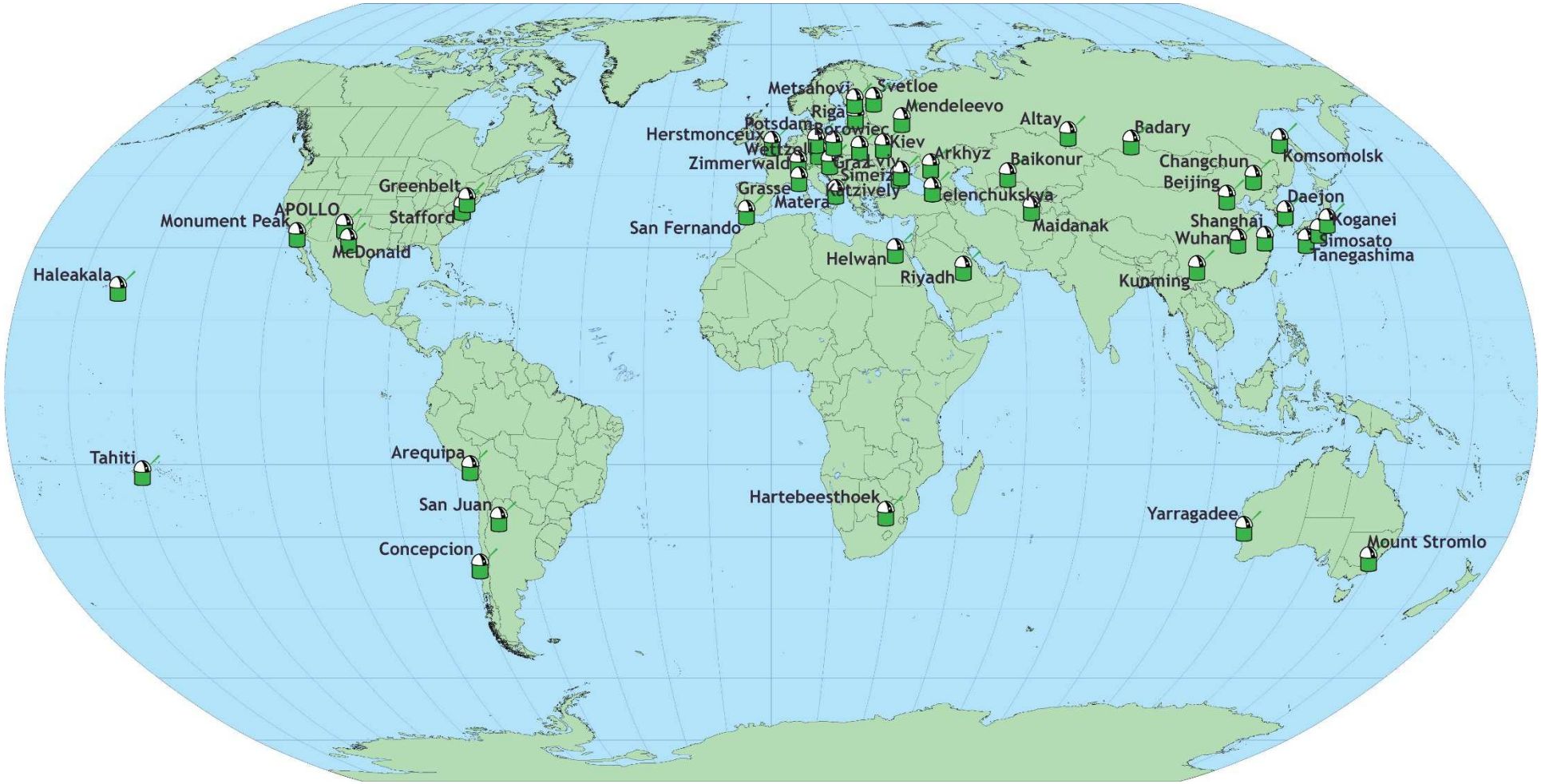


Reflector colocado por la misión del Apolo XI





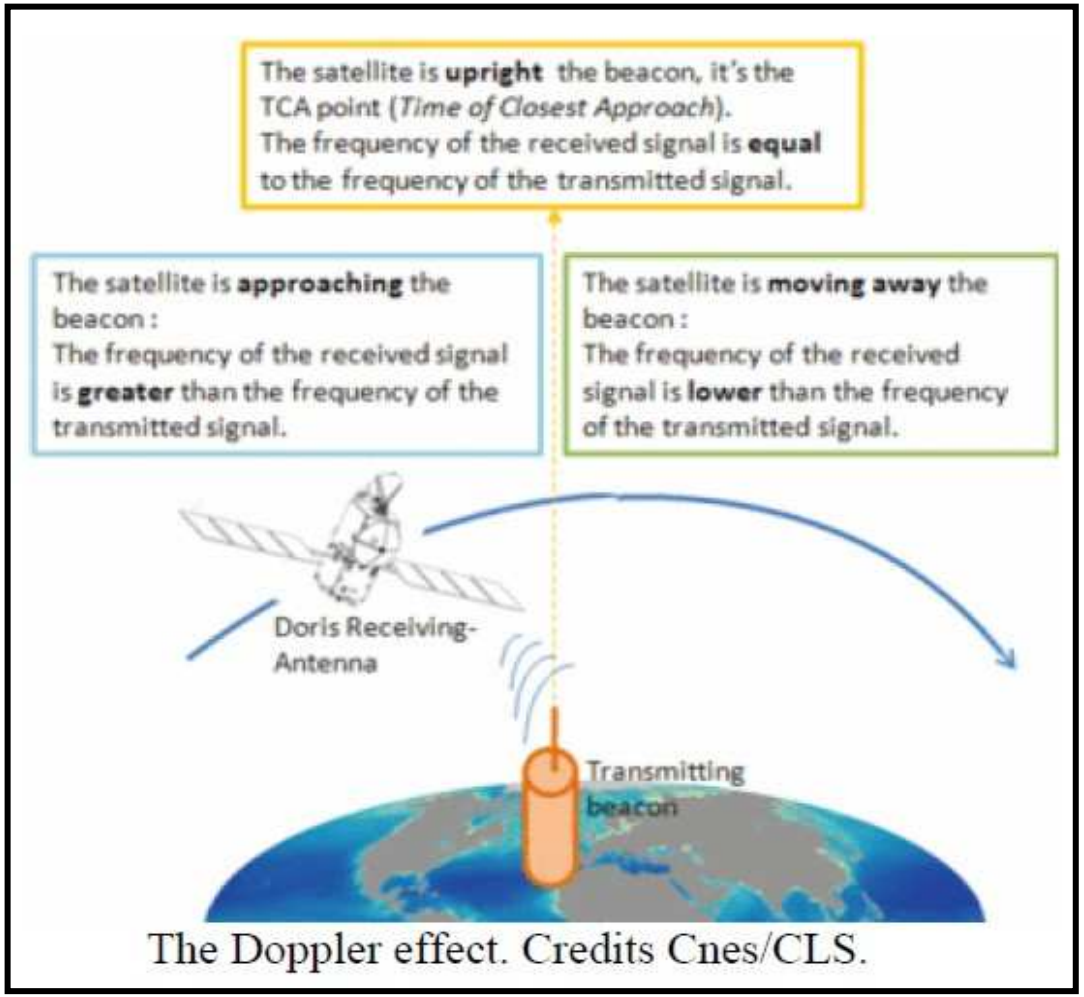
Mapa de observatorios SLR/LLR



Estado actual de la red

DORIS (Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite)

Orbitografía Doppler y Posicionamiento Radial Integrado por Satélite



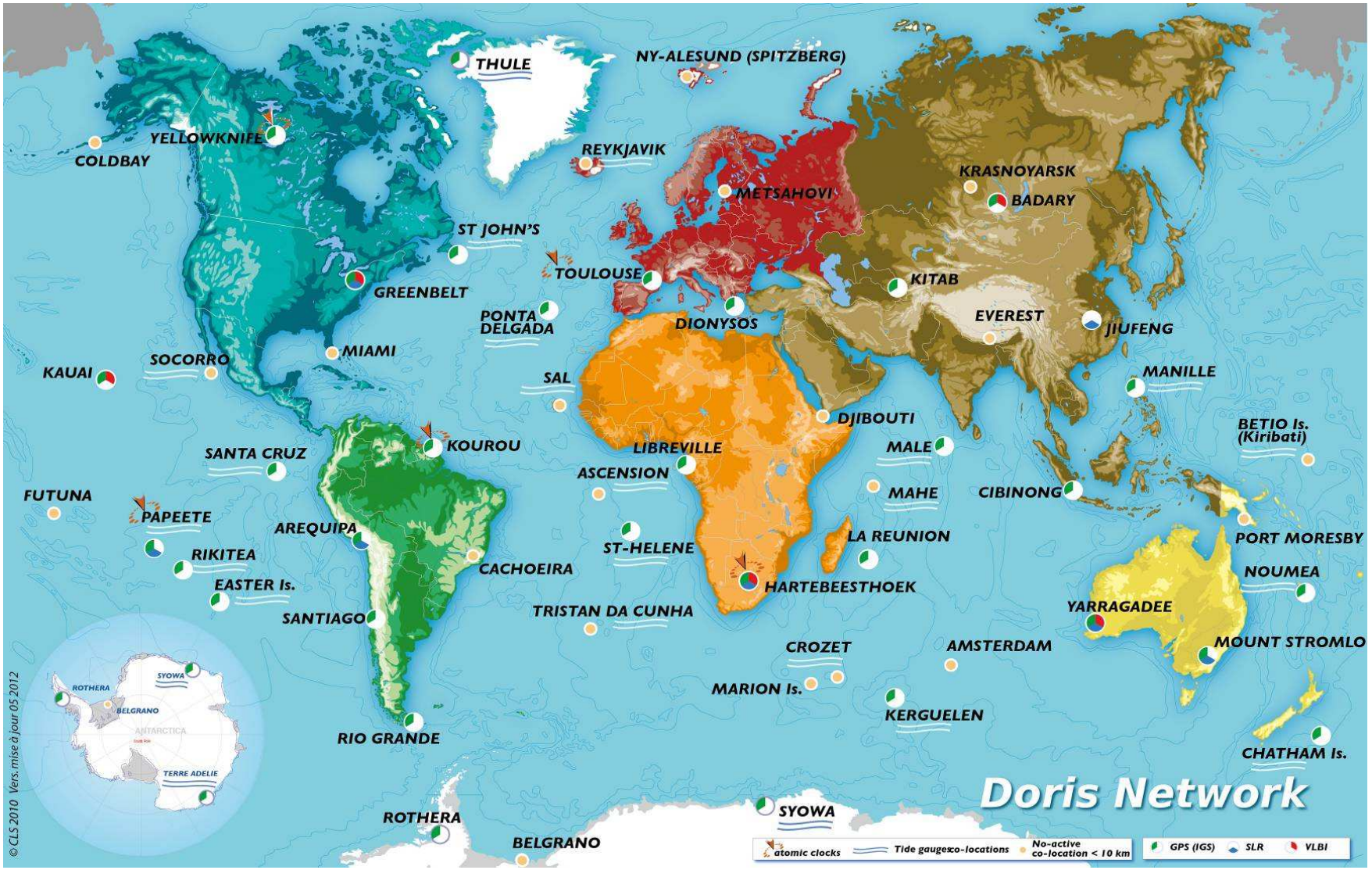
The Doppler effect. Credits Cnes/CLS.

Permite calcular la órbita de los satélites con gran precisión utilizando el efecto Doppler.

Tanto el satélite como el receptor (beacon), emiten y reciben las señales.

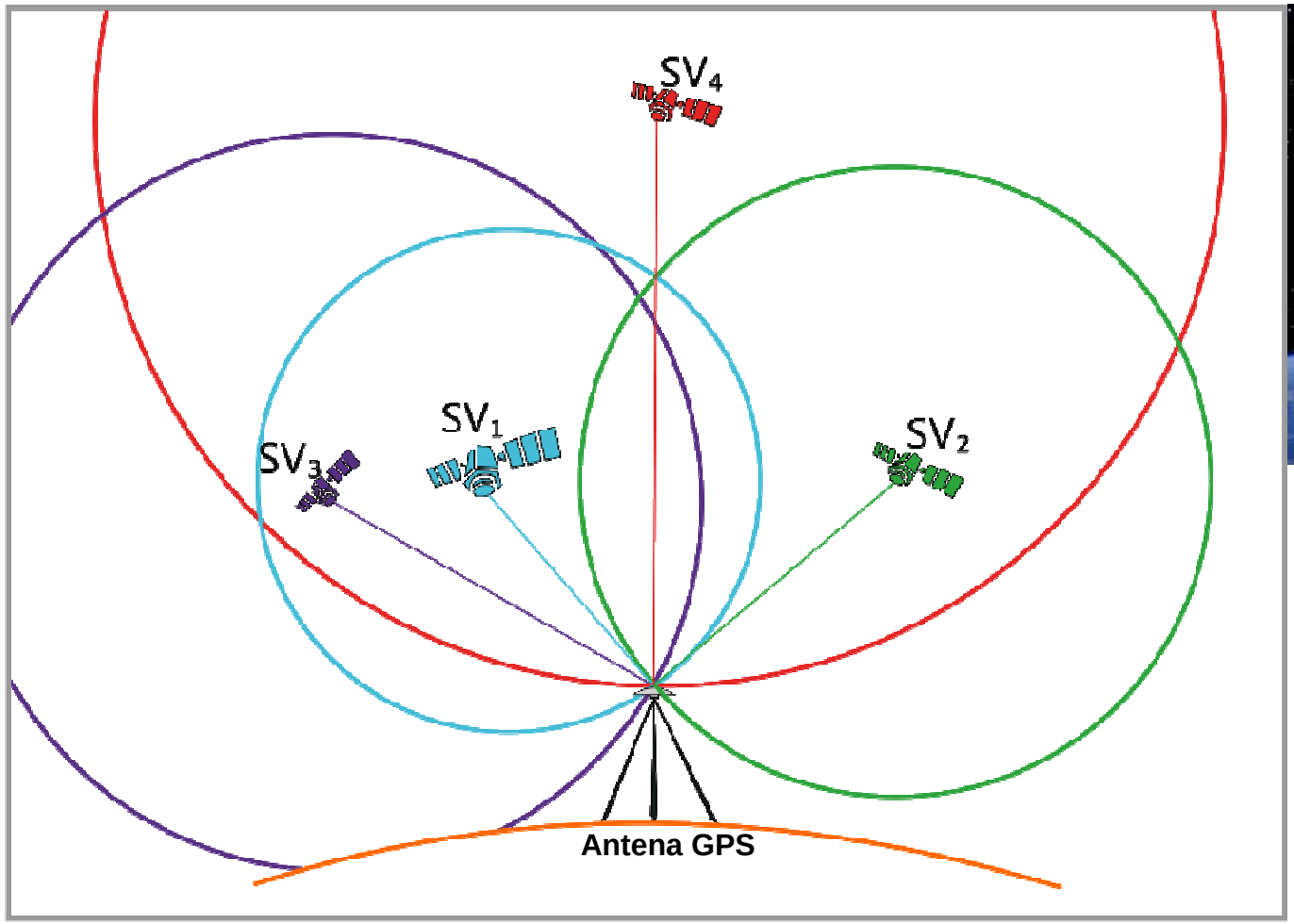
Utilizan los satélites SPOT, JASON y ENVISAT.

Mapa de los observatorios DORIS



GPS / GNSS
(Global Navigation Satellite System)

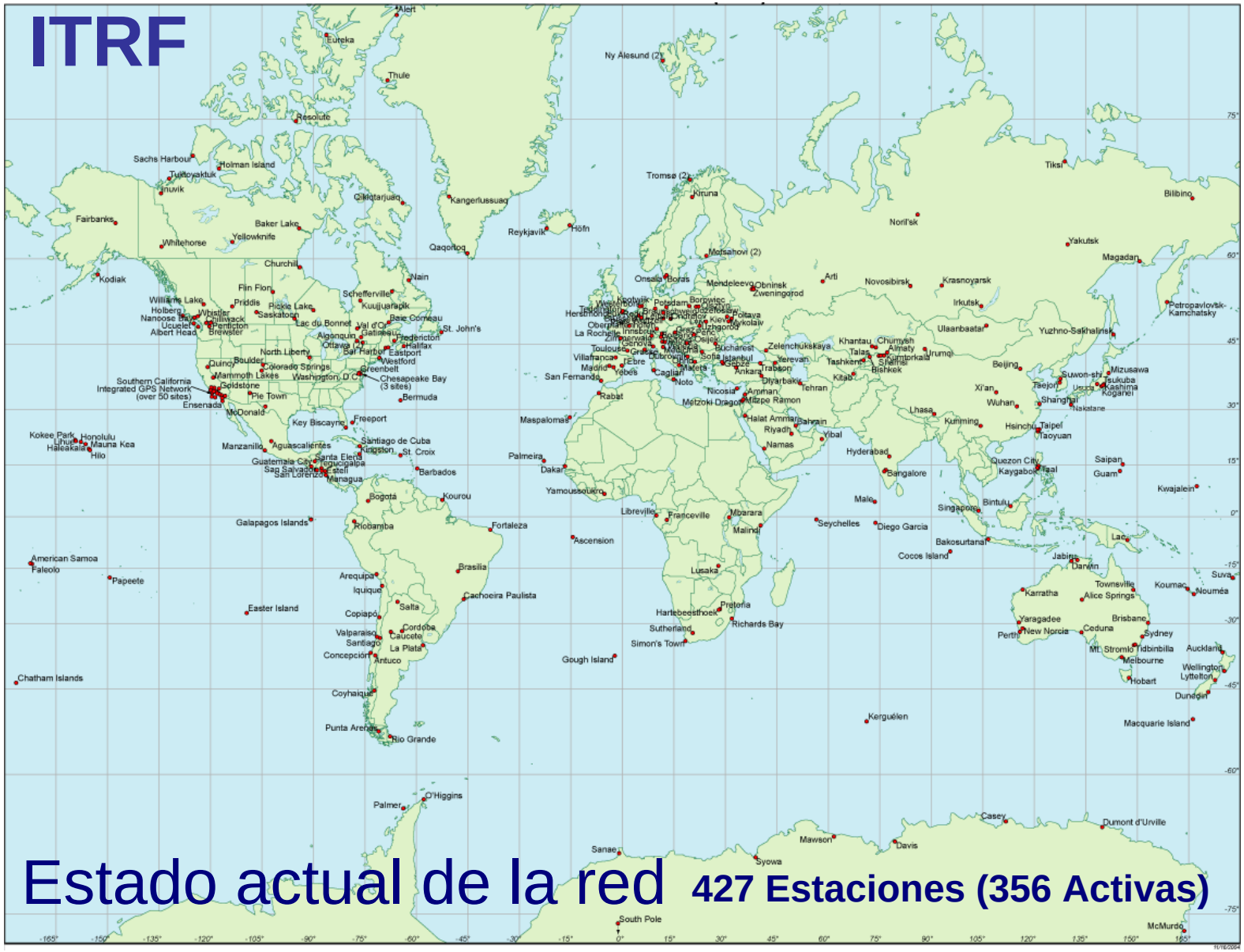
Determinación de la posición de un punto observando al menos 4 satélites en forma simultánea.





Satélite GPS

GPS / GNSS - Marco de Referencia Global



Transformaciones entre Sistemas de Coordenadas

Relación entre Sistemas de Coordenadas

- El sistema de coordenadas φ,λ,h es más intuitivo para su interpretación.

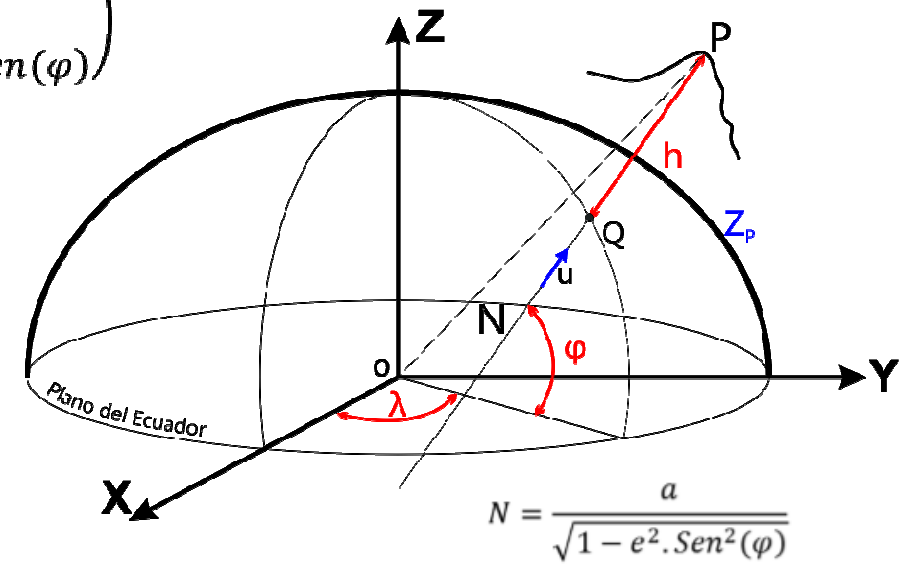
- El GPS trabaja en el sistema de coordenadas cartesianas geocéntricas, aunque disponga los resultados en φ,λ,h para su mejor visualización.

Relación entre Sistemas de Coordenadas

$$(X, Y, Z) \longrightarrow (\varphi, \lambda, h)$$

$$\overline{OQ} = \begin{pmatrix} XQ \\ YQ \\ ZQ \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N.Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ N.Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ N.(1-e^2).Sen(\varphi) \end{pmatrix} = N.\bar{u} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ N.e^2.Sen(\varphi) \end{pmatrix}$$

$$\bar{h} = \overline{QP} = \begin{pmatrix} N.Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ N.Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ h.Sen(\varphi) \end{pmatrix} = h.\bar{u}$$



$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2.Sen^2(\varphi)}}$$

$\overline{OP} = \overline{OQ} + \overline{QP}$, *Con lo que:*

$$\overline{OP} = \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (N+h).Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ (N+h).Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ [N.(1-e^2)+h].Sen(\varphi) \end{pmatrix} = (N+h)\begin{pmatrix} Cos(\varphi).Cos(\lambda) \\ .Cos(\varphi).Sen(\lambda) \\ .Sen(\varphi) \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ N.e^2.Sen(\varphi) \end{pmatrix}$$

Relación entre Sistemas de Coordenadas

$(\varphi, \lambda, h) \rightarrow (X, Y, Z)$

$$tg(\varphi) = \frac{Z\frac{b}{a} + e^2 a.sen^3(u)}{\frac{b}{a}(\rho - e^2 a.\cos^3(u))} \qquad -90^o \le \varphi \le 90^o$$

$$tg(\lambda) = \frac{Y}{X} \qquad -180^o \le \lambda \le 180^o$$

$$h = \rho.\cos(\varphi) + Z.sen(\varphi) - a(1 - e^2.sen^2(\varphi))^{1/2}$$

Donde:

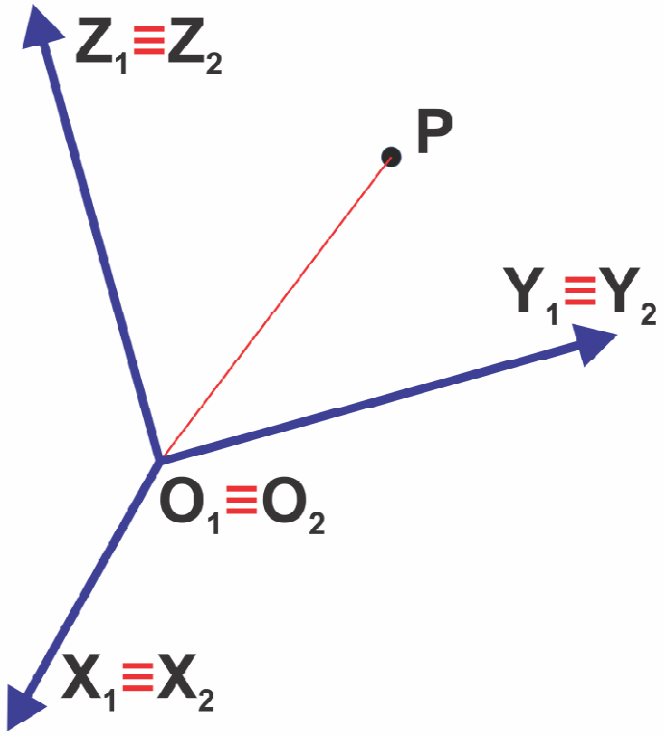
- $r = \left(\rho^2 + Z^2\right)^{1/2}$
- $\rho = \left(X^2 + Y^2\right)^{1/2}$
- $tg(u) = \frac{Z}{\rho}.\left(\frac{b}{a} + e^2 \frac{a}{r}\right)$

$$-90^o \le u \le 90^o$$

Transformación entre Sistemas de Coordenadas Cartesianos

El pasaje de un sistema 3D a otro, se efectúa con las siguientes operaciones:

- **Traslación** del origen **O** con sus tres componentes **(T_X,T_Y,T_Z)**
- **Rotación diferencial** definida por las de los ejes **(R_X,R_Y,R_Z)**
- **Factor de escala (1+μ)**



Se conoce como:

Transformación de Semejanza de 7 parámetros

Transformación entre Sistemas de Coordenadas Cartesianos

Transformación entre sistemas de coordenadas cartesianos

- $(X_i\ Y_i\ Z_i)$ coordenadas de un punto *P* en el sistema "i" (con i=1 o 2), la transformación será, matricialmente:

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix} + (1+\mu)R \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix}$$

Si los diferentes sistemas no son demasiado distantes:

- T_X, T_Y, T_Z no exceden algunos centenares de metros.
- La diferencia de escala μ, es de pocas ppm (10^{-6}).

- R es una rotación infinitesimal de la forma:

$$R = \begin{pmatrix} 1 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 1 \end{pmatrix}$$

Transformación entre Sistemas de Coordenadas Cartesianos

Matriz L

Modelo linealizado:

$$D_X = X_2 - X_1 = T_X + 0 + 0 + \mu X_1 + 0 \cdot R_Y + R_Y Z_1 - R_Z Y_1$$
$$D_Y = Y_2 - Y_1 = 0 + T_Y + 0 + \mu Y_1 - R_X Z_1 + 0 \cdot R_Y + R_Z X_1$$
$$D_Z = Z_2 - Z_1 = 0 + 0 + T_Z + \mu Z_1 + R_X Y_1 - R_Y X_1 + 0 \cdot R_Y$$

Matriz A

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X & 0 & Z & -Y \\ 0 & 1 & 0 & Y & -Z & 0 & X \\ 0 & 0 & 1 & Z & Y & -X & 0 \end{pmatrix}_1 \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \\ \mu \\ R_X \\ R_Y \\ R_Z \end{pmatrix}$$

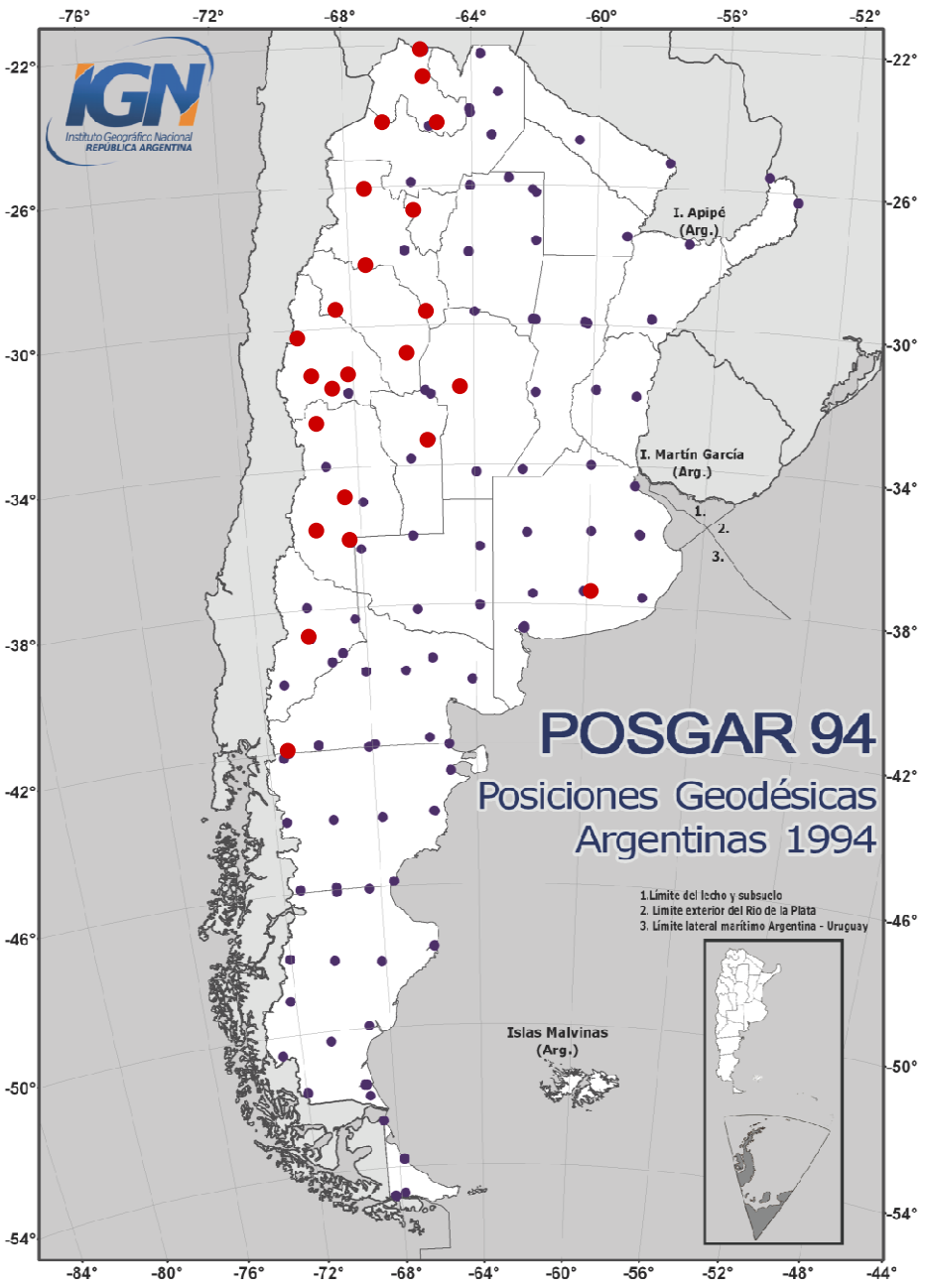
Matriz A

Matriz X

$$X = (At \times A)^{-1} (At \times L)$$

Se tendrán 3n ecuaciones, y grado de libertad (3n-7)

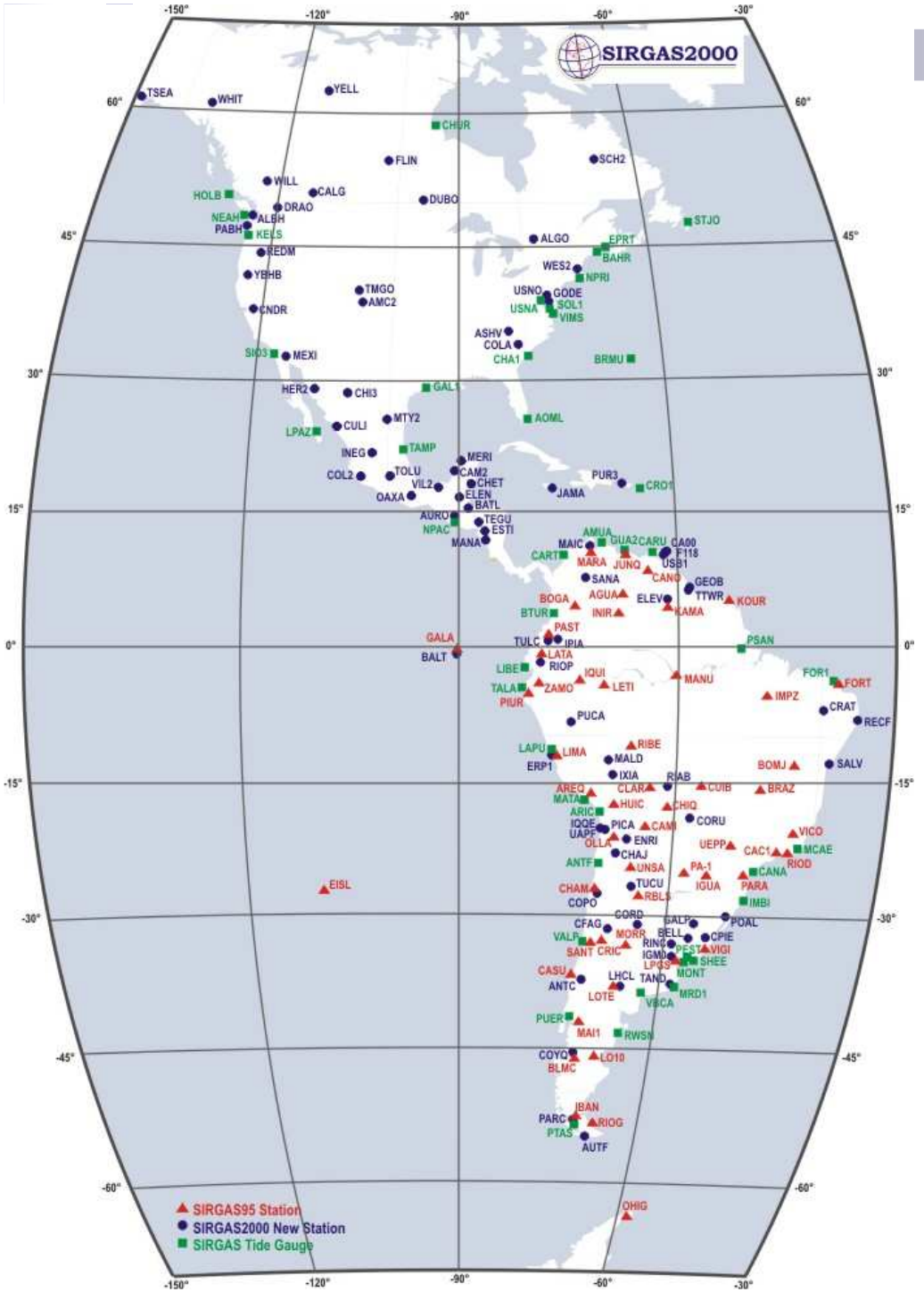
Evolución de Marcos de Referencia en Argentina



POSGAR 94

Posiciones Geodésicas Argentinas

- Medición, años 93 y 94
- 127 Puntos
  - 54 IGM
  - 23 CAP
- Procesamiento software comercial
- Vinculado a WGS 84
- Oficializado por el IGM el 13 de mayo de 1997



SIRGAS

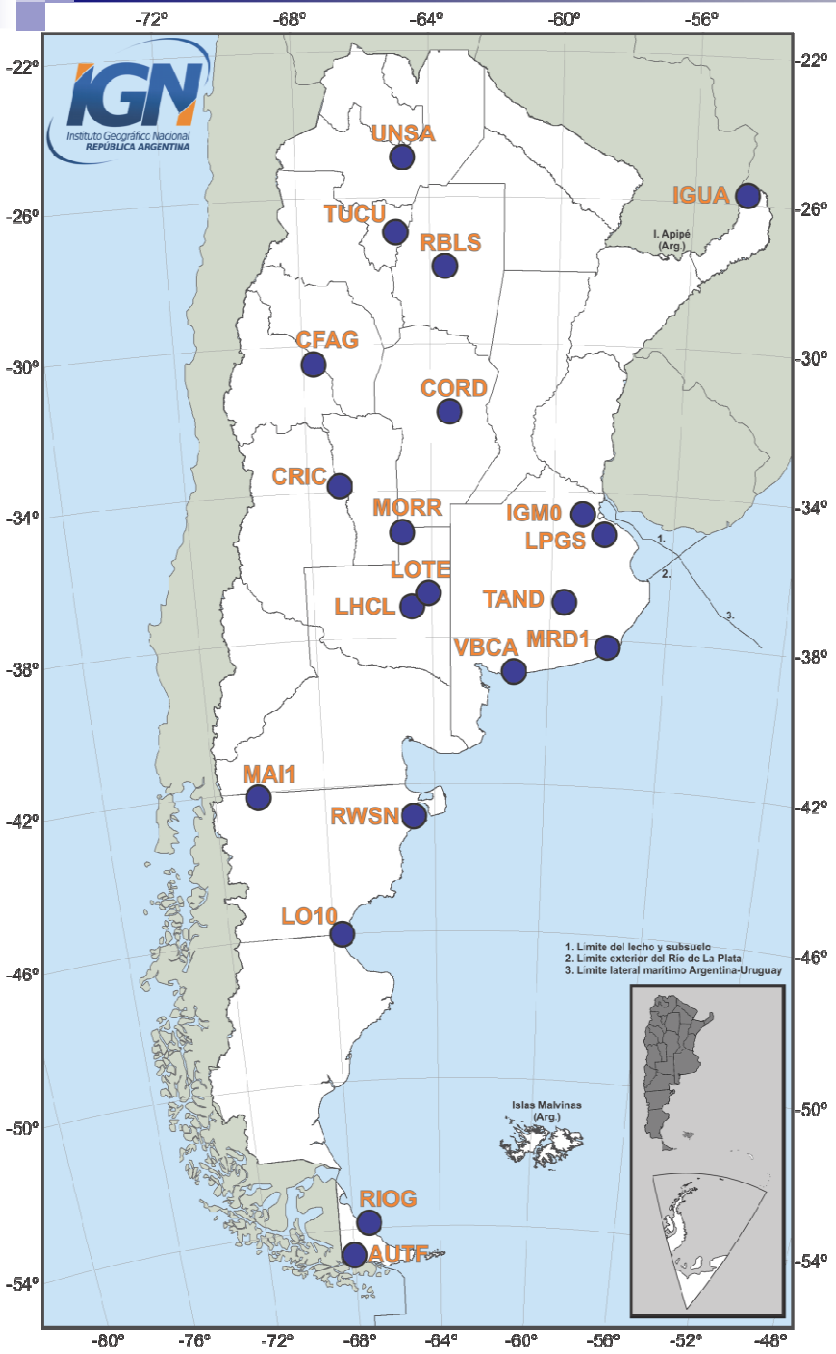
Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas

1995

- 58 Puntos en América del Sur
- 10 Puntos en Argentina

2000

- 184 Puntos en toda América
- 20 Puntos en Argentina
- 43 Mareógrafos



SIRGAS ARGENTINA

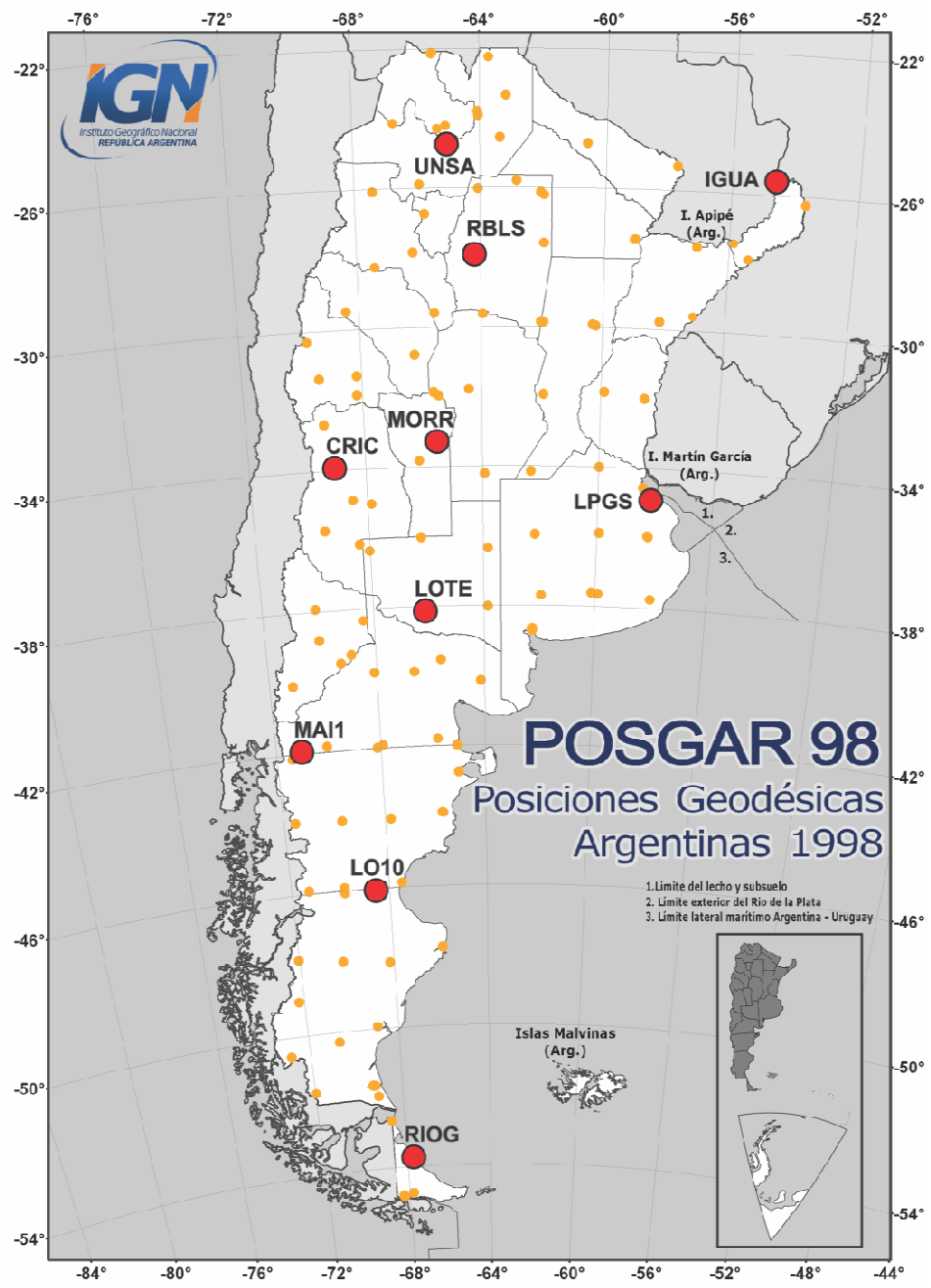
1995

- 10 Puntos en total

  6 Puntos POSGAR

2000

- 20 Puntos en total
- 12 Estaciones Permanentes
- 3 Mareógrafos

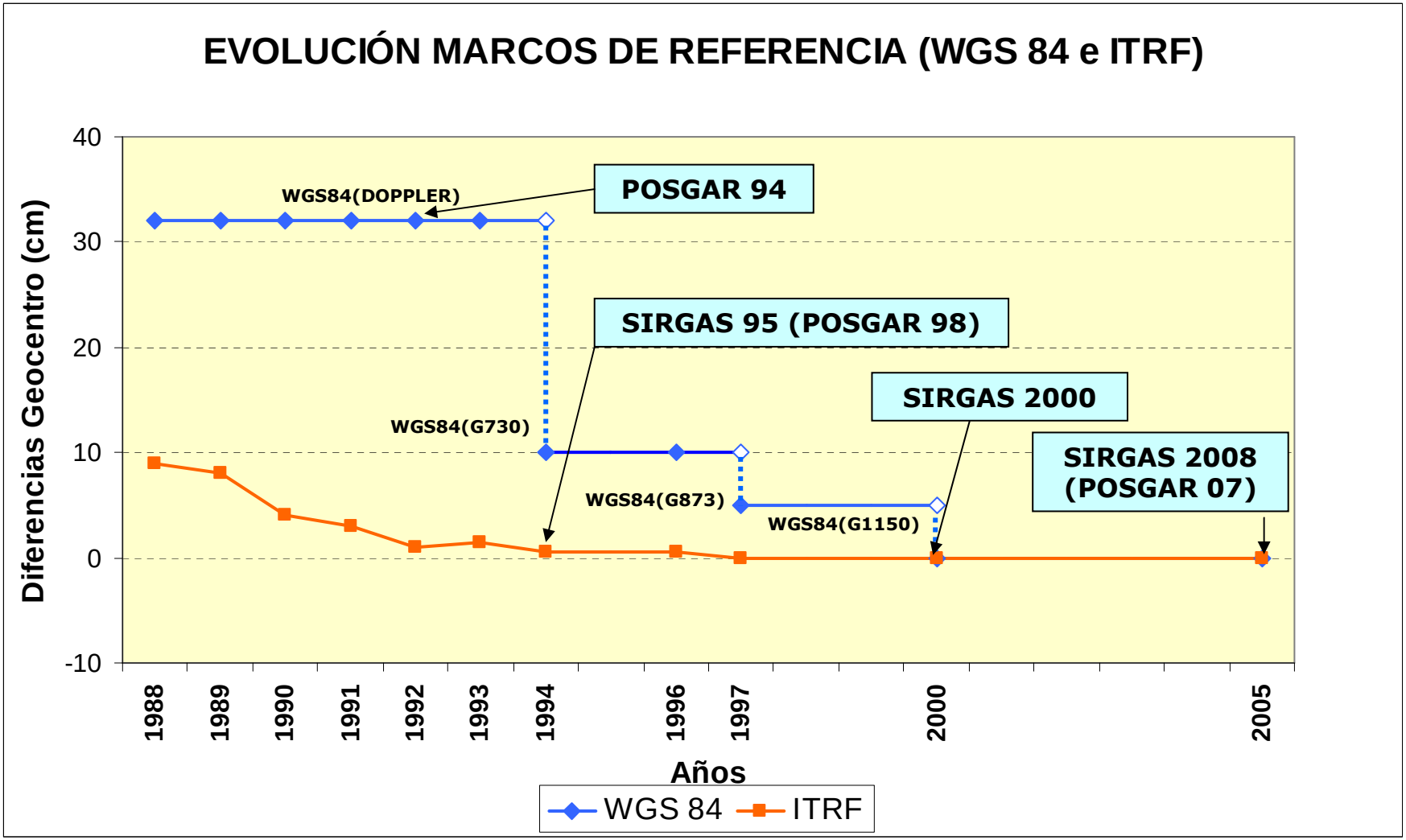


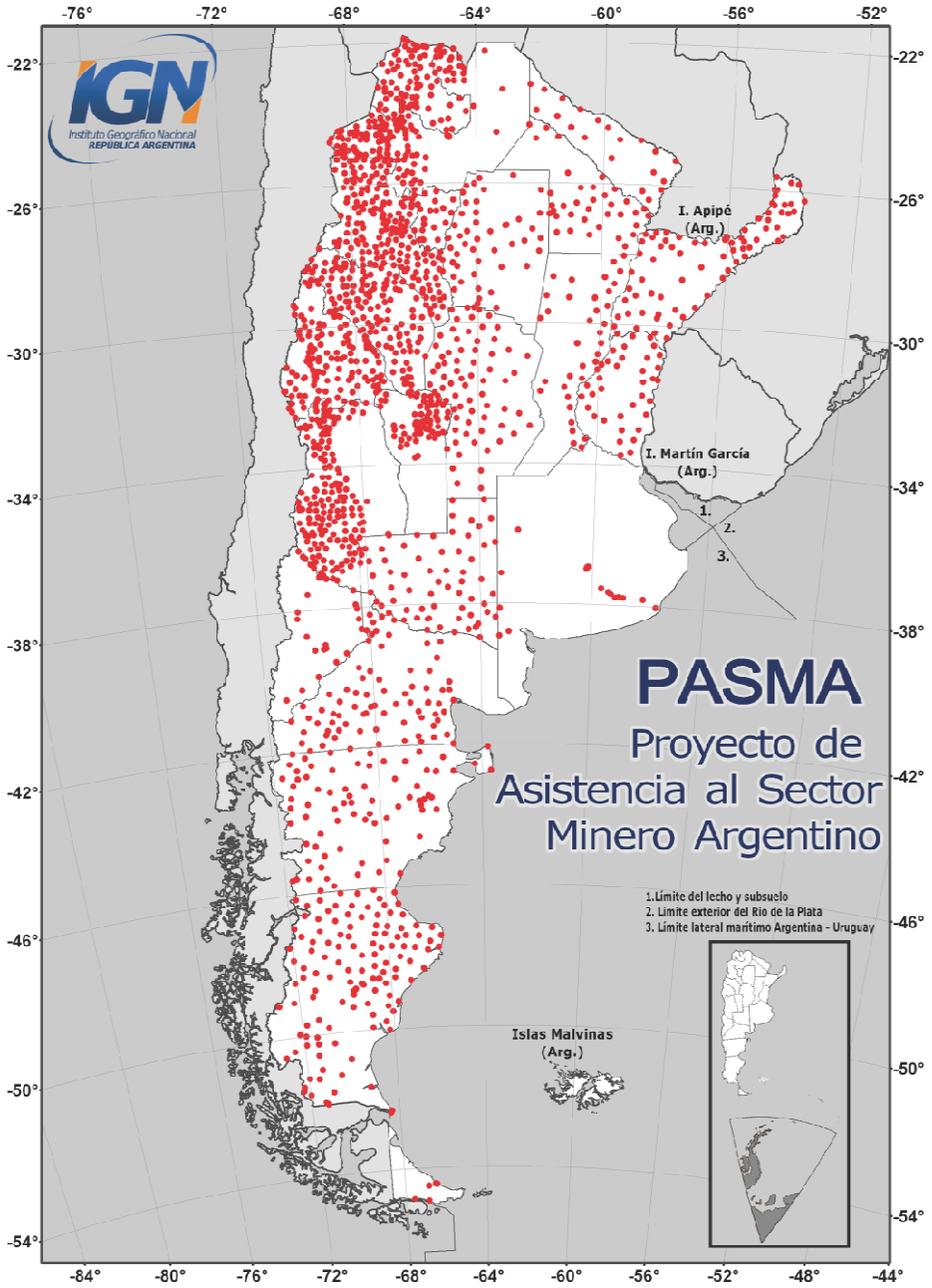
POSGAR 98

- Mediciones de POSGAR 94
- 3 Nuevos Puntos de Red
- 6 Estaciones Permanentes
- 136 Puntos
- Vinculación a ITRF 94 a través de puntos SIRGAS
- Procesamiento en software científico Bernese 4.0
- Sistema NO OFICIALIZADO por el IGM

RELACIÓN ENTRE WGS 84 e ITRF

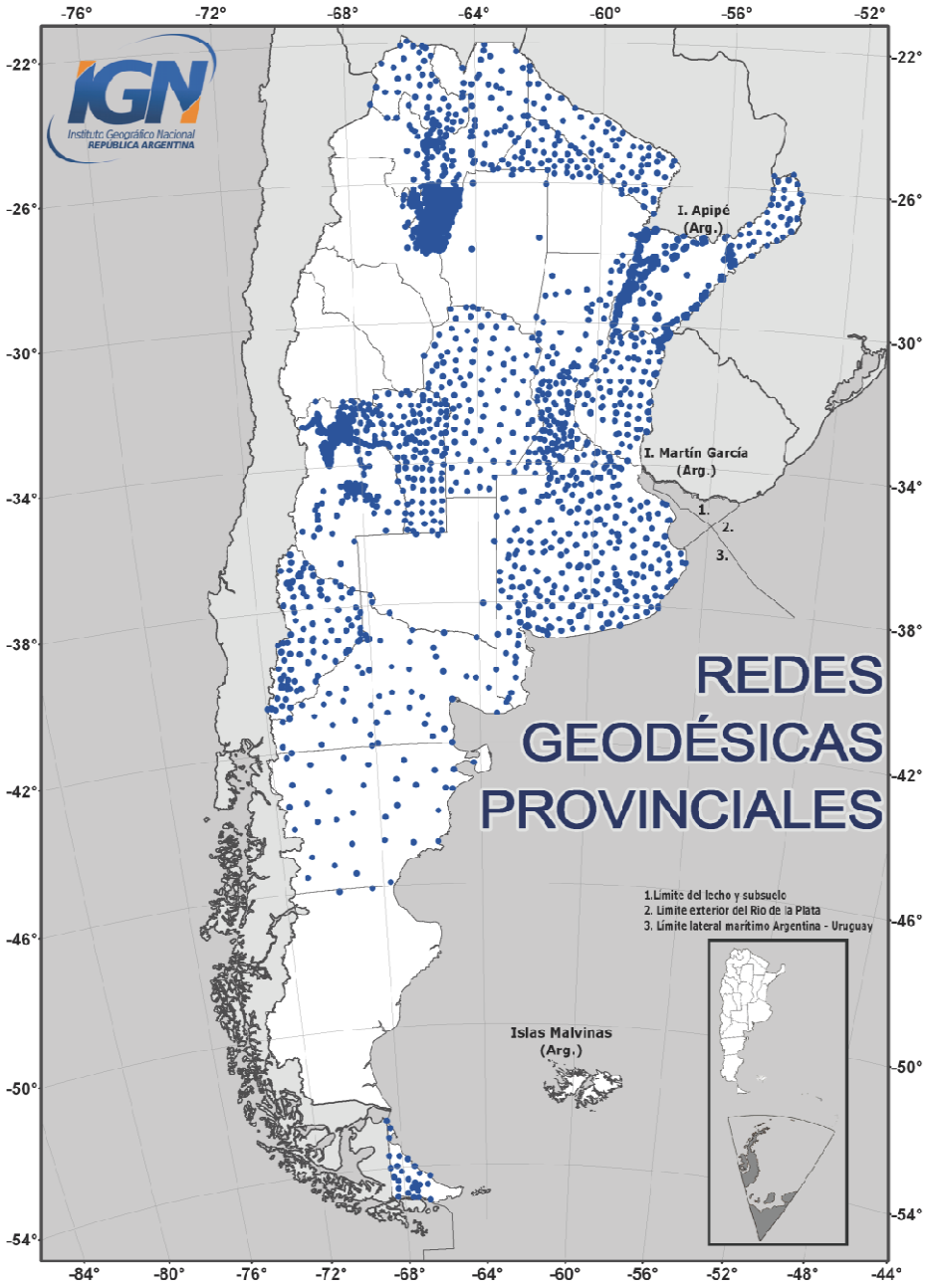
(World Geodetic System 84 – International Terrestrial Reference Frame)





PASMA

- Proyecto de Asistencia al Sector Minero Argentino
- Medición entre los años 1997 y 2002
- Aprox.1800 puntos
- Vinculado a **POSGAR 94**



Redes provinciales

- Aprox.3000 puntos
- Vinculadas a **distintos** Marcos de Referencia

Marcos de Referencia en Argentina
Situación al año 2005

PROVINCIA	MARCO DE REFERENCIA
BUENOS AIRES	POSGAR 94
CÓRDOBA	POSGAR 94
CORRIENTES	POSGAR 94
ENTRE RÍOS	POSGAR 94
FORMOSA	POSGAR 94
JUJUY	POSGAR 94
MISIONES	POSGAR 94
NEUQUÉN	POSGAR 94
RÍO NEGRO	POSGAR 94
SAN JUAN	POSGAR 94
SAN LUIS	POSGAR 94
SANTIAGO DEL ESTERO	POSGAR 94

PROVINCIA	MARCO DE REFERENCIA
CATAMARCA	CAMPO INCHAUSPE
CHACO	CAMPO INCHAUSPE
LA PAMPA	CAMPO INCHAUSPE
LA RIOJA	CAMPO INCHAUSPE
SANTA CRUZ	CAMPO INCHAUSPE
SANTA FE	WGS 84
CHUBUT	SAGA
MENDOZA	POSGAR 98
SALTA	POSGAR 98
TUCUMÁN	POSGAR 98
TIERRA DEL FUEGO	TDF 95
PASMA	POSGAR 94

Necesidad de **UNIFICAR** los marcos de referencia

Marcos de Referencia Globales Modernos

Estaciones GPS **Permanentes**.

Registran datos los 365 días del año.

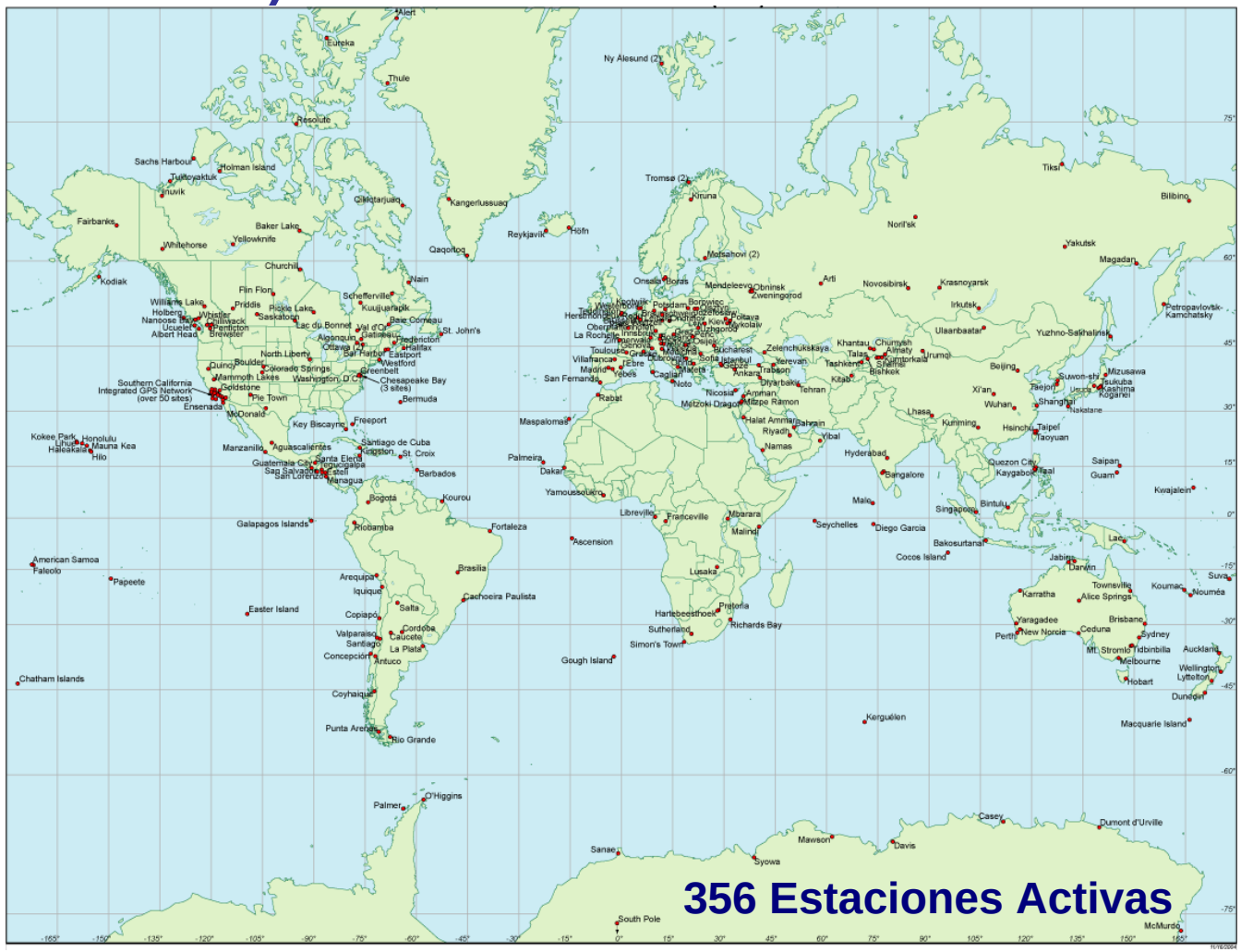


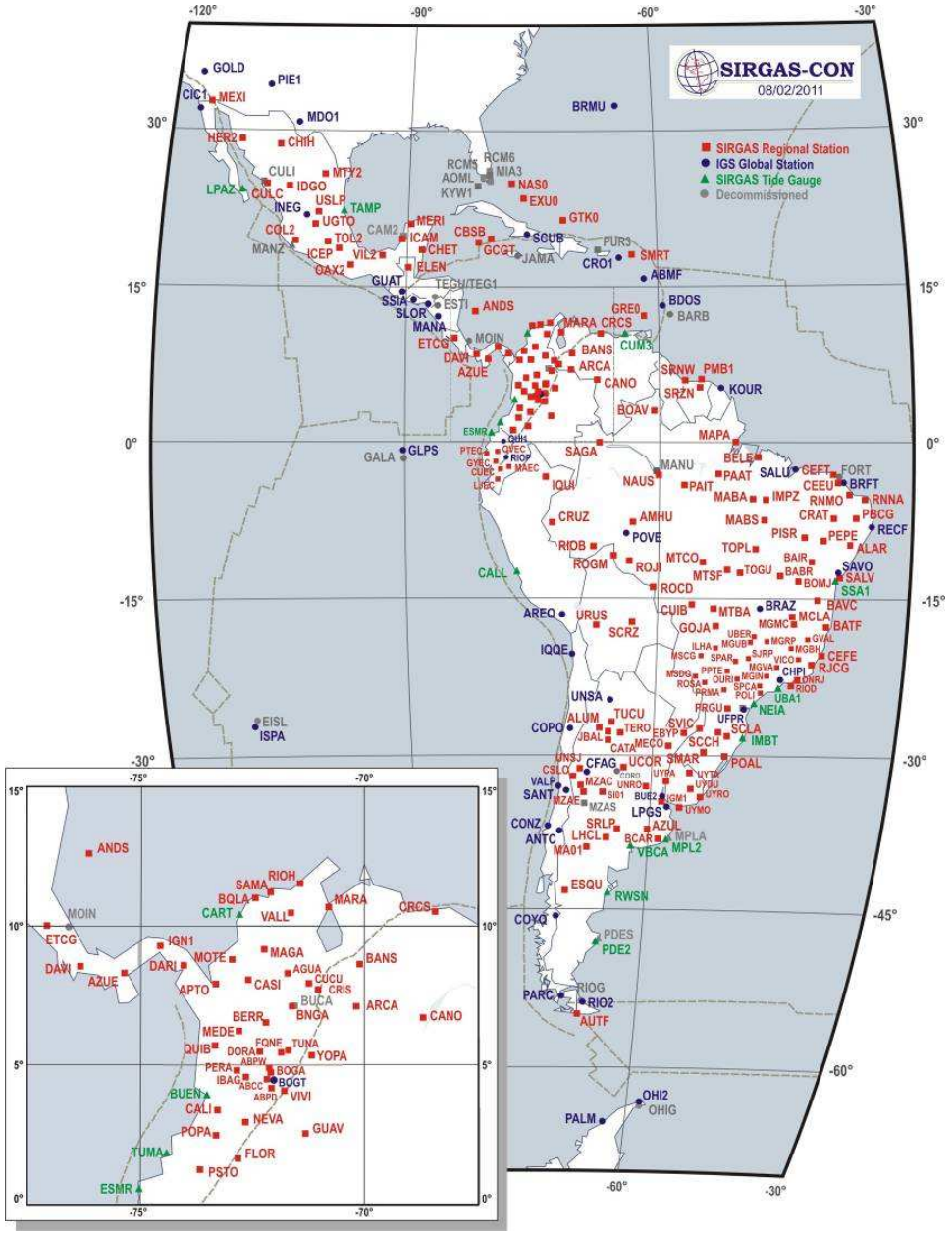
Resistencia



Glaciar Perito Moreno

Marcos de Referencia Globales Modernos **ITRF** (Marco de Referencia Terrestre Internacional)



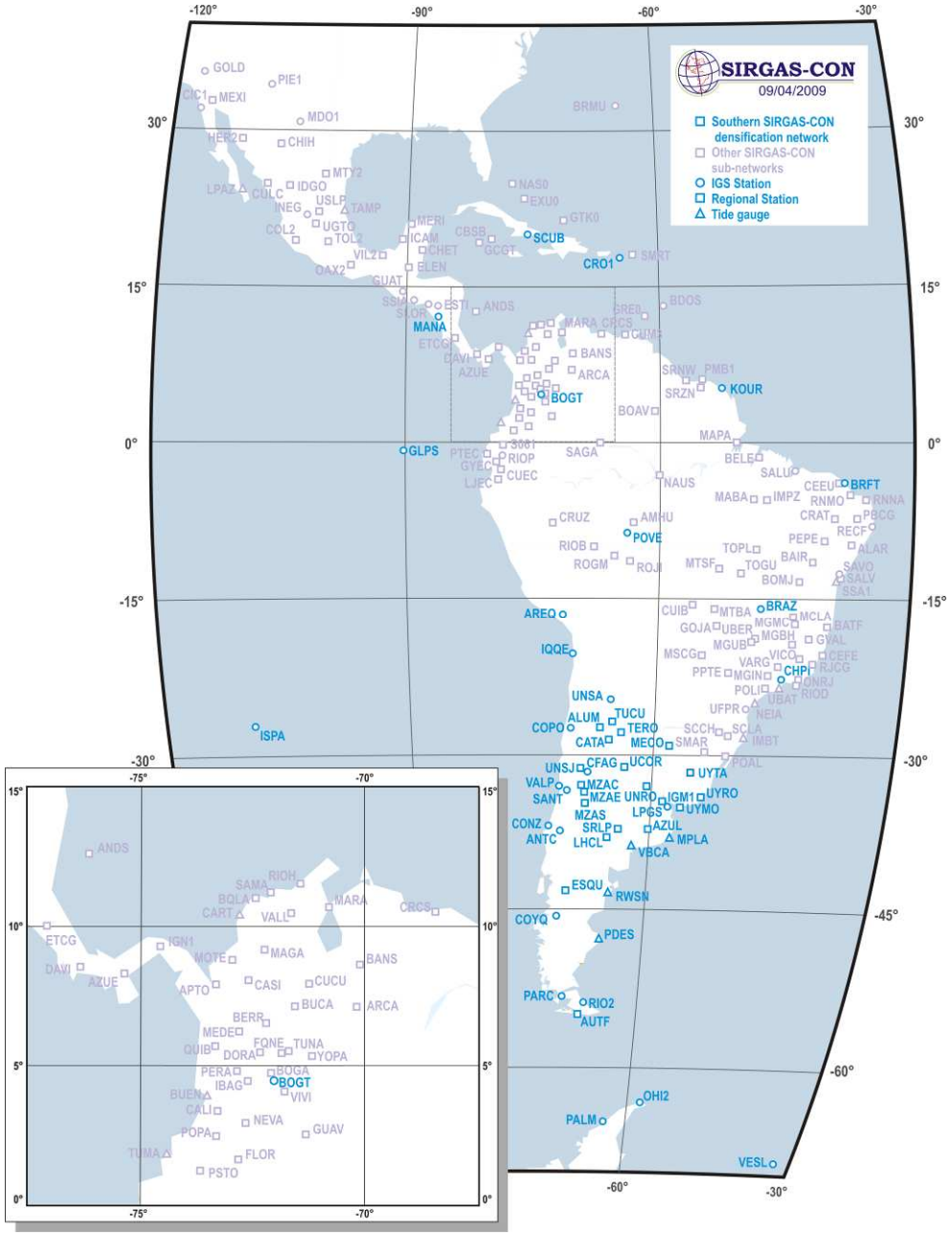


Marcos de Referencia Modernos

SIRGAS-CON

Red de operación continua

- 307 Estaciones GNSS Permanentes
- Densificación de **ITRF**
- Constituida principalmente por el aporte de Instituciones Nacionales y Provinciales (Catastros), Universidades, Consejos Profesionales y Empresas Privadas.
- 37 estaciones argentinas



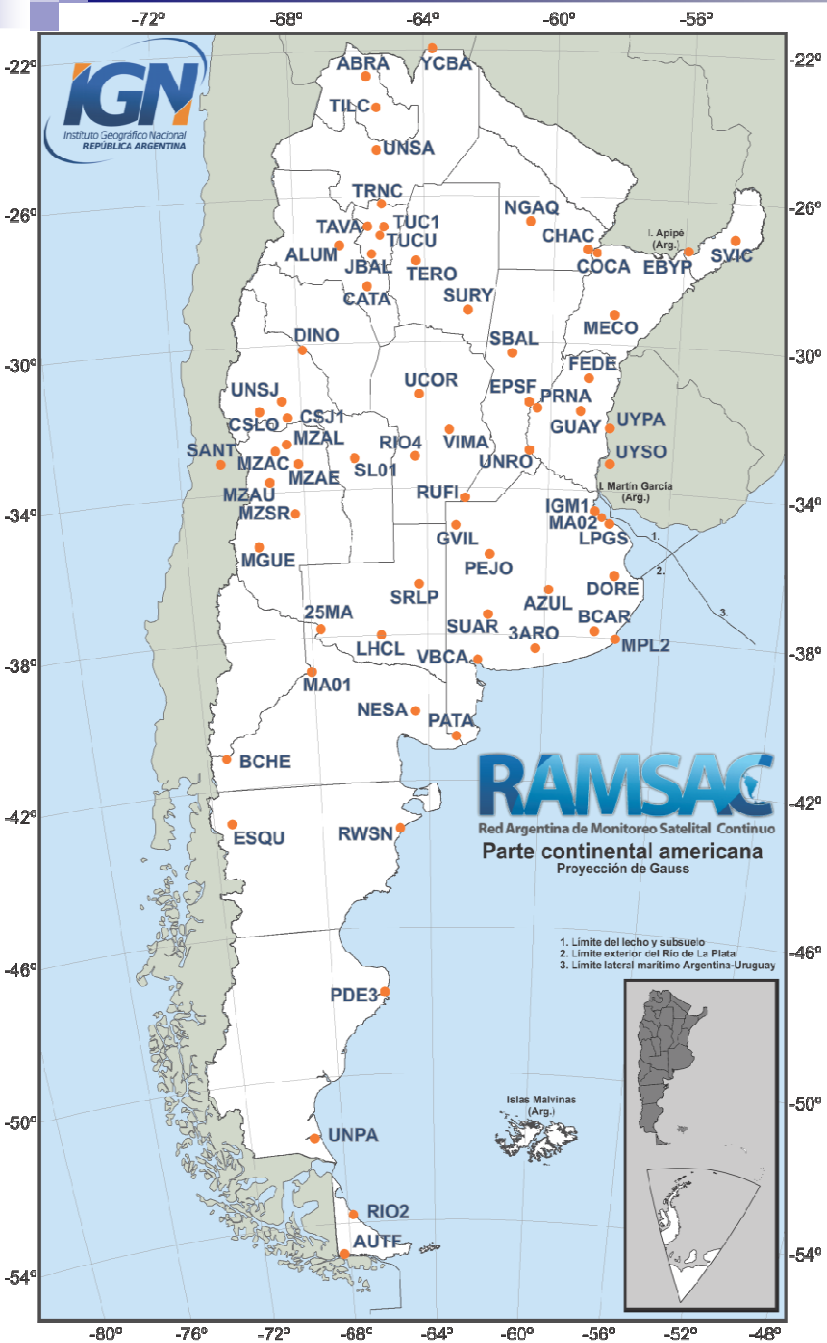
SIRGAS-CON-D SUR

Aprox. 91 Estaciones GNSS Permanentes que componen la Red Sur.

Estaciones Argentinas que todavía están en proceso de incorporación a SIRGAS.

Puntos de la Red POSGAR 07.

Estrategia de procesamiento adaptada a los requerimientos de SIRGAS.



Marcos de Referencia Modernos

RAMSAC
Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo

- Nace en 1998
- Actualmente está compuesta por 69 estaciones GPS permanentes
- Servidor de datos gratuito para usuarios
- Constituida principalmente por el aporte de Instituciones Nacionales y Provinciales (Catastros), Universidades, Consejos Profesionales y Empresas Privadas.

RAMSAC - Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo



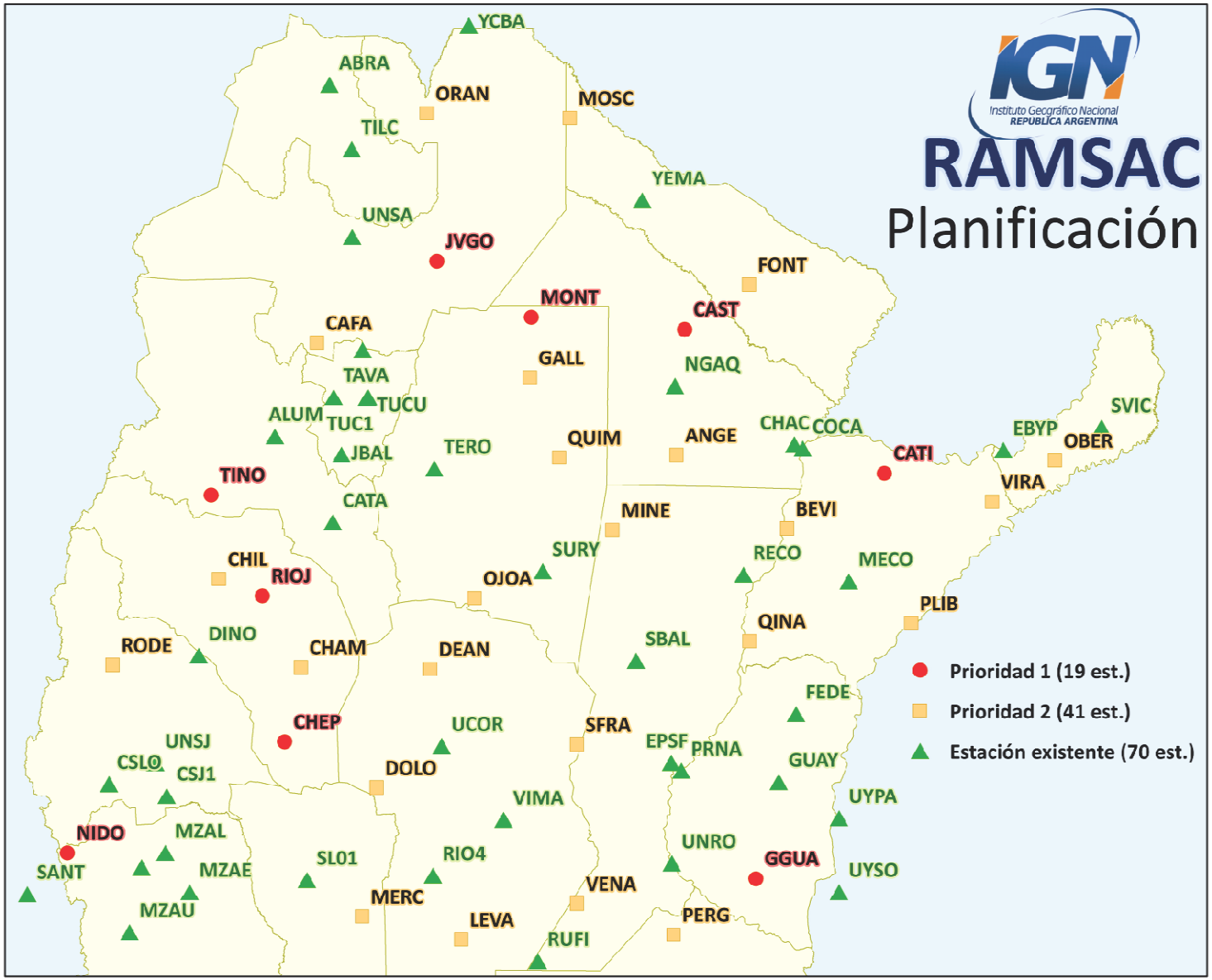
RAMSAC - Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo



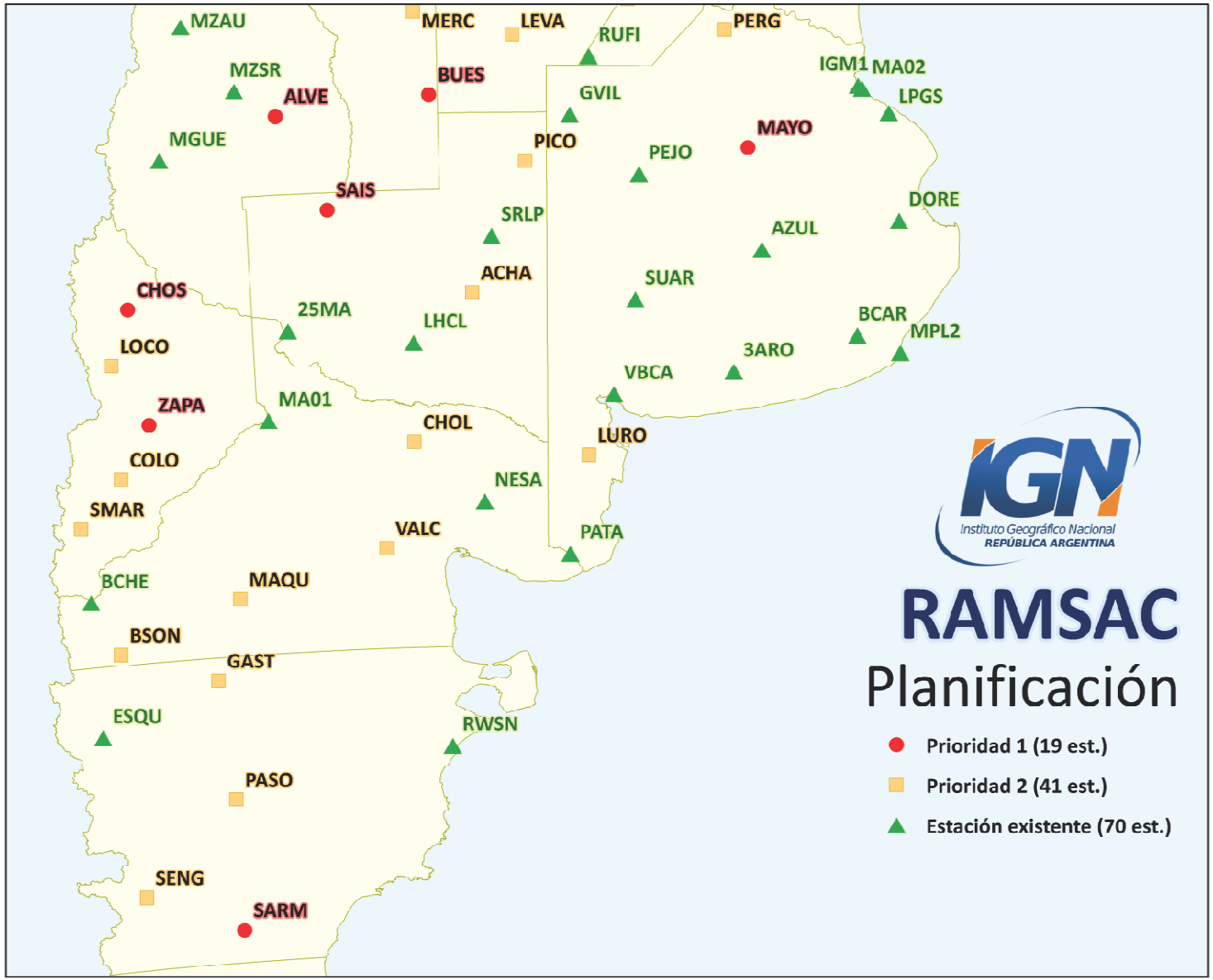
RAMSAC - Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo



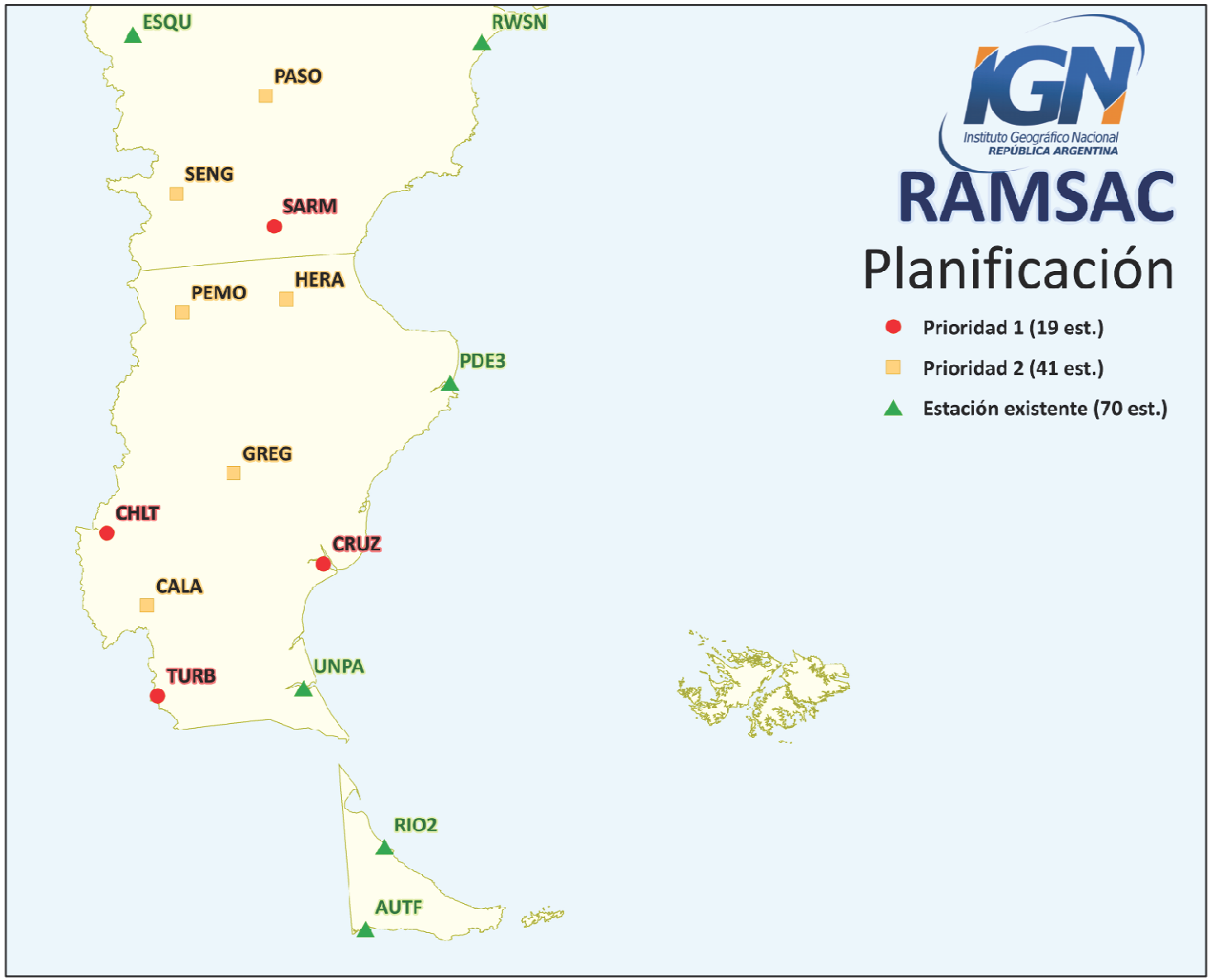
Futuro de RAMSAC - Norte



Futuro de RAMSAC - Centro



Futuro de RAMSAC - Sur

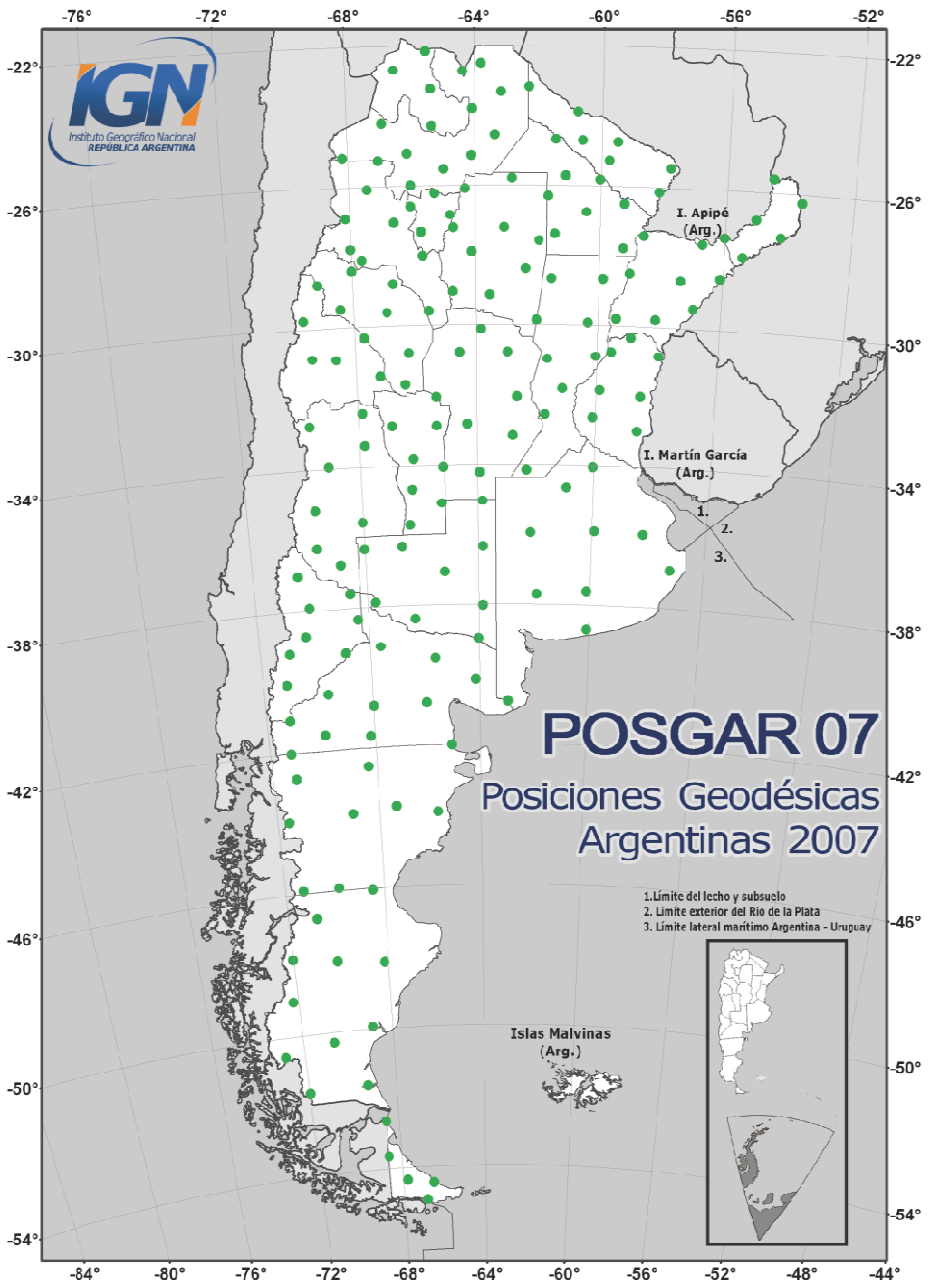


Marcos de Referencia

ITRF → SIRGAS → POSGAR 07

Año 2005 se comienza a medir una nueva red denominada **POSGAR 07** (Posiciones Geodésicas Argentinas del año 2007)

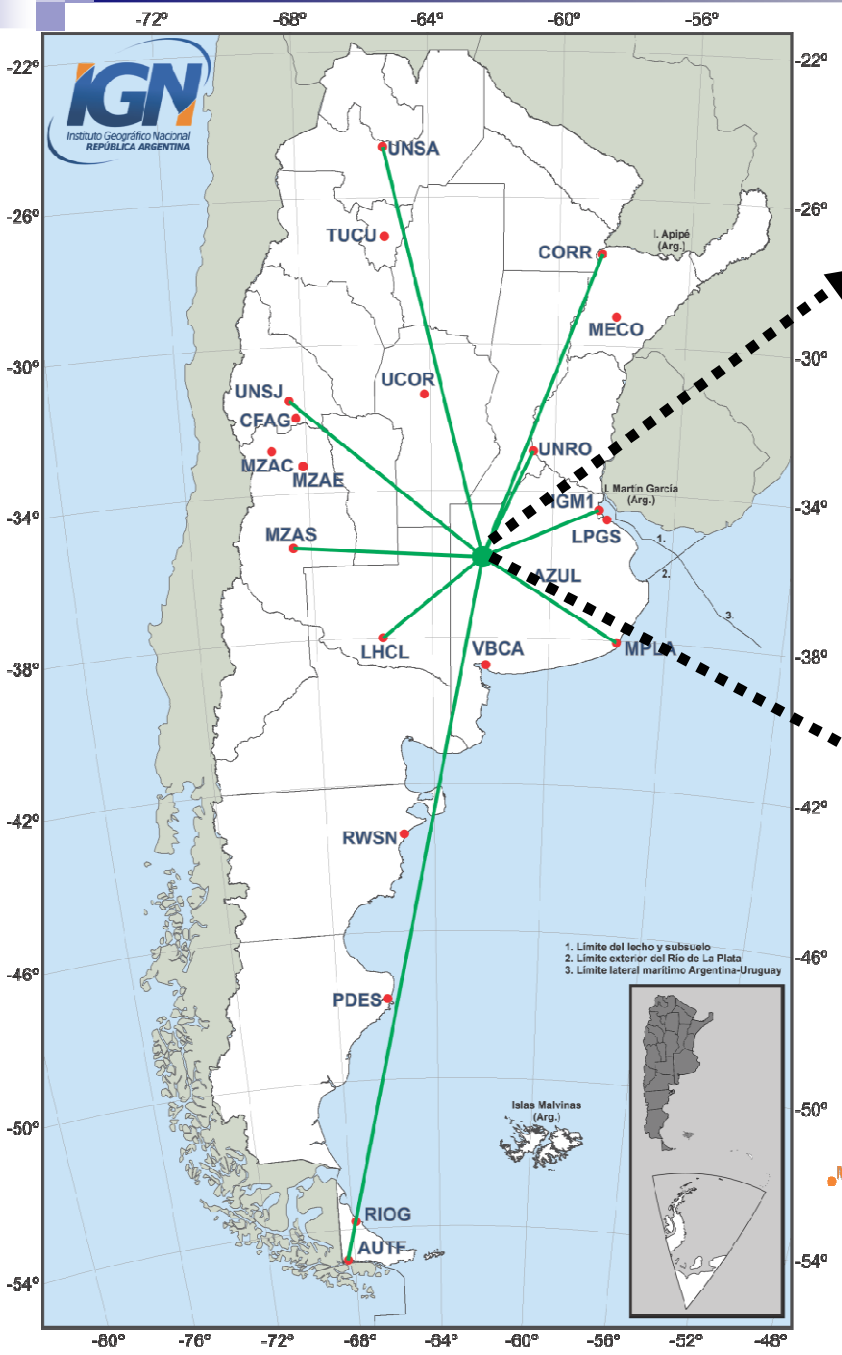
Remedición de la Red POSGAR

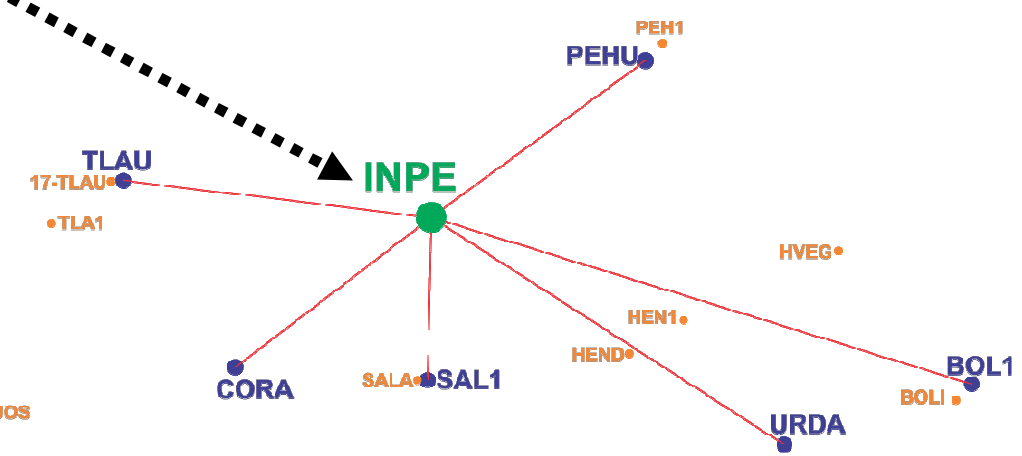


- 130 puntos de la Red POSGAR original
- 48 nuevos puntos distribuidos en las provincias
- Un total de 178 puntos de la nueva Red POSGAR en el marco ITRF 2005
- Aprox. 7 puntos por provincia (POSGAR, PASMA y Redes Provinciales)

POSGAR 07

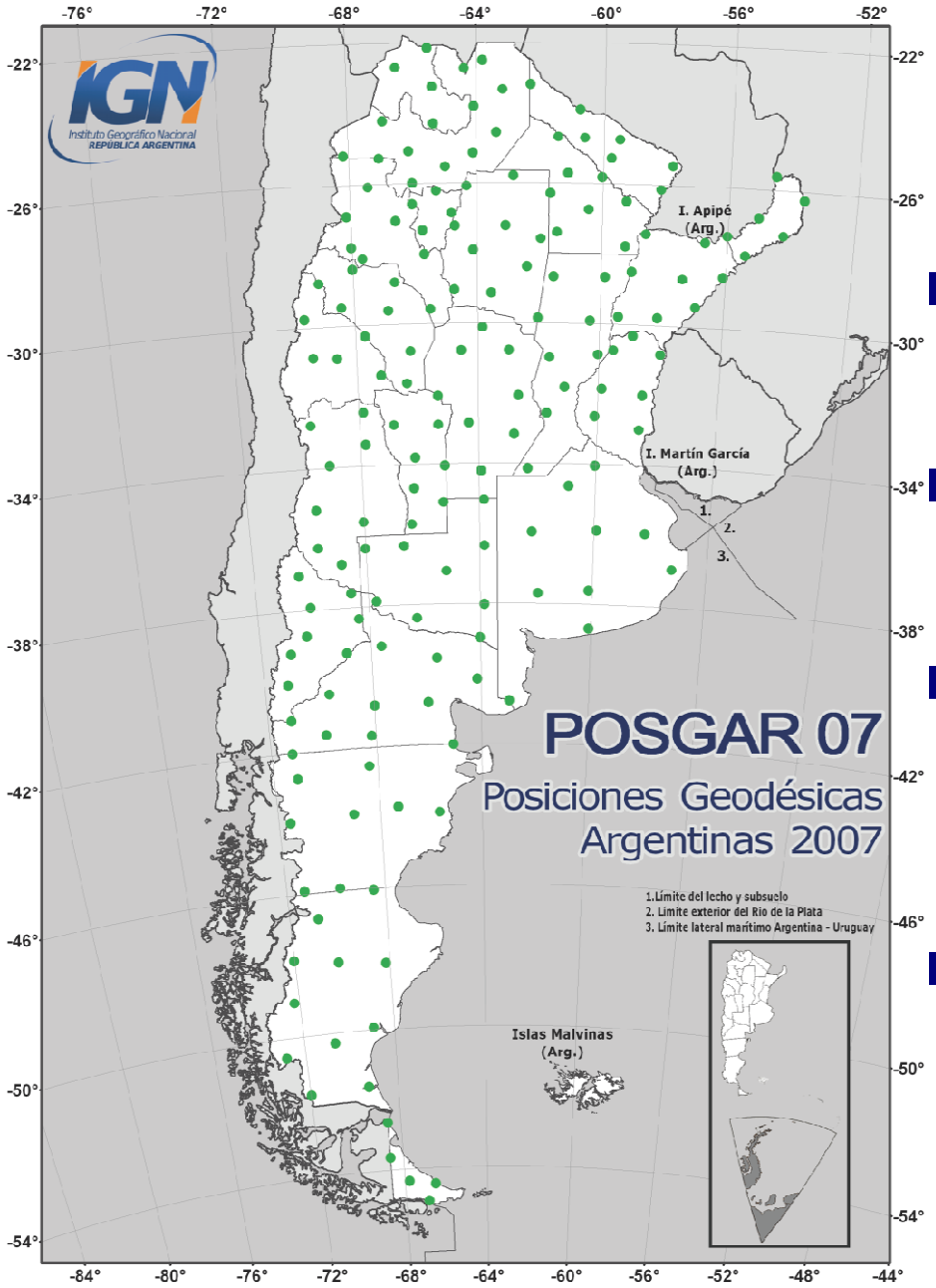
- 36 horas de medición sobre puntos de redes PASMA o Provinciales
- Radiaciones de 3 horas sobre otros puntos próximos también pertenecientes a las redes PASMA o Provinciales





POSGAR 07

- La medición se realizó desde junio del año 2005 hasta octubre de 2007.
- 178 puntos con coordenadas en un Marco de Referencia **ÚNICO** y homogéneo.
- Desde los 178 puntos se midieron 436 puntos adicionales, que permitieron determinar la integración de cada una de las redes Provinciales y PASMA.
- Se oficializó el 15 de mayo del año 2009.



POSGAR 07

- 69 estaciones GPS permanentes (RAMSAC)
- 178 puntos de primer orden
- Aprox. 4500 puntos pertenecientes a redes PASMA y Provinciales
- Se procesó utilizando el software científico **GAMIT-GLOBK**

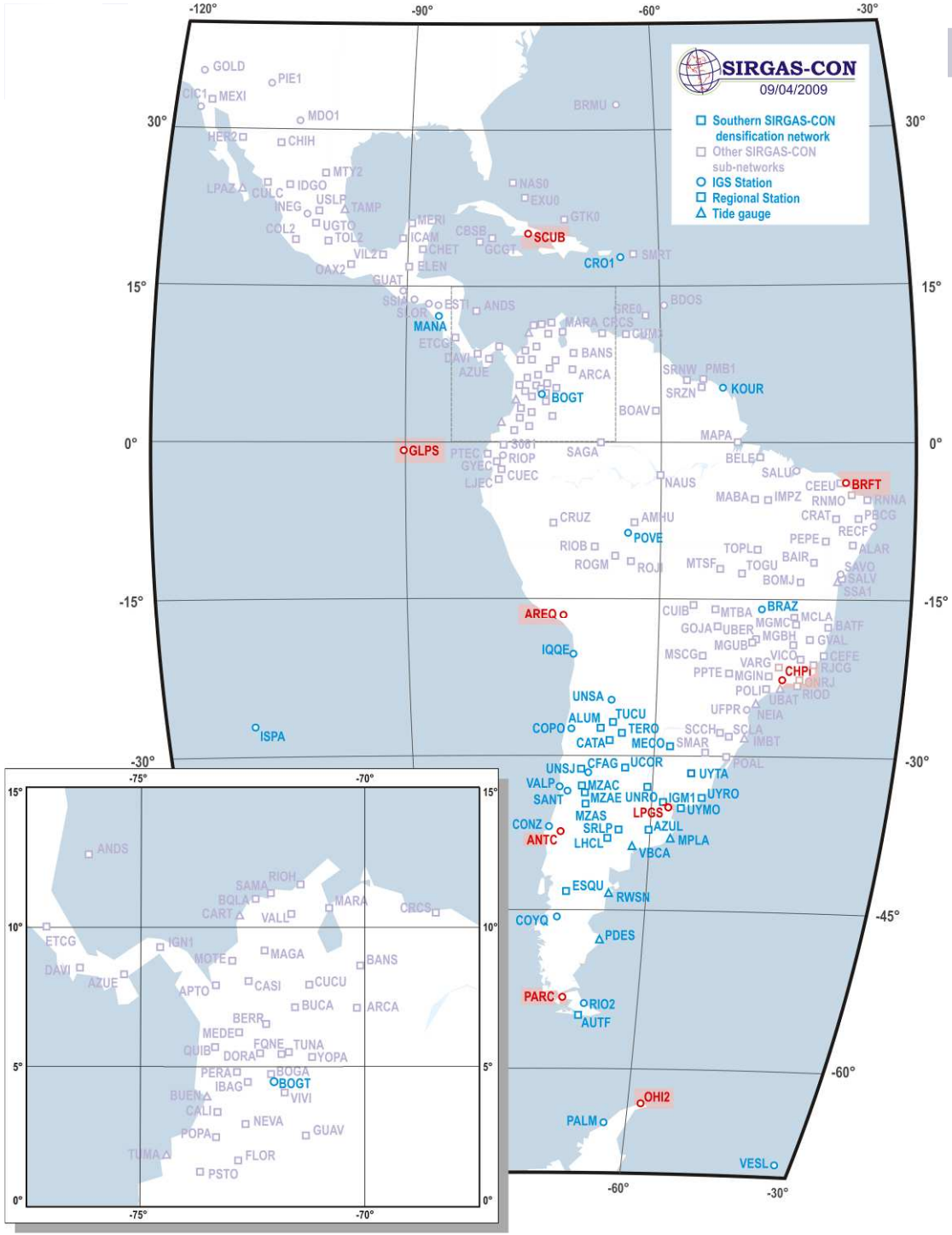
PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS PARA EL AJUSTE DE POSGAR 07

Se llevan las coordenadas de las estaciones de la Red SIRGAS-CON-D a la época de definición de POSGAR07 (2006.632).

La combinación y ajuste de los datos procesados se realiza de acuerdo a la época de medición de la provincia, con las coordenadas y velocidades de SIRGAS.

Se calcula una solución ajustada al Marco SIRGAS por provincia, en la época de medición de la misma.

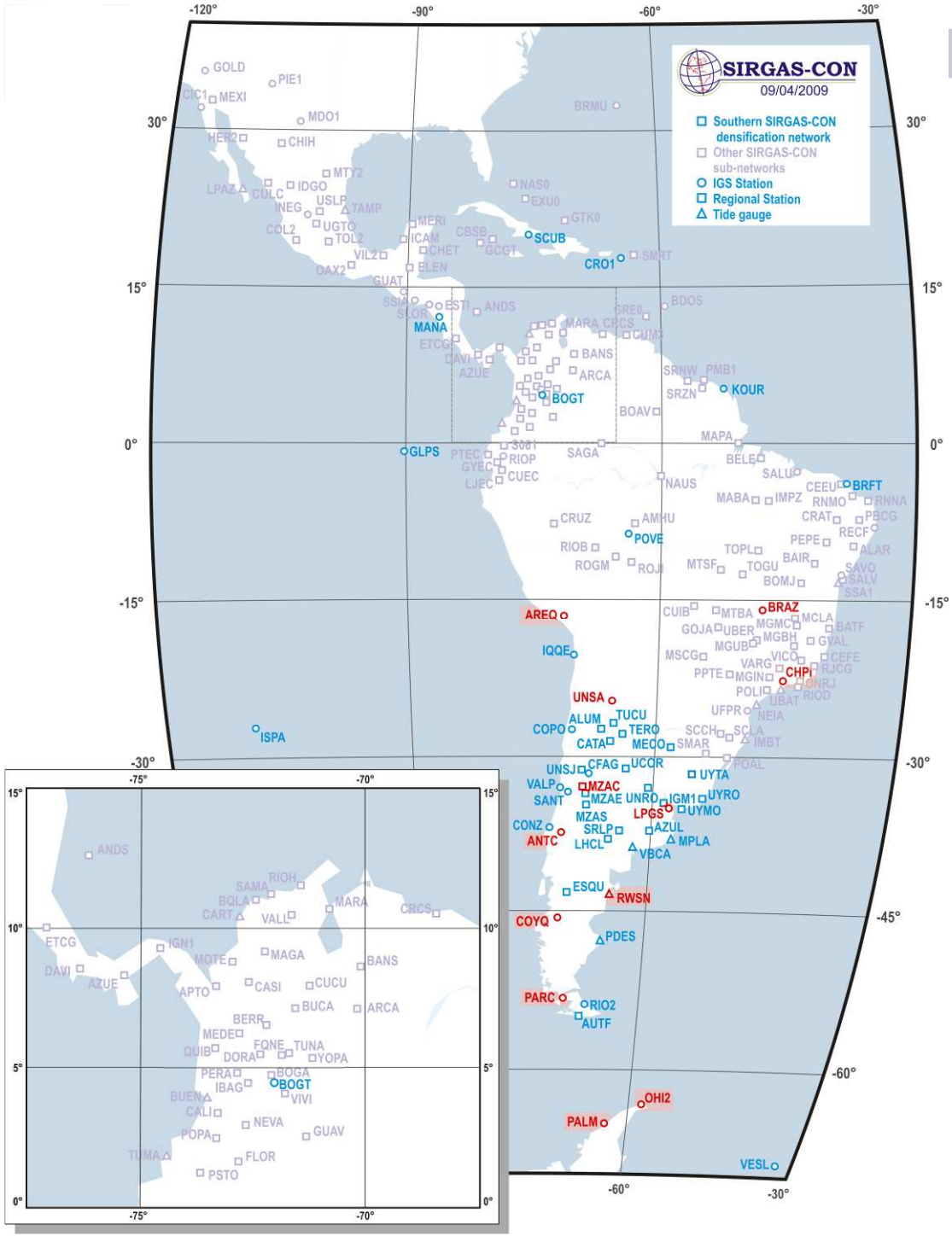
Se lleva la solución ajustada por provincia a la época de POSGAR 07 (2006.632), a través de parámetros de transformación.



Marco de ajuste de POSGAR 07 a SIRGAS

Se utilizaron las estaciones GNSS permanentes marcadas con rojo para el ajuste de las coordenadas a la época de medición de cada Provincia.

De esta forma se obtiene una solución por provincia que contiene a los puntos POSGAR remedidos.

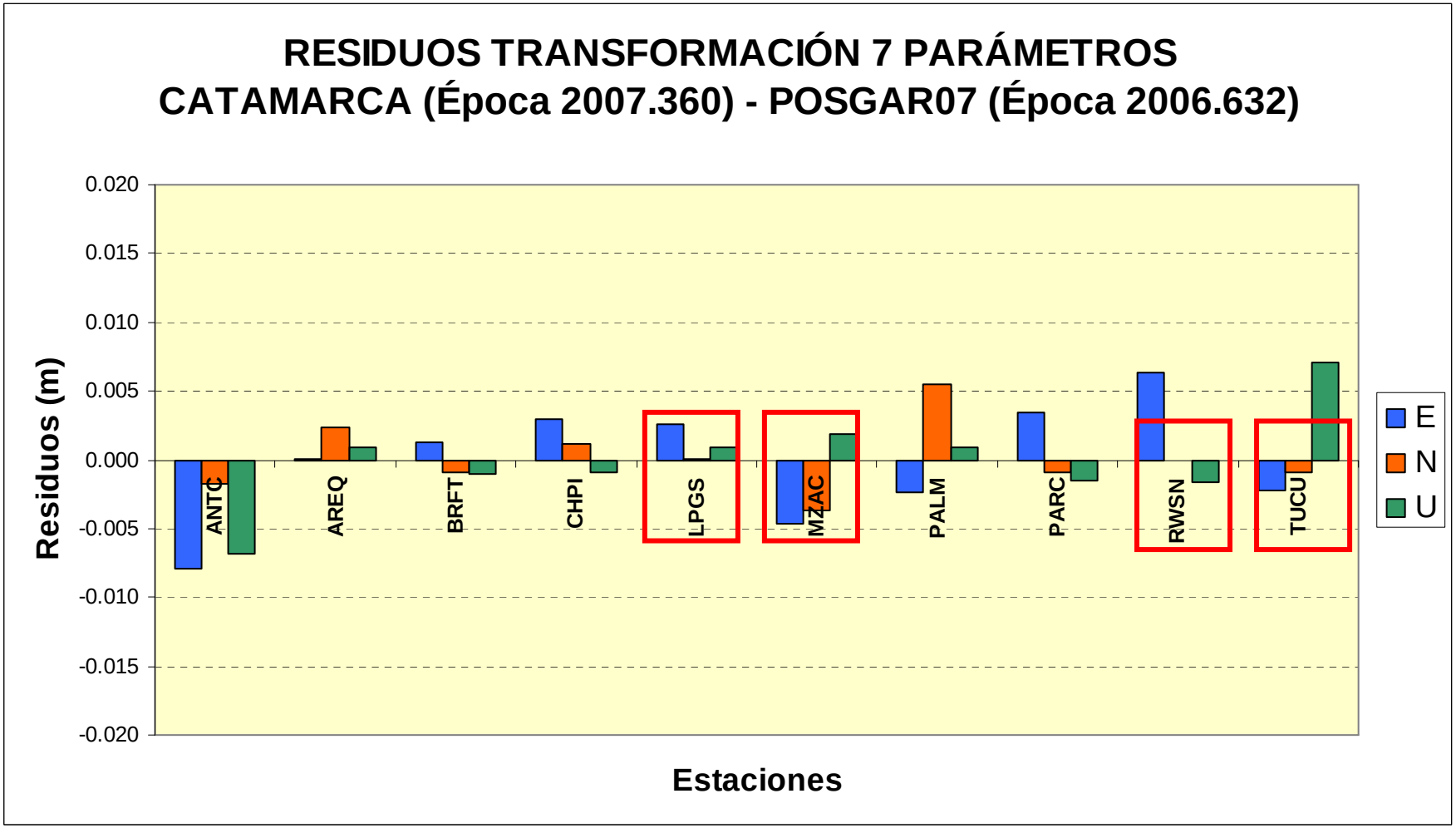


Parámetros de Transformación

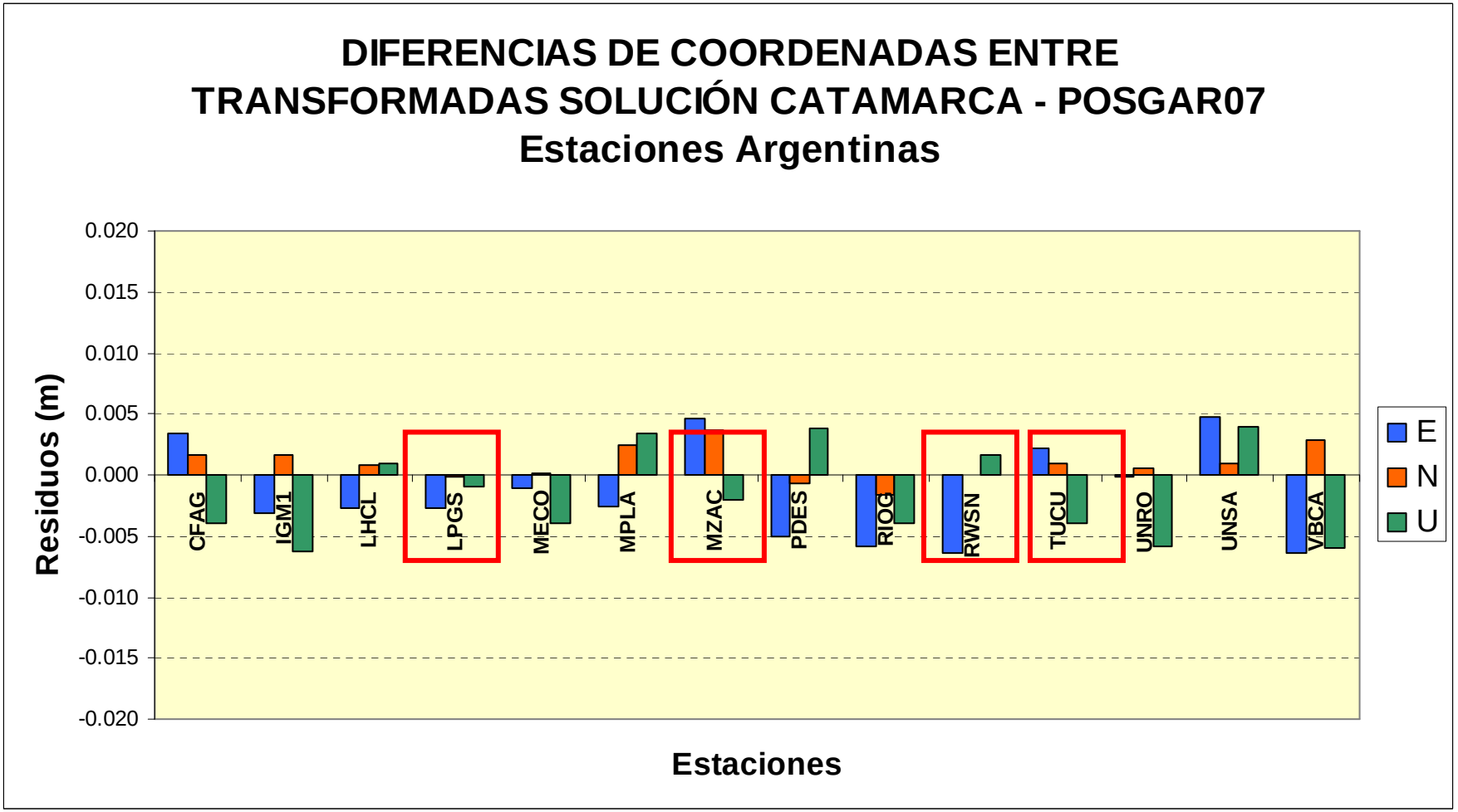
Se utilizaron las estaciones GNSS permanentes marcadas con rojo para el cálculo de los parámetros de transformación entre la solución provincial y POSGAR 07 (época 2006.632).

De esta forma se obtienen los parámetros para cada una de las Provincias.

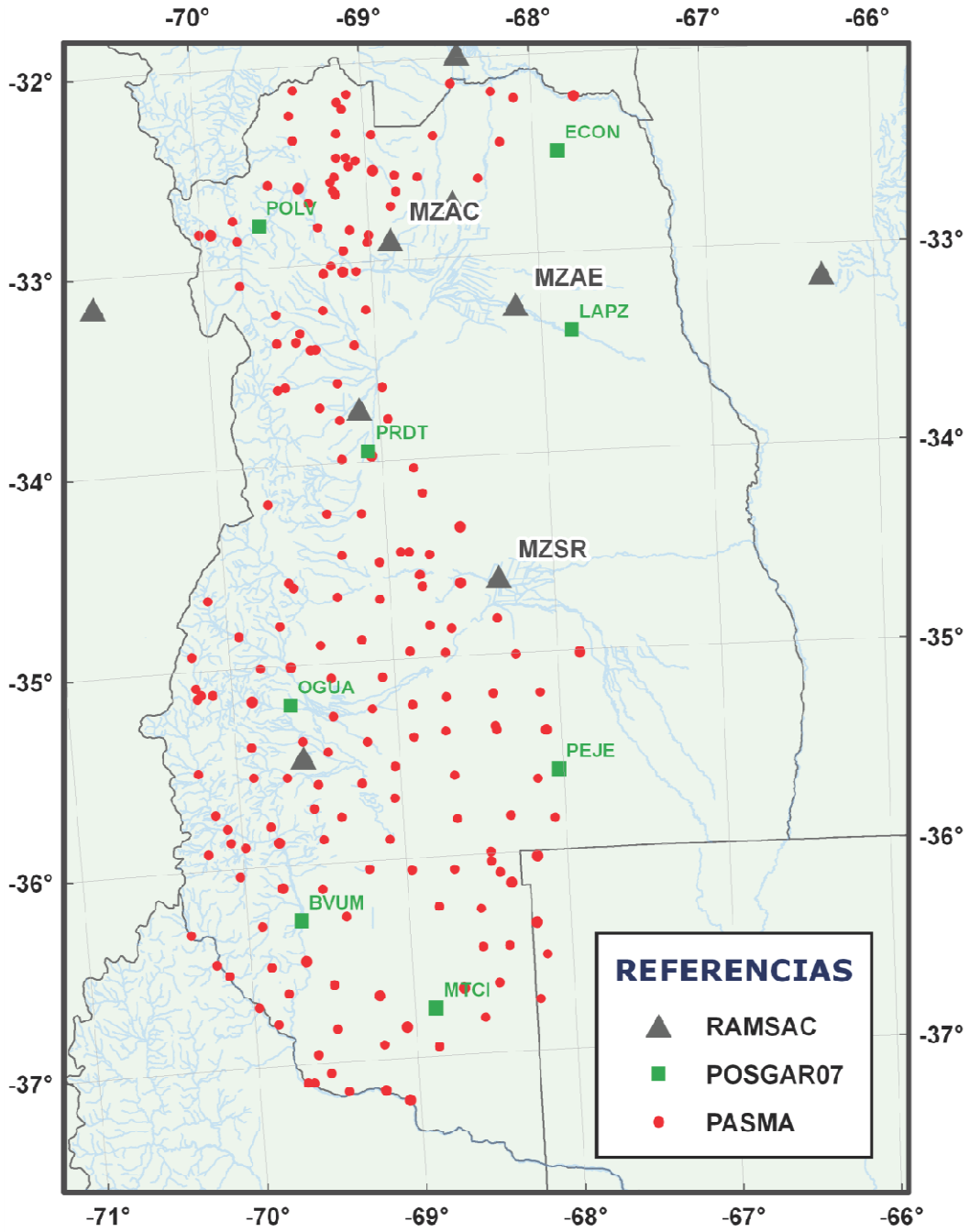
RESIDUOS DE LA TRANSFORMACIÓN ENTRE CATAMARCA (Época 2007.360) Y POSGAR 07 (Época 2006.632)



DIFERENCIAS DE COORDENADAS A PARTIR DE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN



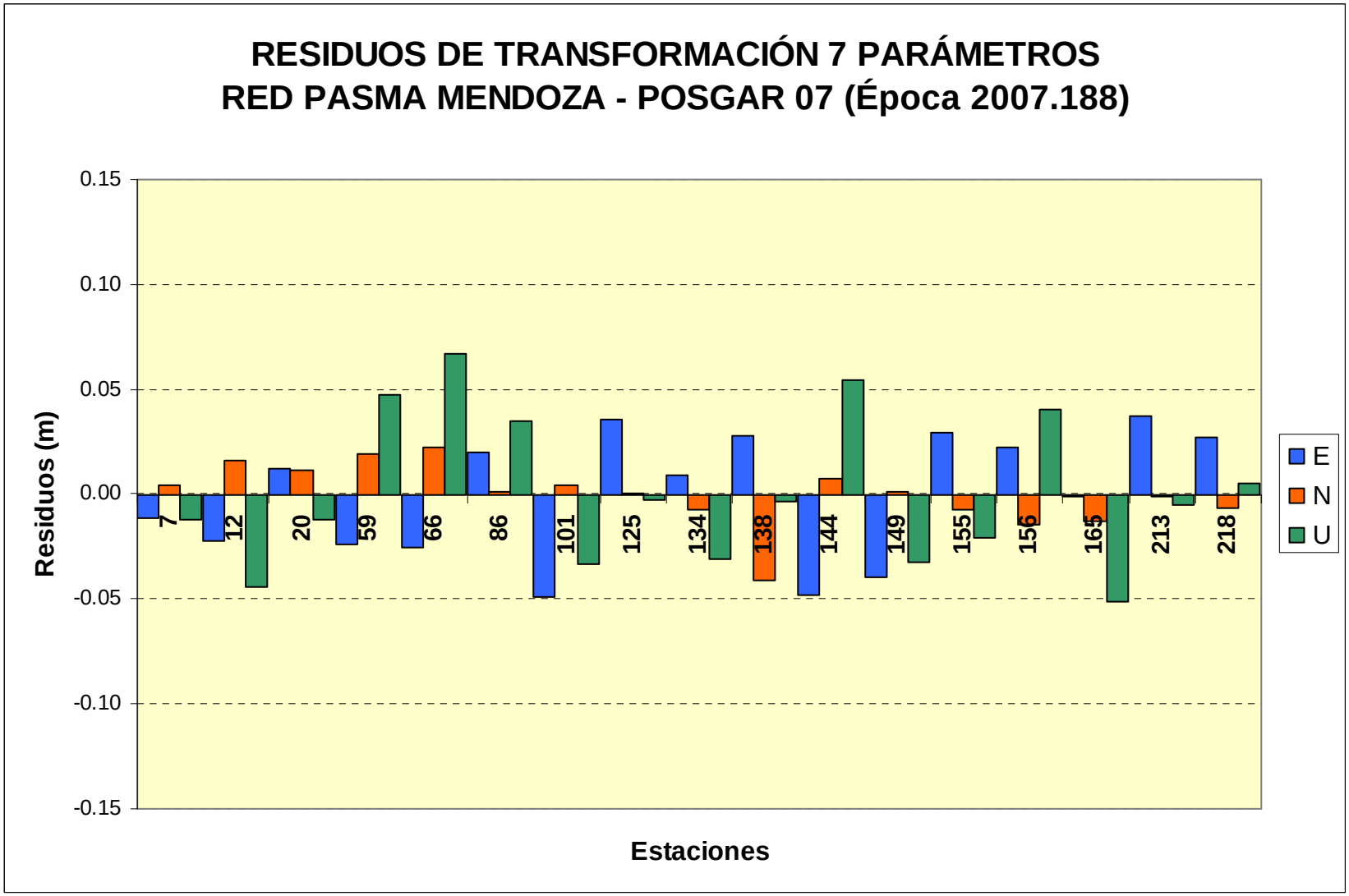
SELECCIÓN DE PUNTOS



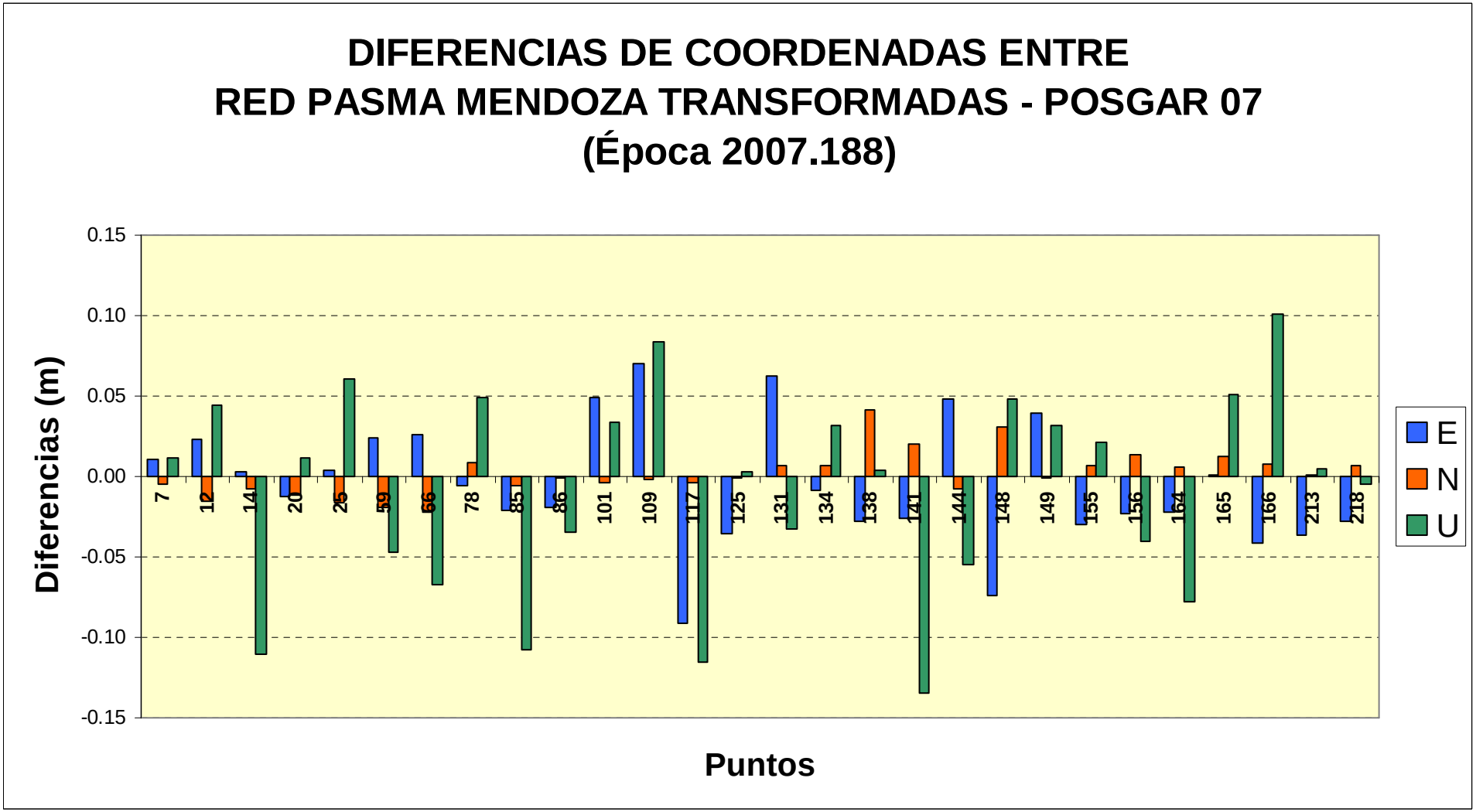
- 0007
- 0012
- 0020
- 0059
- 0066
- 0086
- 0101
- 0125
- 0134
- 0138
- 0144
- 0149
- 0155
- 0165
- 0213
- 0218

PASMA

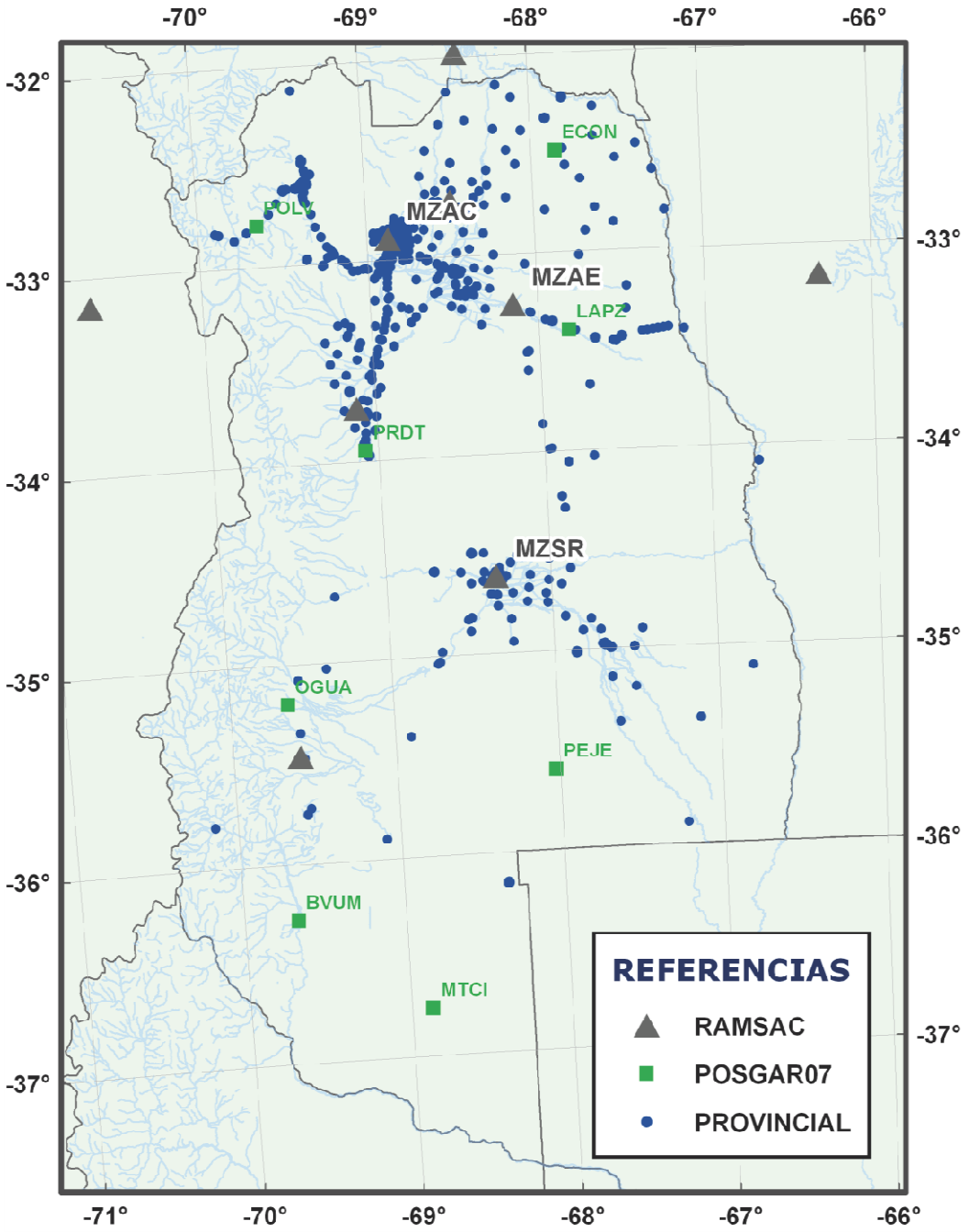
RESIDUOS DE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN DE LA RED PASMA DE MENDOZA



DIFERENCIAS DE COORDENADAS TRANSFORMADAS – POSGAR 07



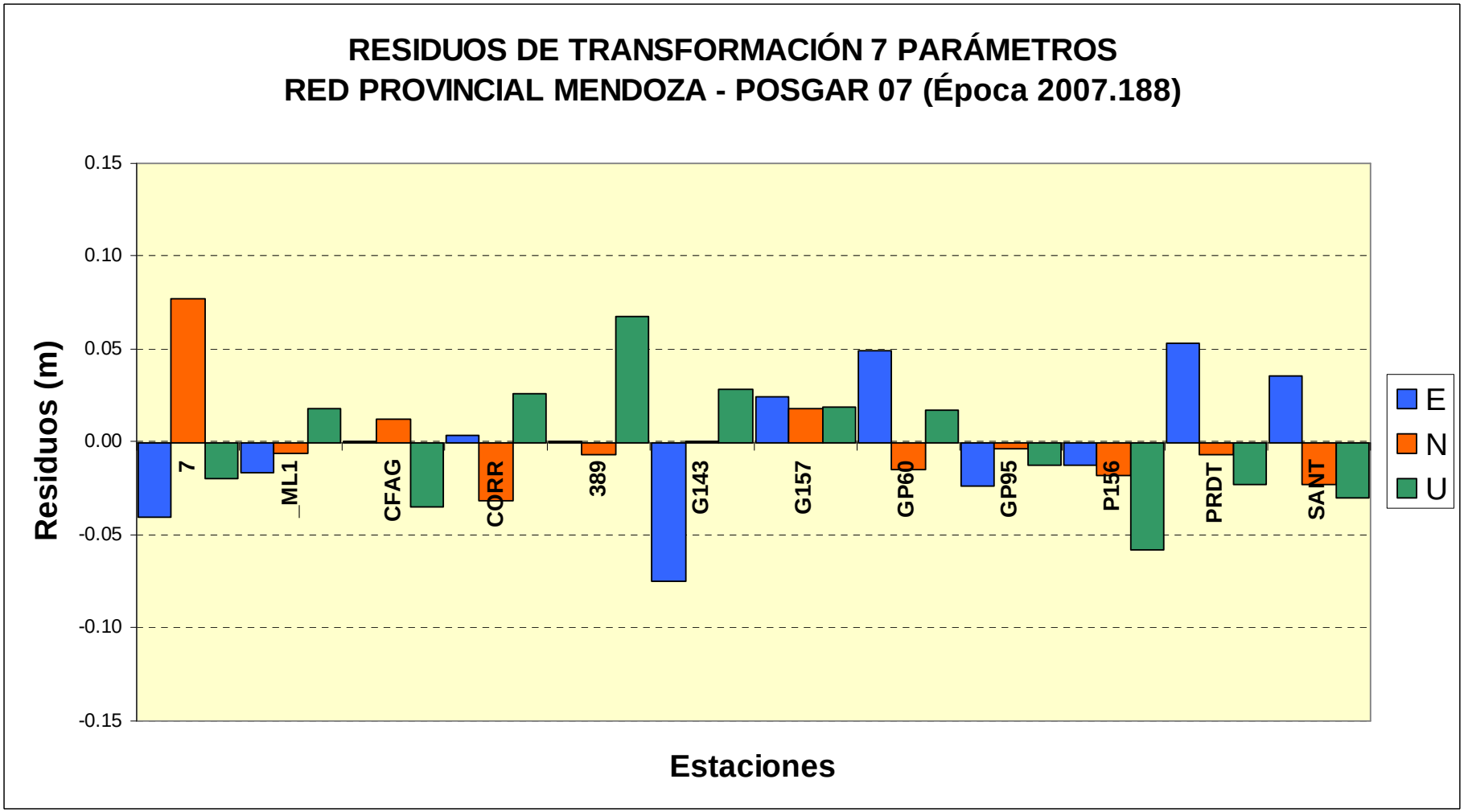
SELECCIÓN DE PUNTOS



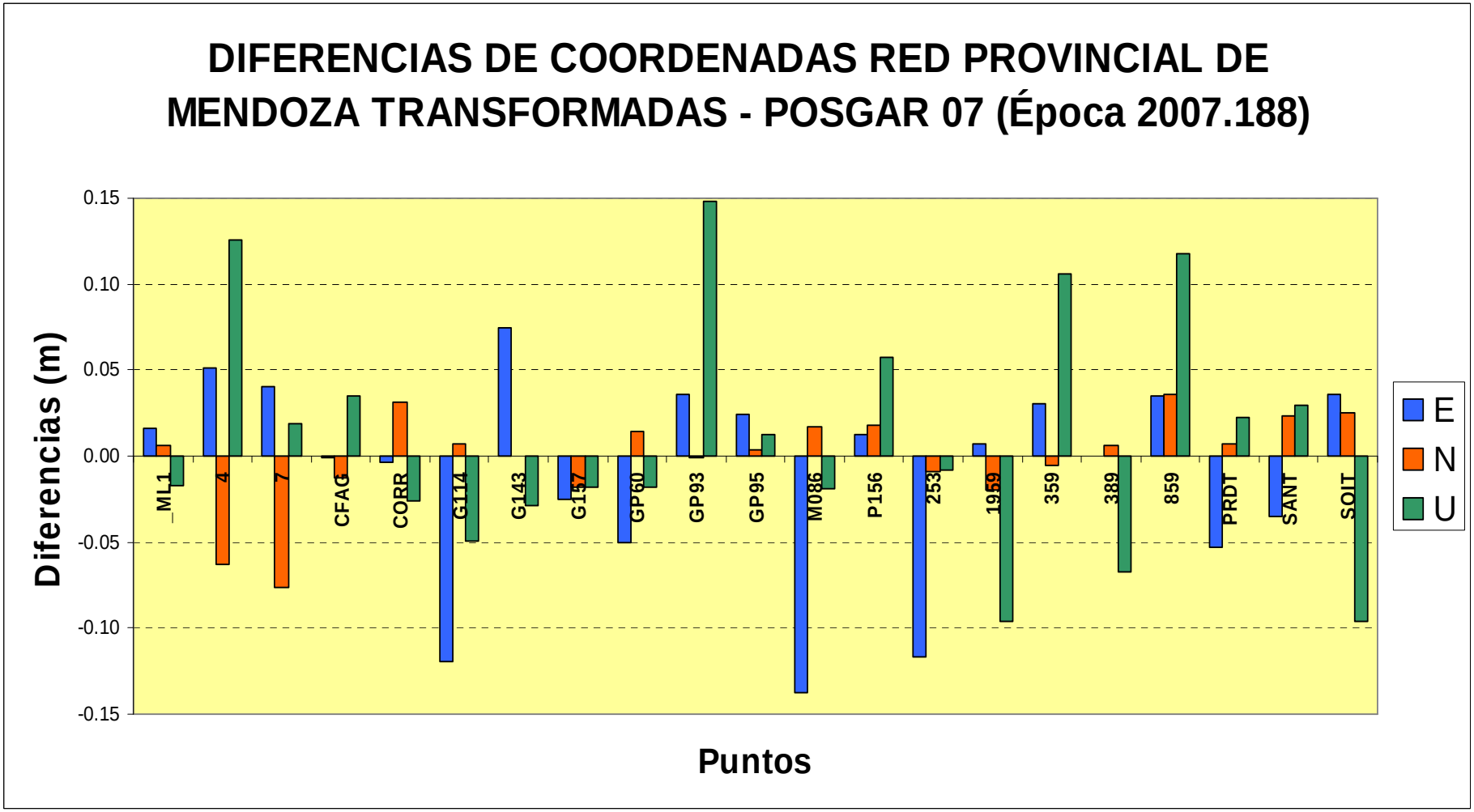
- 0007
- 0389
- GP60
- GP95
- CFAG
- PRDT
- SANT
- 0066
- G143
- G157
- CORR
- P156

PROVINCIAL

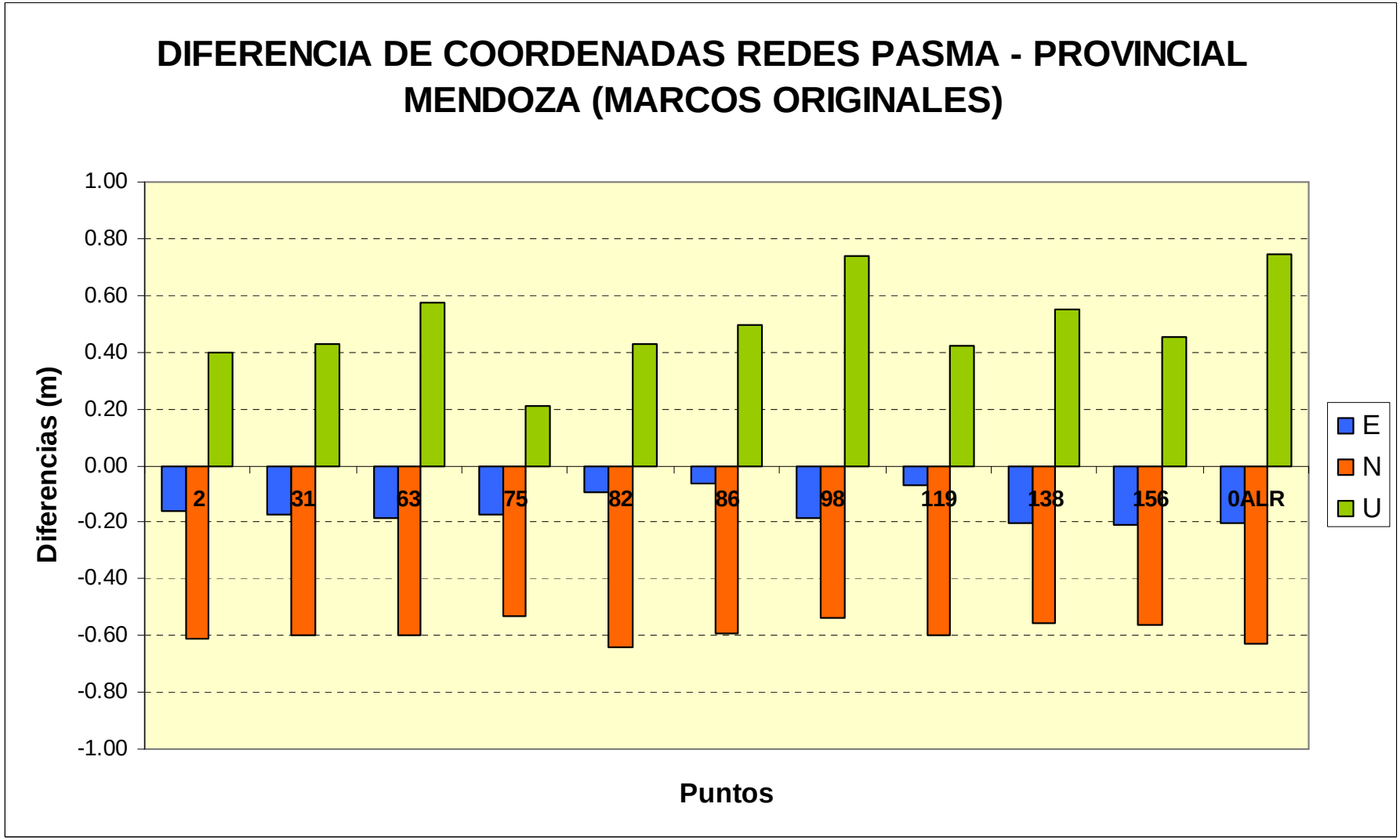
RESIDUOS DE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN DE LA RED PROVINCIAL DE MENDOZA



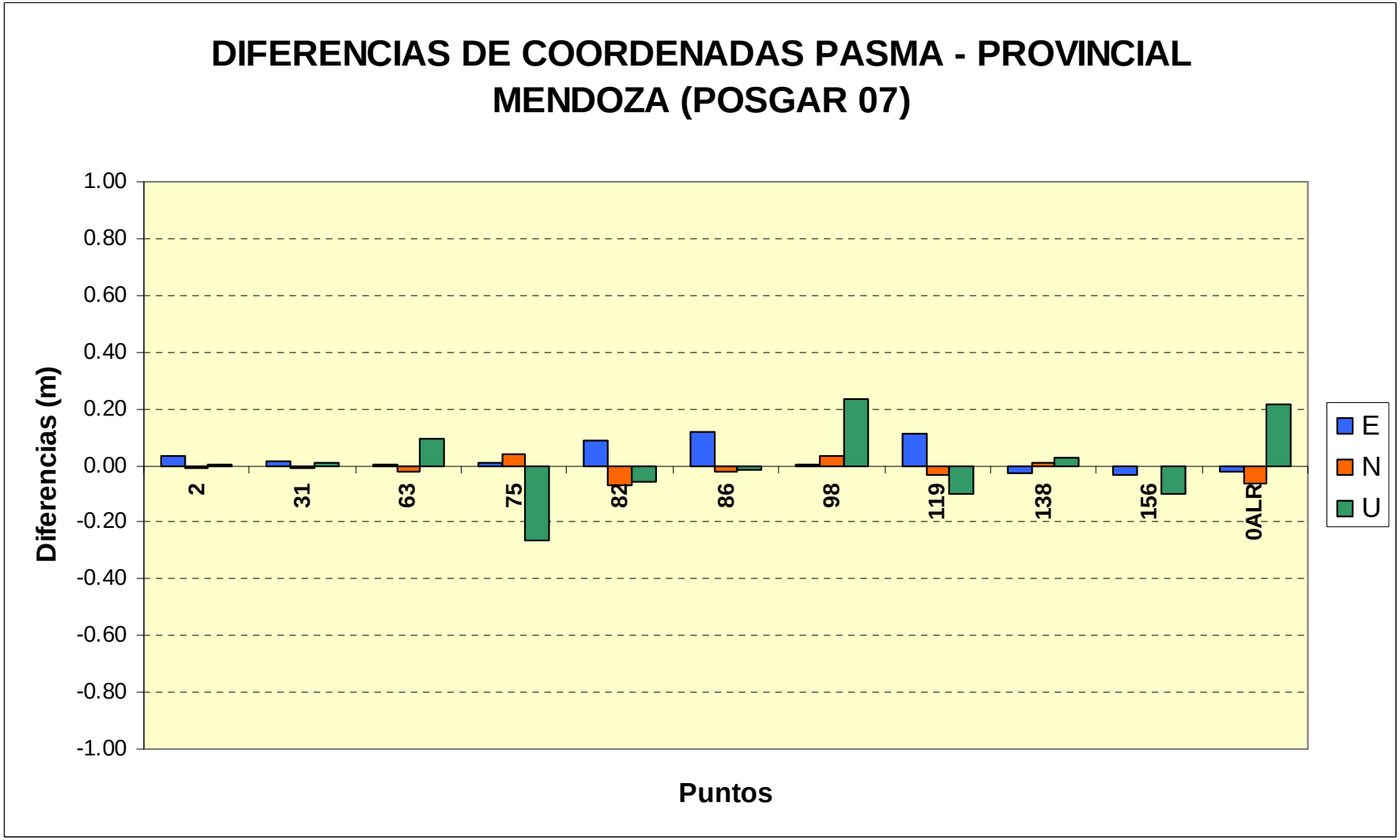
DIFERENCIAS DE COORDENADAS TRANSFORMADAS – POSGAR 07



DIFERENCIAS DE COORDENADAS REDES PASMA - PROVINCIAL



DIFERENCIAS DE COORDENADAS REDES PASMA - PROVINCIAL



PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE RED ORIGINAL PROVINCIAL Y POSGAR 07 MENDOZA

Parámetros Bursa-Wolf			
Dx	-0.333		
Dy	-0.144		
Dz	0.008		
Factor Escala	-2.92E-03	**-2.917**	ppb
Rx	-1.01E-02	**-2088417.752**	mas
Ry	3.29E-03	**677678.618**	mas
Rz	-2.92E-03	**-601721.262**	mas

PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE RED ORIGINAL PASMA Y POSGAR 07 MENDOZA

Parámetros Bursa-Wolf			
Dx	-2.257		
Dy	-0.107		
Dz	-1.853		
Factor Escala	8.14E-04	**0.814**	ppb
Rx	-5.99E-02	**-12347059.399**	mas
Ry	4.13E-02	**8508480.972**	mas
Rz	8.14E-04	**167867.581**	mas

POSGAR 07

- El nuevo Marco POSGAR 07 integra a todos los puntos de las redes Geodésicas Provinciales y PASMA con una precisión suficiente para aplicaciones topográficas y cartográficas.
- El nuevo Marco POSGAR 07 permite el uso de los todas las estaciones GPS permanentes de la red RAMSAC.

POSGAR 07 - Resumen

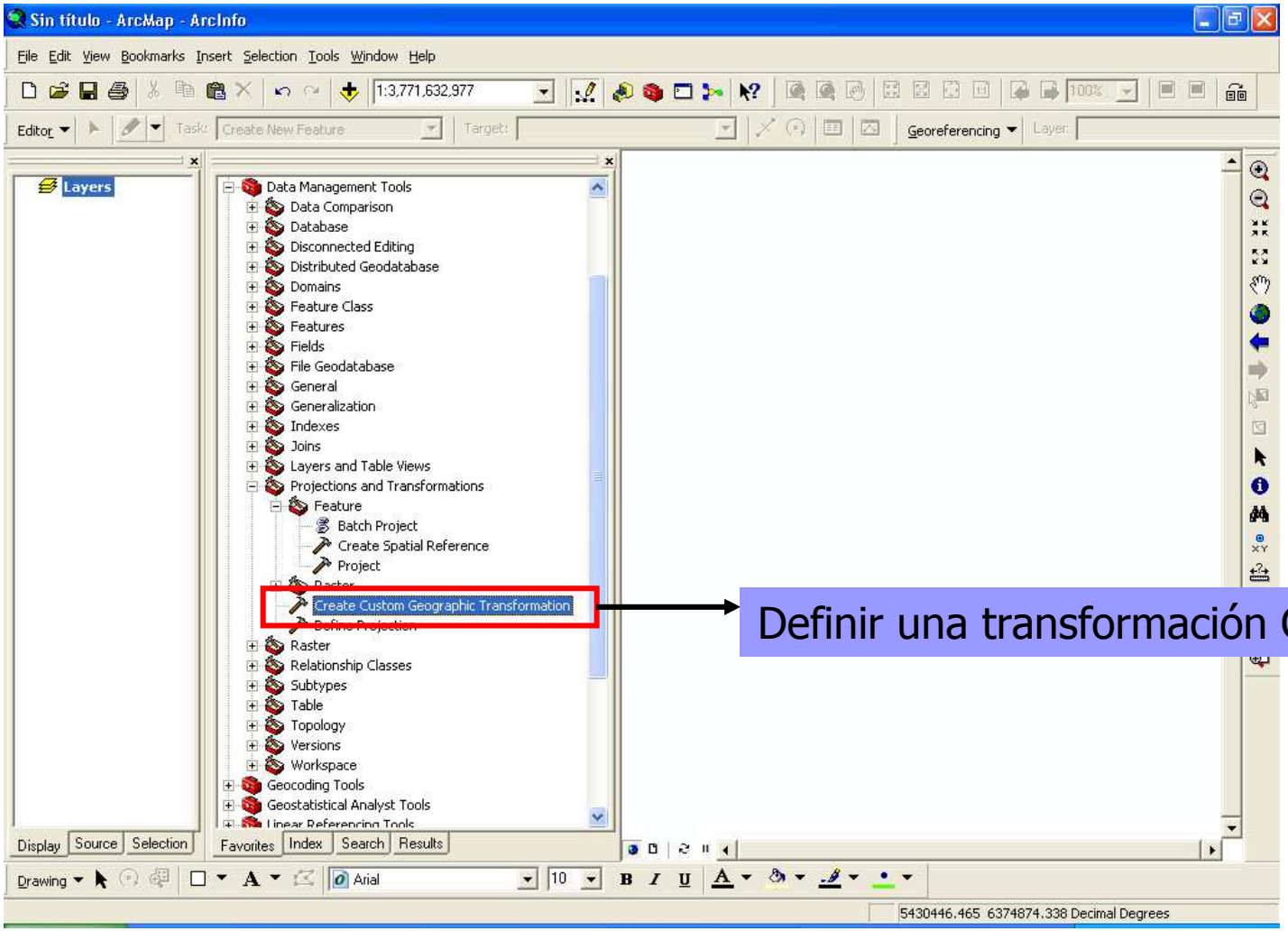
- Marco de Referencia Global.
- Densificación regional de ITRF2005 (materialización del ITRS) y SIRGAS.
- Época de medición: 2006.632.
- Coordenadas XYZ transformadas a φ,λ,h utilizando el elipsoide WGS84.
- Incorpora a las redes RAMSAC, PASMA y provinciales proveyendo un marco geodésico único, base para la **georreferenciación parcelaria**.

Pasaje de Coordenadas a POSGAR 07

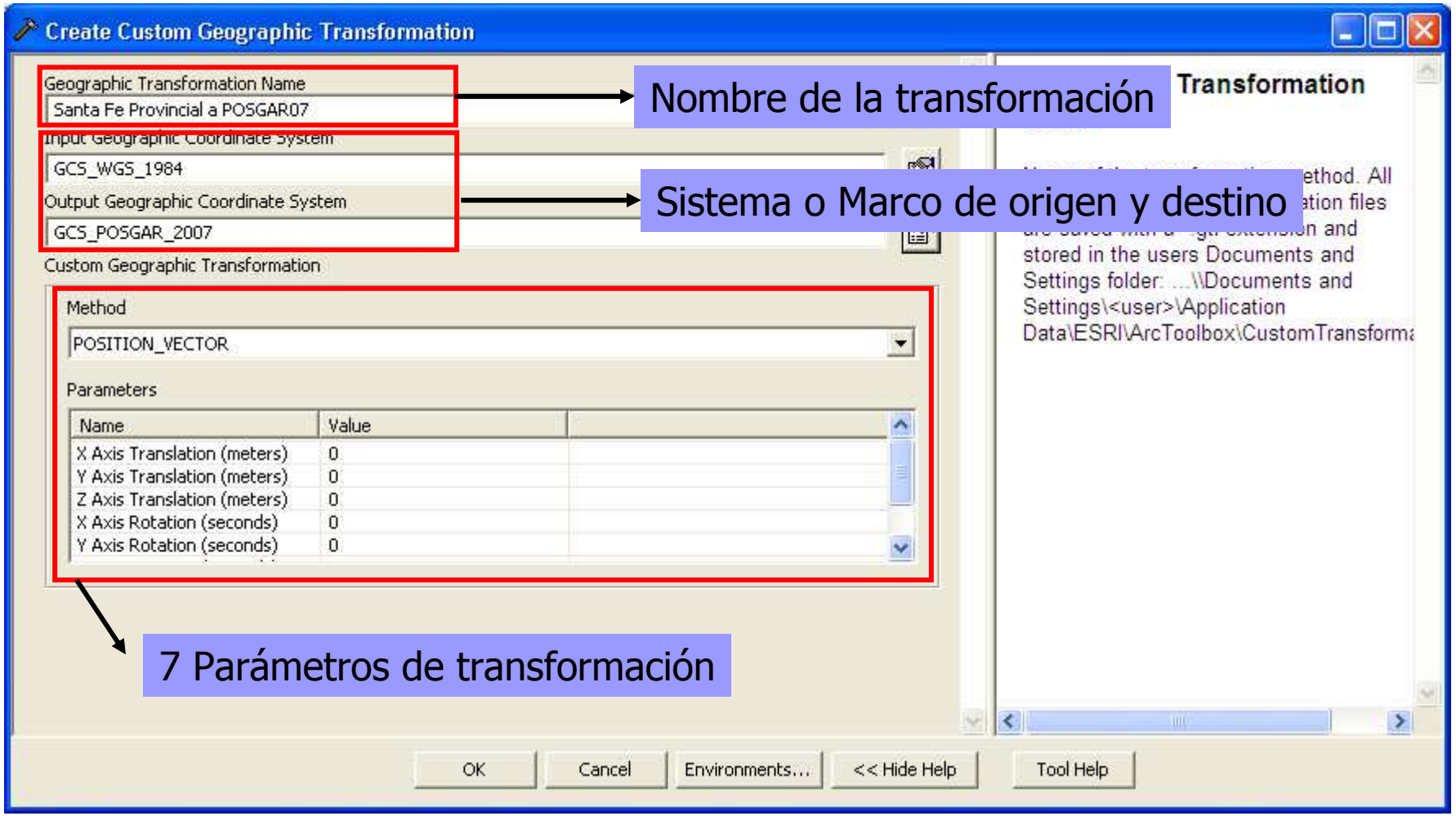
POSGAR 07

¿Cómo paso de un archivo en formato shape del Marco **POSGAR 94** (WGS 84), a **POSGAR 07**?

Transformar a POSGAR 07



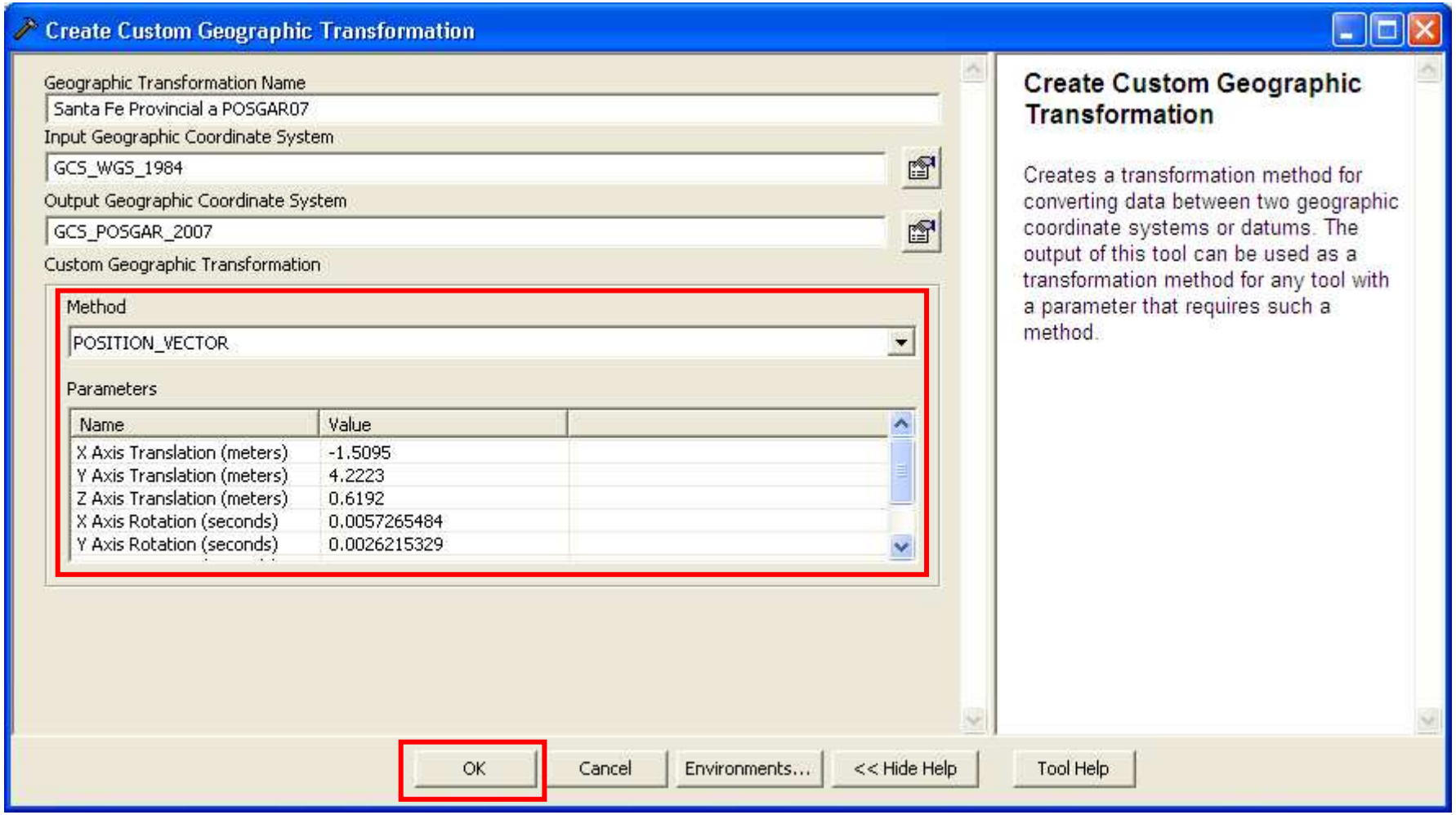
Definir una transformación geográfica



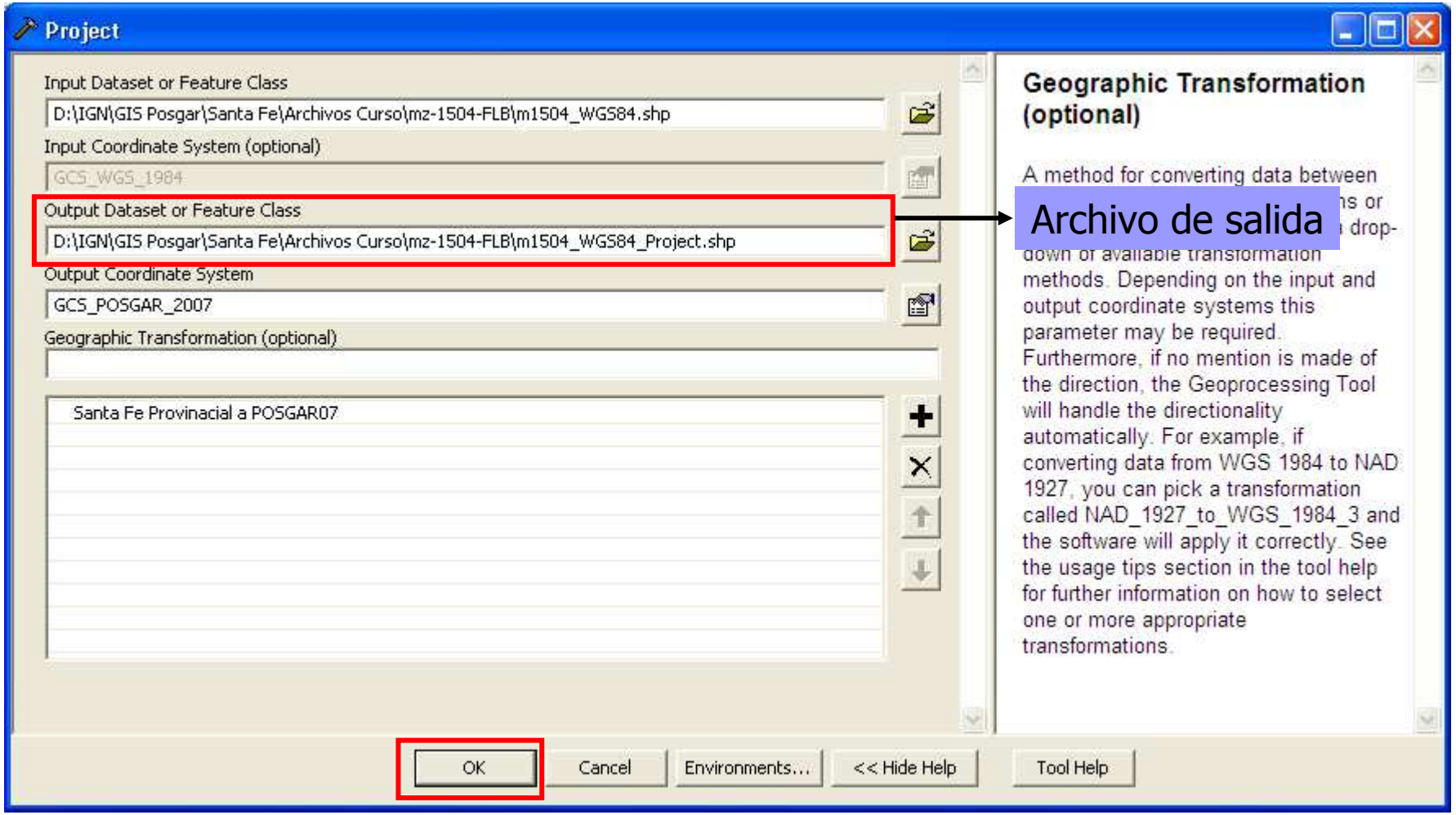
Parámetros de transformación

Parámetros Bursa-Wolf					
	Matriz X			Matriz X	
Dx	1.5095			1.5095	m
Dy	-4.2223			-4.2223	m
Dz	-0.6192			-0.6192	m
Factor Escala	-1.47596E-07	**-147.596**	ppb	-0.14759640	ppm
Rx	2.77631E-08	**5.727**	mas	0.00572655	arc seg
Ry	1.27096E-08	**2.622**	mas	0.00262153	arc seg
Rz	8.29989E-09	**1.712**	mas	0.00171197	arc seg

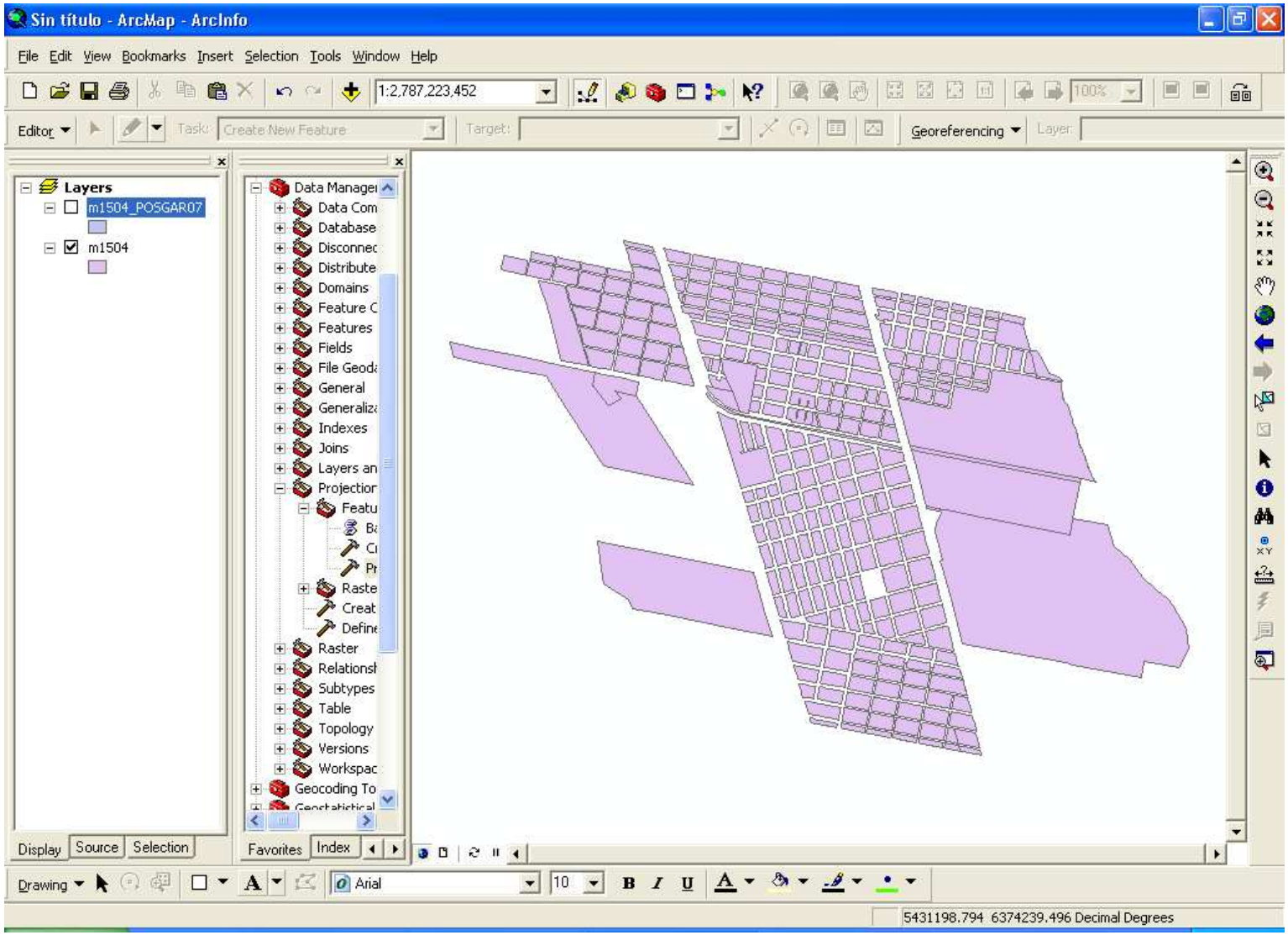
Definir una transformación geográfica



Aplicar los parámetros a un Shape

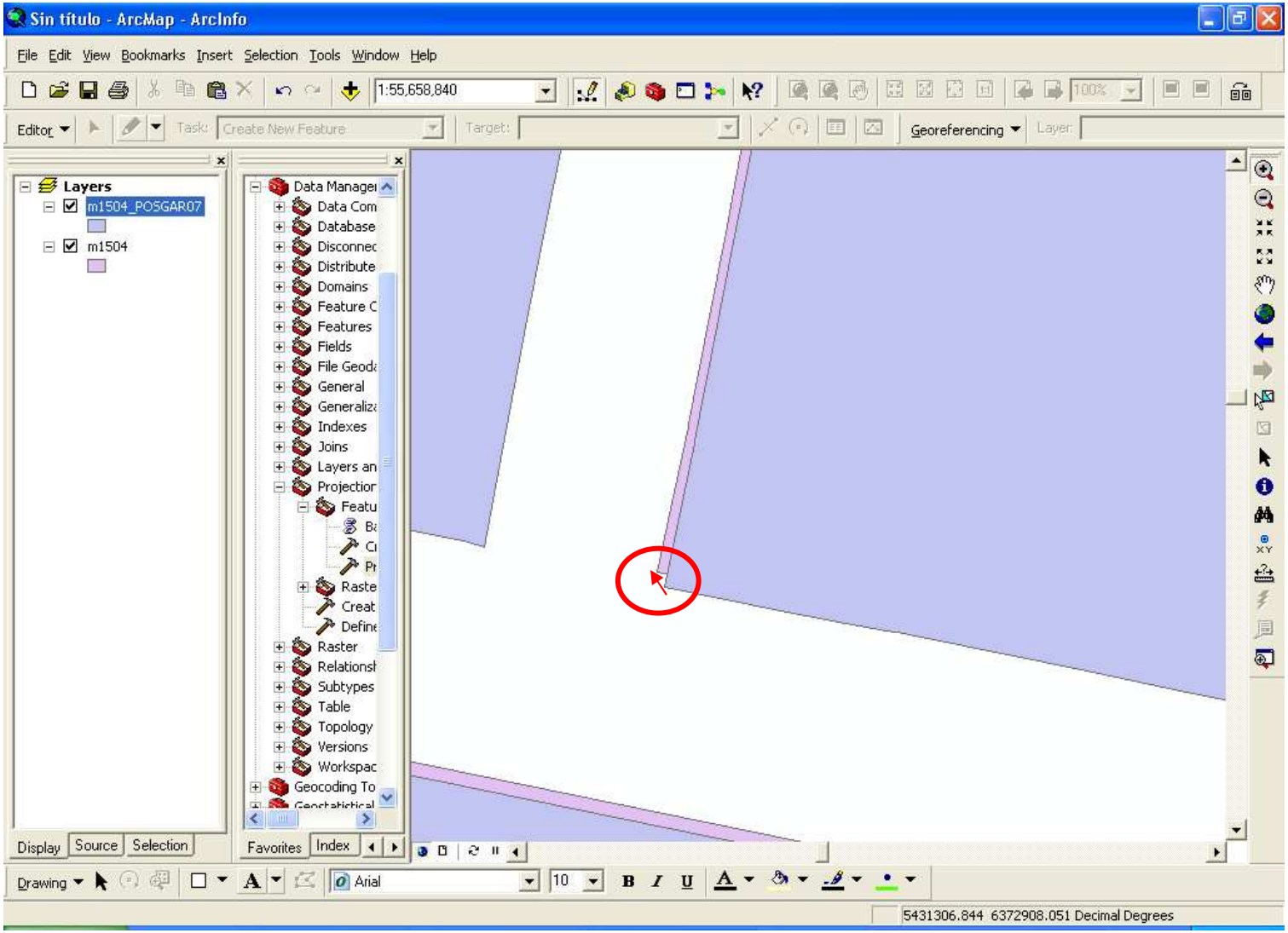


Resultado de la proyección



Shape en WGS84

Resultado de la proyección

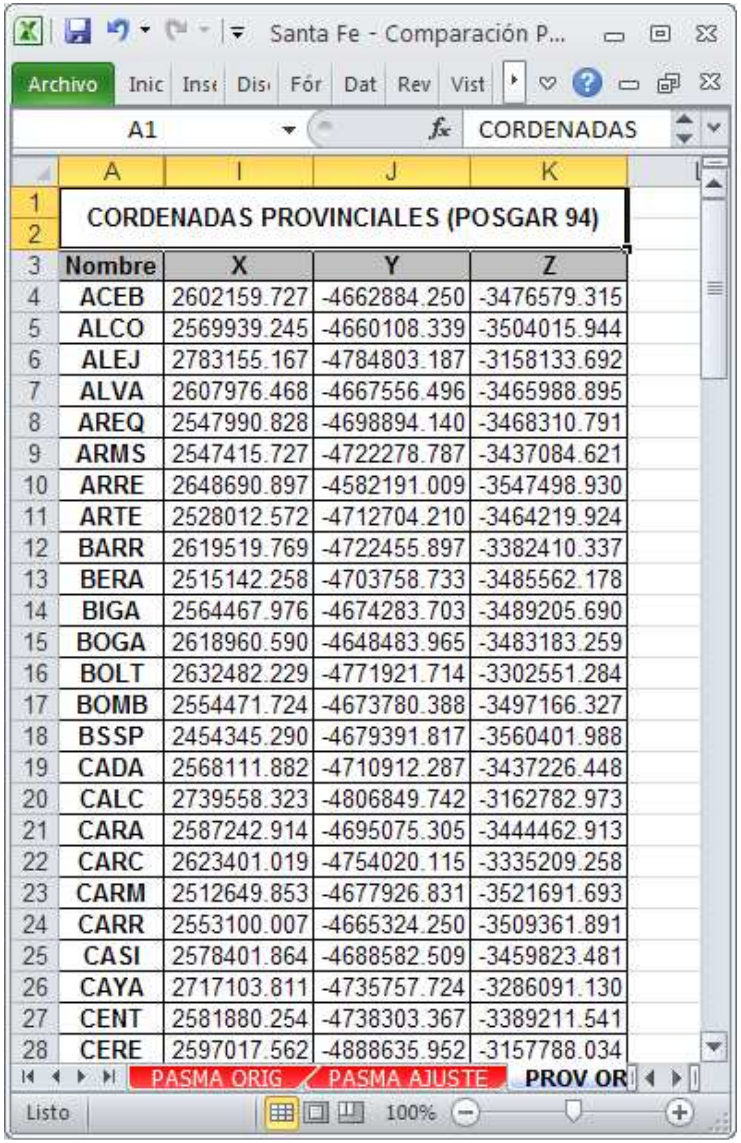


Desplazamiento entre WGS84 (Santa Fe) y POSGAR07

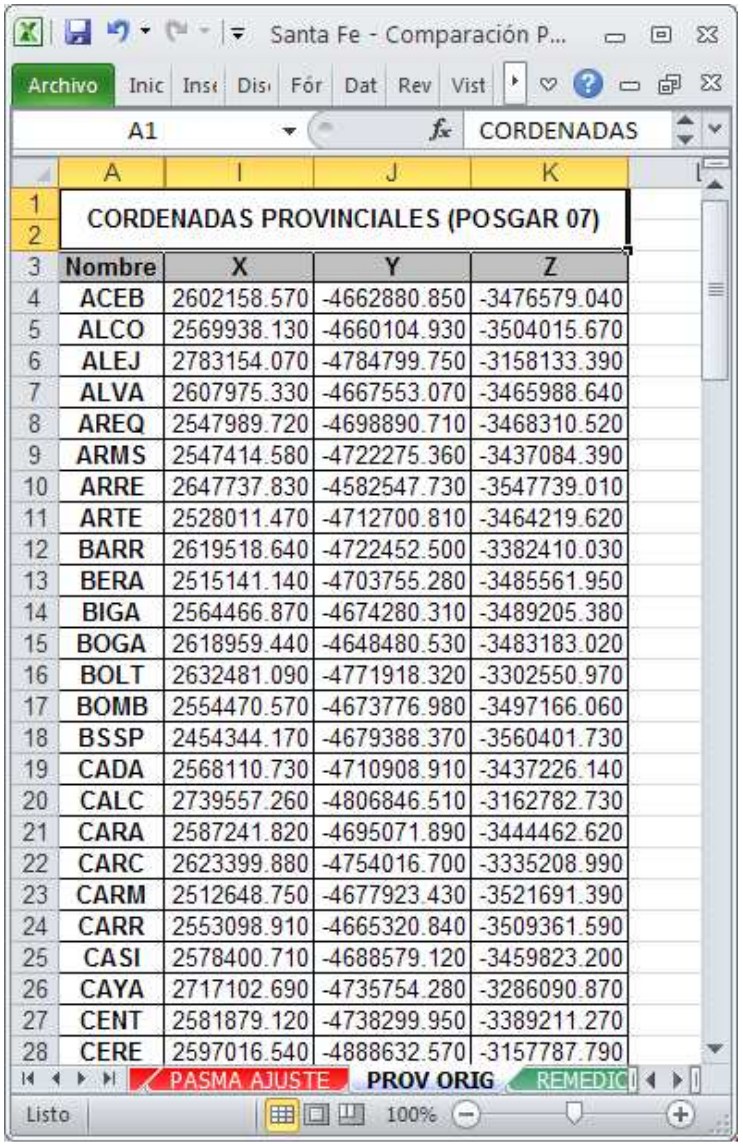
POSGAR 07

¿Cómo paso de un archivo en formato xls del Marco **POSGAR 94** (WGS 84), a **POSGAR 07**?

GEOCALC 6.2

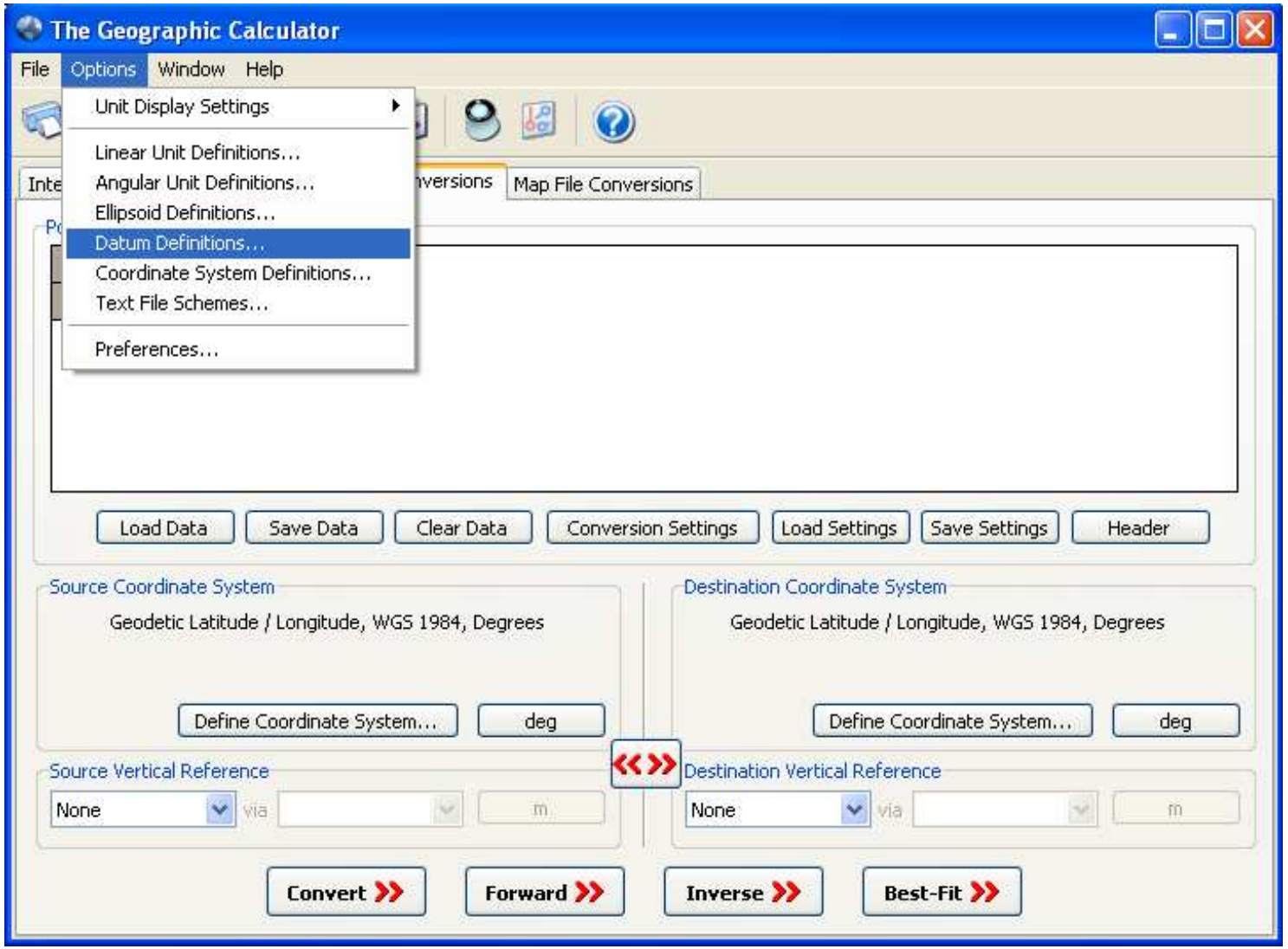


Nombre	X	Y	Z
ACEB	2602159.727	-4662884.250	-3476579.315
ALCO	2569939.245	-4660108.339	-3504015.944
ALEJ	2783155.167	-4784803.187	-3158133.692
ALVA	2607976.468	-4667556.496	-3465988.895
AREQ	2547990.828	-4698894.140	-3468310.791
ARMS	2547415.727	-4722278.787	-3437084.621
ARRE	2648690.897	-4582191.009	-3547498.930
ARTE	2528012.572	-4712704.210	-3464219.924
BARR	2619519.769	-4722455.897	-3382410.337
BERA	2515142.258	-4703758.733	-3485562.178
BIGA	2564467.976	-4674283.703	-3489205.690
BOGA	2618960.590	-4648483.965	-3483183.259
BOLT	2632482.229	-4771921.714	-3302551.284
BOMB	2554471.724	-4673780.388	-3497166.327
BSSP	2454345.290	-4679391.817	-3560401.988
CADA	2568111.882	-4710912.287	-3437226.448
CALC	2739558.323	-4806849.742	-3162782.973
CARA	2587242.914	-4695075.305	-3444462.913
CARC	2623401.019	-4754020.115	-3335209.258
CARM	2512649.853	-4677926.831	-3521691.693
CARR	2553100.007	-4665324.250	-3509361.891
CASI	2578401.864	-4688582.509	-3459823.481
CAYA	2717103.811	-4735757.724	-3286091.130
CENT	2581880.254	-4738303.367	-3389211.541
CERE	2597017.562	-4888635.952	-3157788.034

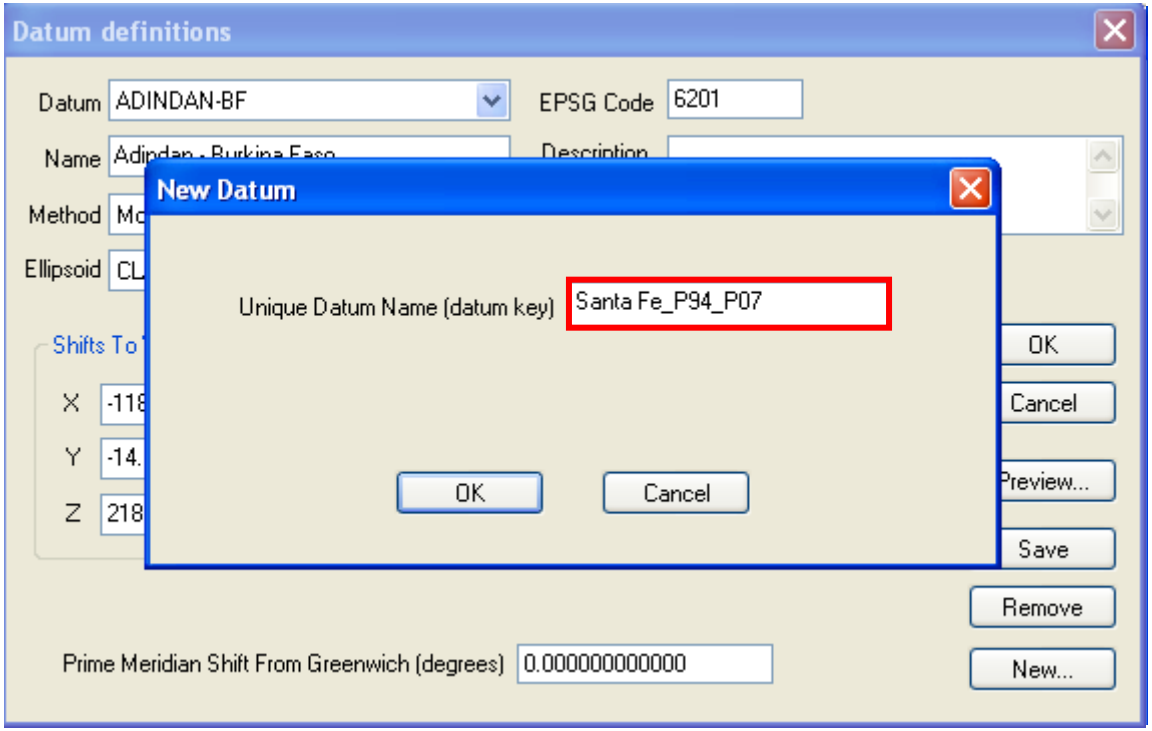


Nombre	X	Y	Z
ACEB	2602158.570	-4662880.850	-3476579.040
ALCO	2569938.130	-4660104.930	-3504015.670
ALEJ	2783154.070	-4784799.750	-3158133.390
ALVA	2607975.330	-4667553.070	-3465988.640
AREQ	2547989.720	-4698890.710	-3468310.520
ARMS	2547414.580	-4722275.360	-3437084.390
ARRE	2647737.830	-4582547.730	-3547739.010
ARTE	2528011.470	-4712700.810	-3464219.620
BARR	2619518.640	-4722452.500	-3382410.030
BERA	2515141.140	-4703755.280	-3485561.950
BIGA	2564466.870	-4674280.310	-3489205.380
BOGA	2618959.440	-4648480.530	-3483183.020
BOLT	2632481.090	-4771918.320	-3302550.970
BOMB	2554470.570	-4673776.980	-3497166.060
BSSP	2454344.170	-4679388.370	-3560401.730
CADA	2568110.730	-4710908.910	-3437226.140
CALC	2739557.260	-4806846.510	-3162782.730
CARA	2587241.820	-4695071.890	-3444462.620
CARC	2623399.880	-4754016.700	-3335208.990
CARM	2512648.750	-4677923.430	-3521691.390
CARR	2553098.910	-4665320.840	-3509361.590
CASI	2578400.710	-4688579.120	-3459823.200
CAYA	2717102.690	-4735754.280	-3286090.870
CENT	2581879.120	-4738299.950	-3389211.270
CERE	2597016.540	-4888632.570	-3157787.790

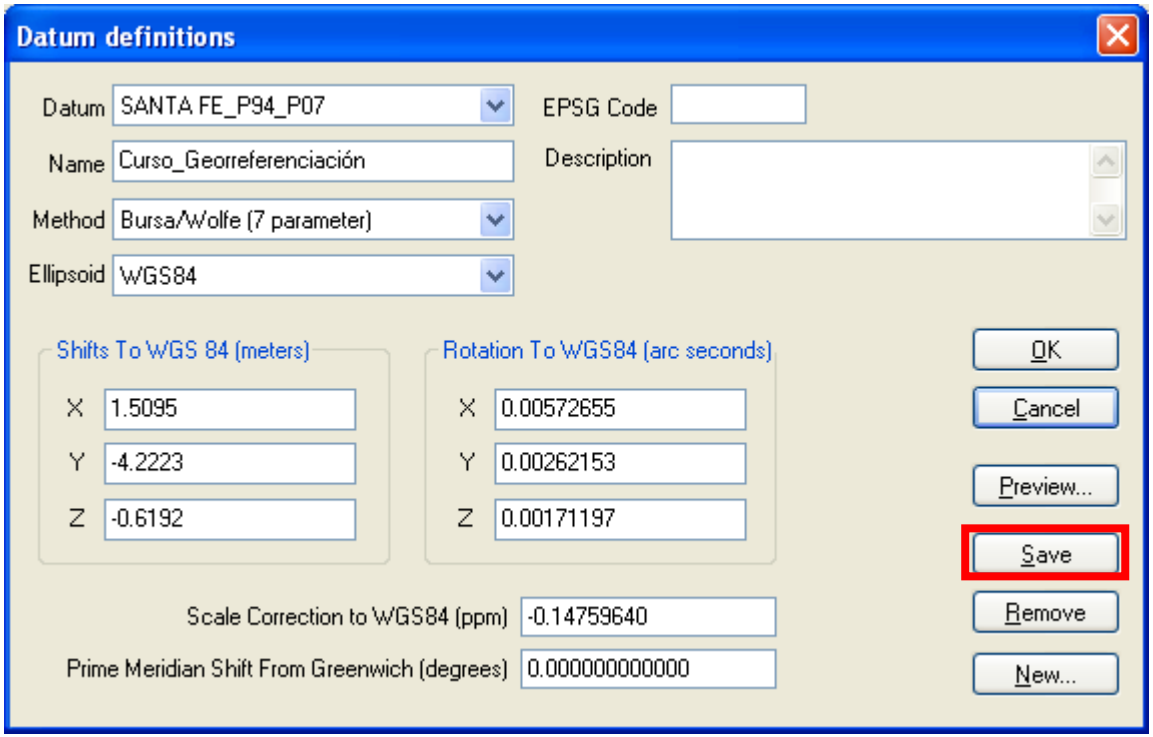
GEOCALC 6.2


The Geographic Calculator
File
Options
Window
Help
Unit Display Settings
Linear Unit Definitions...
Angular Unit Definitions...
Ellipsoid Definitions...
Datum Definitions...
Coordinate System Definitions...
Text File Schemes...
Preferences...
Map File Conversions
Load Data
Save Data
Clear Data
Conversion Settings
Load Settings
Save Settings
Header
Source Coordinate System
Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees
Define Coordinate System...
deg
Destination Coordinate System
Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees
Define Coordinate System...
deg
Source Vertical Reference
None
via
m
Destination Vertical Reference
None
via
m
Convert
Forward
Inverse
Best-Fit

GEOCALC 6.2


Datum definitions
Datum
ADINDAN-BF
EPSG Code
6201
Name
Description
Method
Ellipsoid
Shifts To
X
Y
Z
OK
Cancel
Preview...
Save
Remove
New...
Prime Meridian Shift From Greenwich (degrees)
0.000000000000
New Datum
Unique Datum Name (datum key)
Santa Fe_P94_P07
OK
Cancel

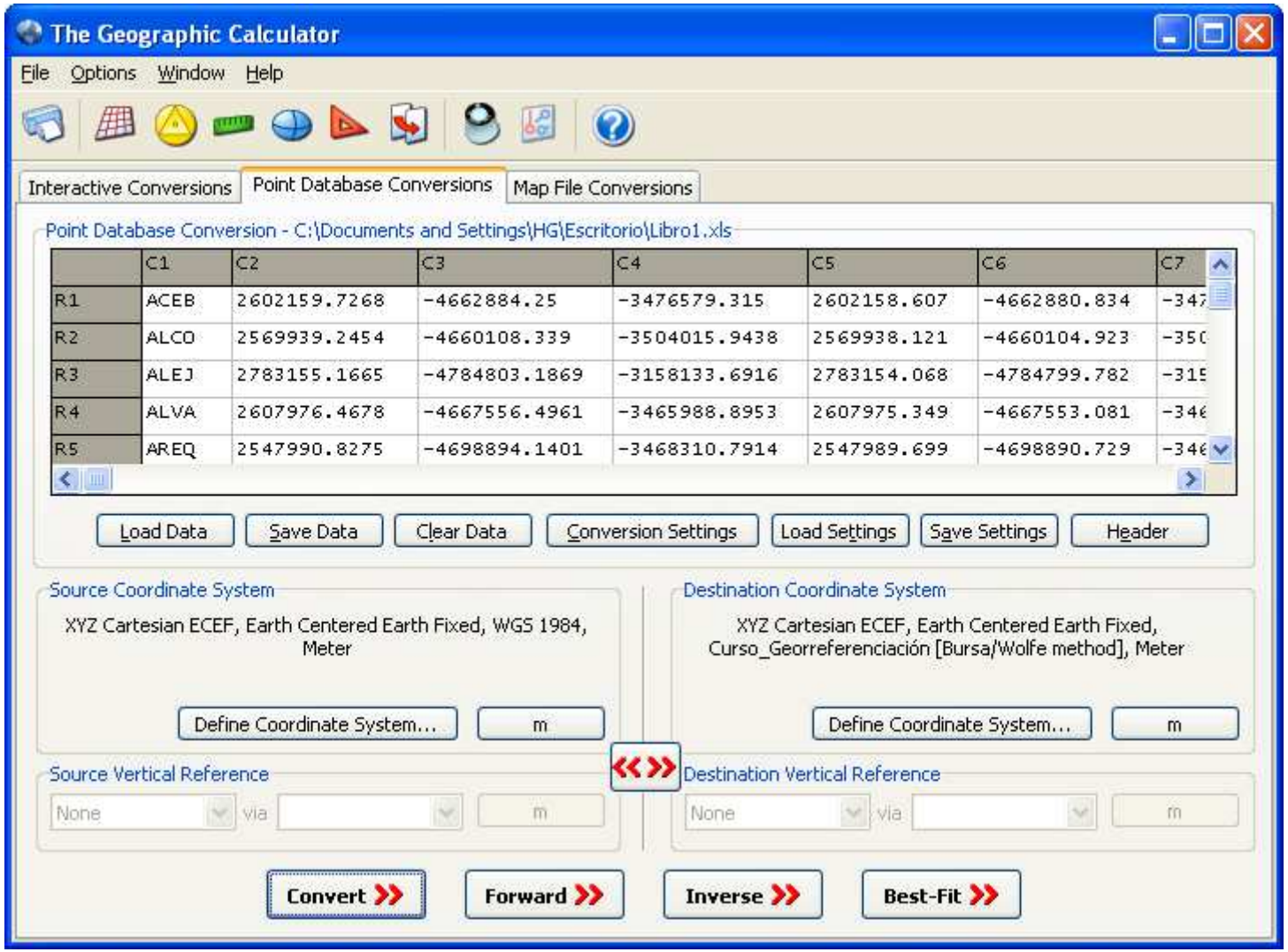
GEOCALC 6.2


Datum definitions
Datum
SANTA FE_P94_P07
EPSG Code
Name
Curso_Georreferenciación
Description
Method
Bursa/Wolfe (7 parameter)
Ellipsoid
WGS84
Shifts To WGS 84 (meters)
X
1.5095
Y
-4.2223
Z
-0.6192
Rotation To WGS84 (arc seconds)
X
0.00572655
Y
0.00262153
Z
0.00171197
Scale Correction to WGS84 (ppm)
-0.14759640
Prime Meridian Shift From Greenwich (degrees)
0.000000000000
OK
Cancel
Preview...
Save
Remove
New...

Parámetros de transformación

Parámetros Bursa-Wolf					
	Matriz X			Matriz X	
Dx	1.5095			1.5095	m
Dy	-4.2223			-4.2223	m
Dz	-0.6192			-0.6192	m
Factor Escala	-1.47596E-07	**-147.596**	ppb	-0.14759640	ppm
Rx	2.77631E-08	**5.727**	mas	0.00572655	arc seg
Ry	1.27096E-08	**2.622**	mas	0.00262153	arc seg
Rz	8.29989E-09	**1.712**	mas	0.00171197	arc seg

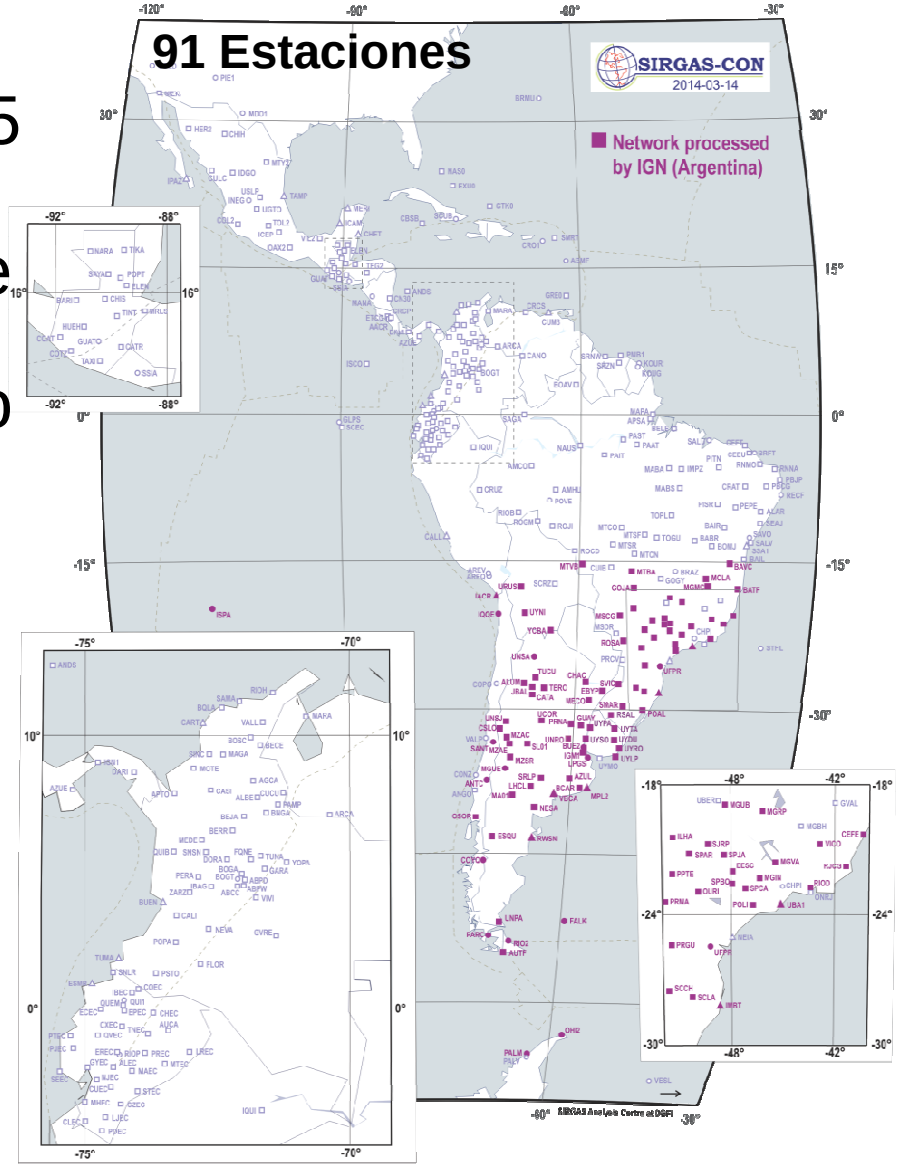
GEOCALC 6.2


The Geographic Calculator
File Options Window Help
Interactive Conversions
Point Database Conversions
Map File Conversions
Point Database Conversion - C:\Documents and Settings\HG\Escritorio\Libro1.xls
C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7
R1 ACEB 2602159.7268 -4662884.25 -3476579.315 2602158.607 -4662880.834
R2 ALCO 2569939.2454 -4660108.339 -3504015.9438 2569938.121 -4660104.923
R3 ALEJ 2783155.1665 -4784803.1869 -3158133.6916 2783154.068 -4784799.782
R4 ALVA 2607976.4678 -4667556.4961 -3465988.8953 2607975.349 -4667553.081
R5 AREQ 2547990.8275 -4698894.1401 -3468310.7914 2547989.699 -4698890.729
Load Data
Save Data
Clear Data
Conversion Settings
Load Settings
Save Settings
Header
Source Coordinate System
XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, WGS 1984, Meter
Define Coordinate System...
m
Destination Coordinate System
XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, Curso_Georreferenciación [Bursa/Wolfe method], Meter
Define Coordinate System...
m
Source Vertical Reference
None
via
m
Destination Vertical Reference
None
via
m
Convert
Forward
Inverse
Best-Fit

Centro de Procesamiento GPS Científico GNA

Centro de Procesamiento GNA

- El centro funciona desde 2005
- El 29 de noviembre de 2010 SIRGAS oficializa al centro de procesamiento que funciona dentro del Instituto Geográfico Nacional (GNA)
- Procesamiento de la red SIRGAS-CON-D-SUR con el **software científico GAMIT-GLOBK**
- Los parámetros de procesamiento y combinación son los definidos por SIRGAS

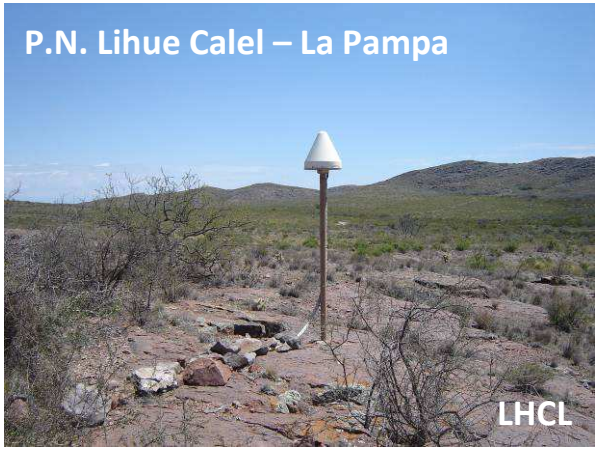


Centro de Procesamiento GNA - ¿Qué se obtiene?

Coordenadas de las estaciones SIRGAS











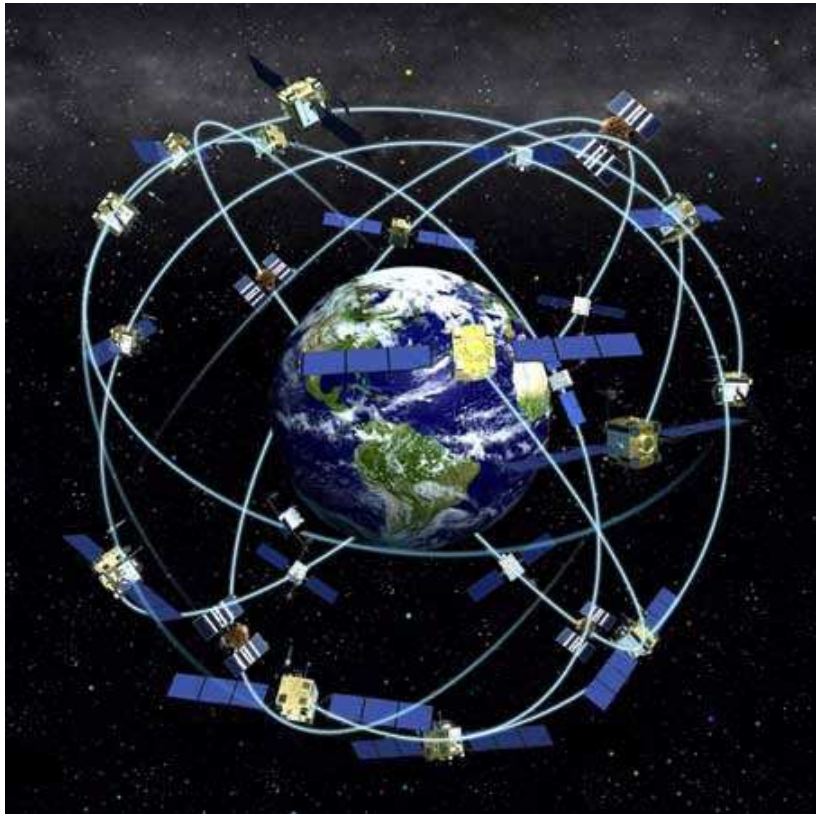


Centro de Procesamiento GNA - ¿Cómo se obtiene?

- Software GAMIT-GLOBK (MIT)
  - Archivos de medición de las estaciones
  - Tablas para el procesamiento
    - Coordenadas precisas de los satélites
    - Calibración de antenas
    - Parámetros de orientación del polo (EOP)
    - Modelo Troposférico
    - Marea terrestre
    - Nutación
    - Efemérides solares y lunares
    - Carga atmosférica

GAMIT-GLOBK

- Coordenadas precisas de los satélites GPS





GAMIT-GLOBK

- Coordenadas precisas de los satélites GPS

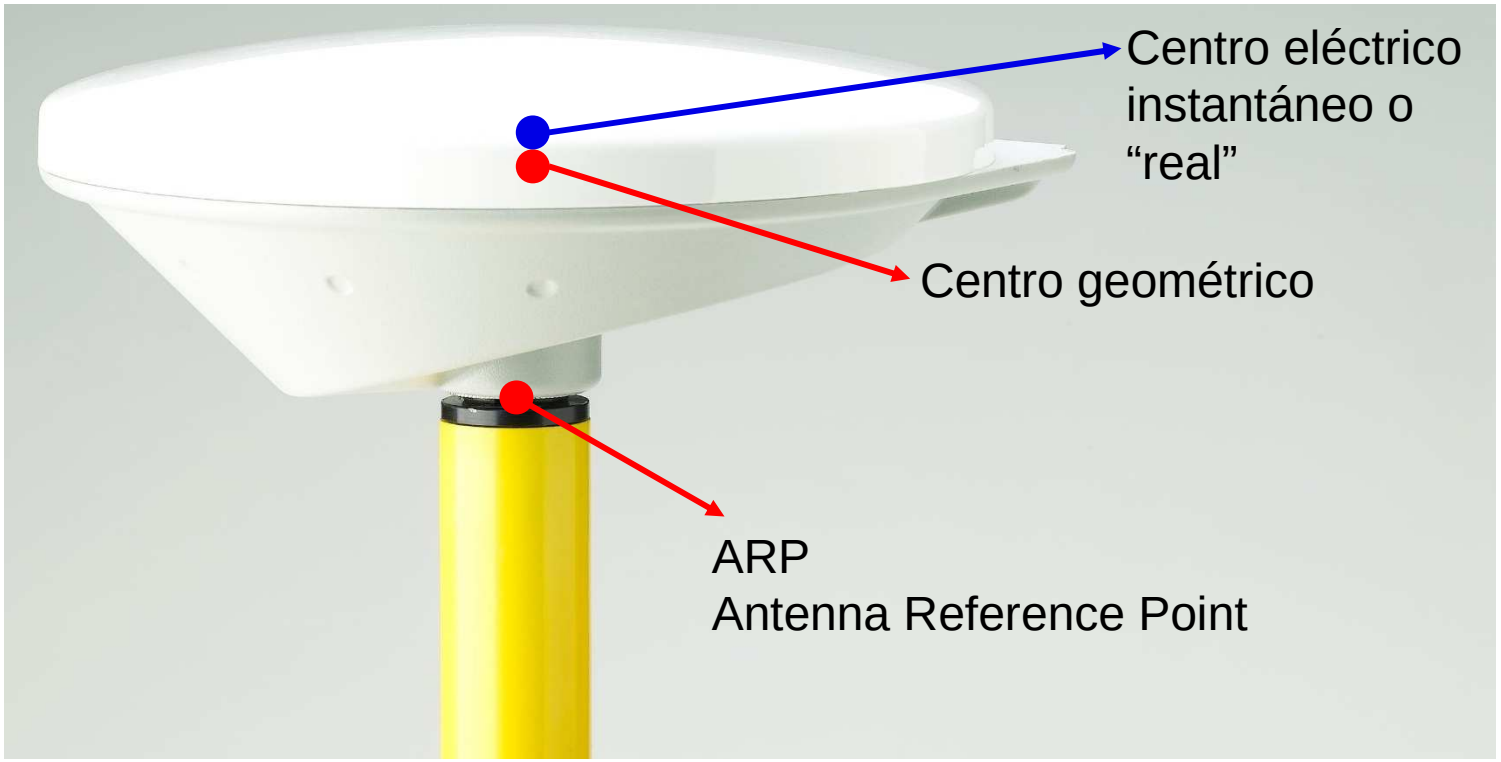
12 Centros de Análisis IGS monitorean la constelación GPS, y combinan sus soluciones

NOMBRE DEL CENTRO	CODIGO IGS
Center for Orbit Determination in Europe, AIUB, Switzerland	**CODE**
European Space Operations Center, ESA, Germany	**ESOC**
Geodetic Observatory Pecny, Czech Republic	**GOP-RIGTC**
GeoForschungsZentrum, Germany	**GFZ**
GRGS-CNES/CLS, Toulouse, France	**GRGS**
Jet Propulsion Laboratory, USA	**JPL**
Massachusetts Institute of Technology, USA	**MIT**
National Oceanic and Atmospheric Administration / NGS, USA	**NOAA**
Natural Resources Canada, Canada	**NRCan**
Scripps Institution of Oceanography, USA	**SIO**
U.S. Naval Observatory, USA	**USNO**
Wuhan University, China	**WHU**

TIPOS DE ÓRBITAS	PRECISIÓN (cm)	DISPONIBILIDAD	DISPONIBLE EN
Transmitidas	100	Tiempo Real	Mensaje de navegación
Ultrarápidas (Predicha)	5	Tiempo Real	IGS
Ultrarápidas (Observada)	3	de 3 a 9 hs	IGS
Rápidas	~2.5	de 17 a 41 Horas	IGS
Final	**<2.0**	**12 a 18 Días**	**IGS**

Calibración de antenas

Para cualquier antena GPS, el centro de fase eléctrico no es estable, sino que varía con el cambio de dirección de la señal desde el satélite



GAMIT-GLOBK

- Marea terrestre
  - Amplitud de 20 cm
  - Efecto debido a la atracción ejercida por la luna

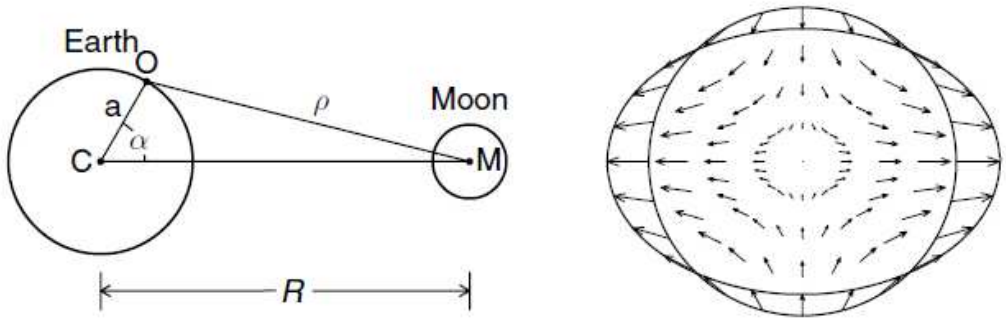


Figure 2 Tidal forcing. On the left is the geometry of the problem for computing the tidal force at a point *O* on the Earth, given an external body M. The right plot shows the field of forces (accelerations) for the actual Earth–Moon separation; the scale of the largest arrow is 1.14 $\mu m\,s^{-2}$ for the Moon, and 0.51 $\mu m\,s^{-2}$ for the Sun. The elliptical line shows the equipotential surface under tidal forcing, greatly exaggerated.

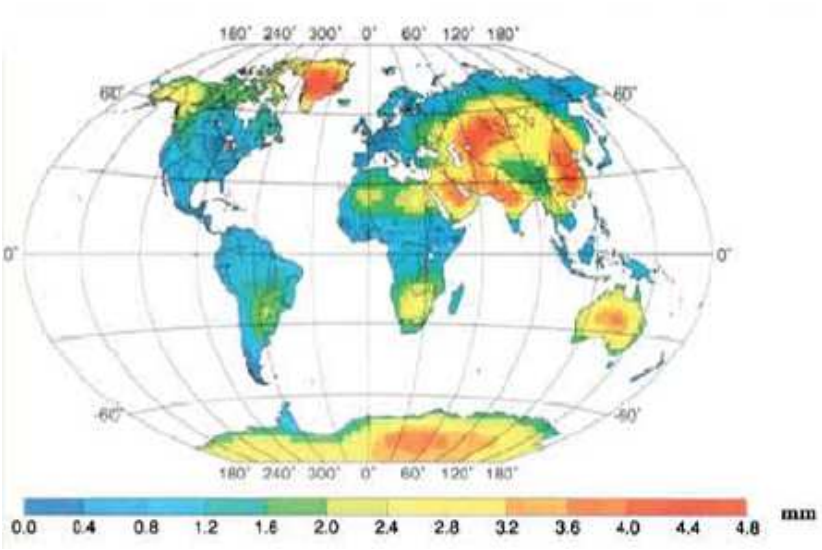
GAMIT-GLOBK

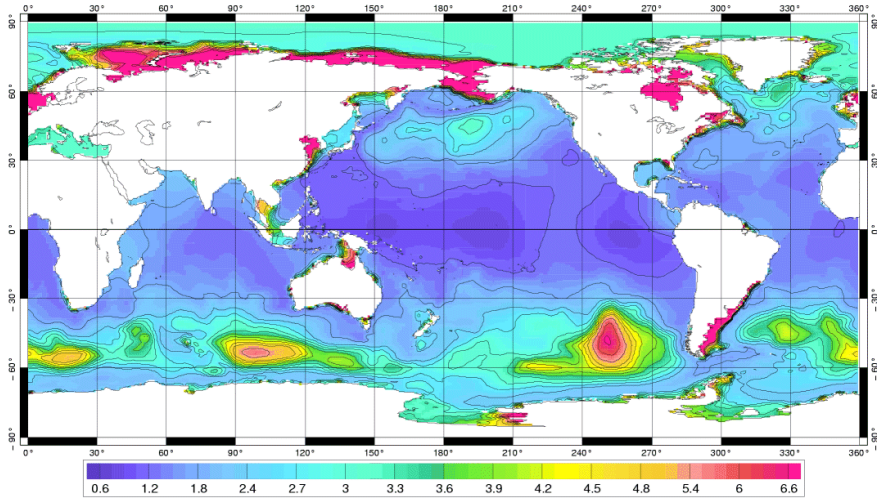
- Efemérides del Sol y la Luna



GAMIT-GLOBK

- Carga atmosférica
  - Presión atmosférica
    - Depende de la altura, la temperatura y la humedad

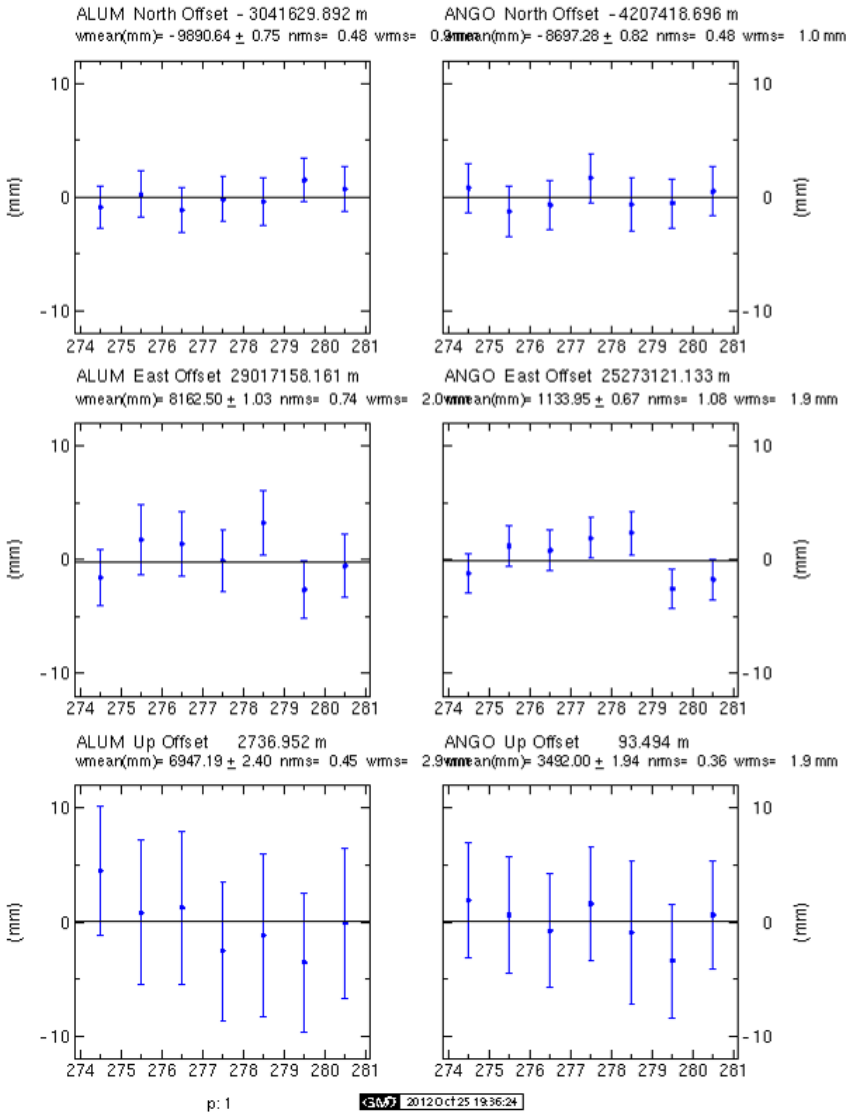




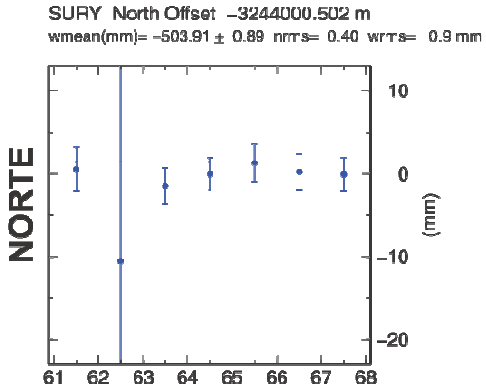
Variación Máxima de 25 mm

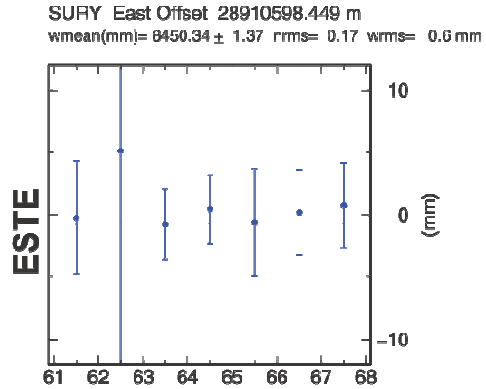
GAMIT-GLOBK

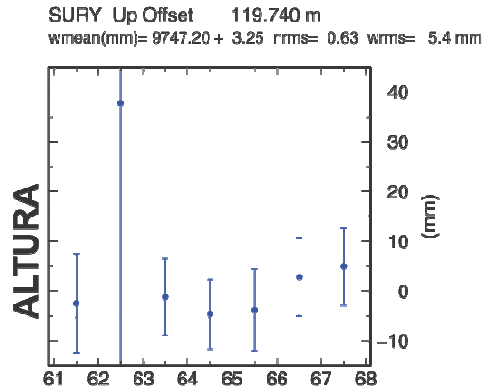
- Procesamiento por día
- Se obtienen coordenadas diarias de cada estación
- Se combinan en una solución semanal que otorga precisiones milimétricas

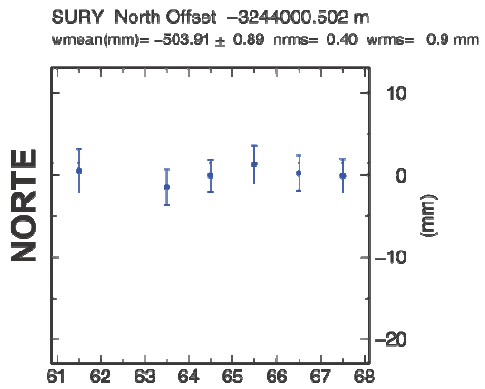


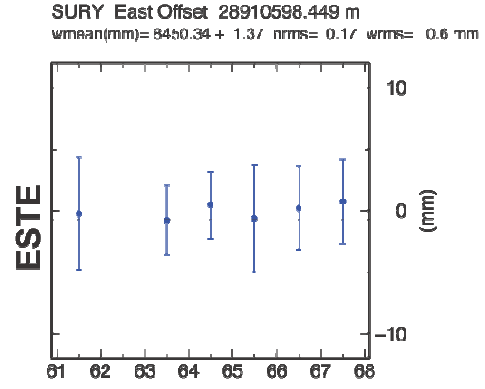
GAMIT-GLOBK

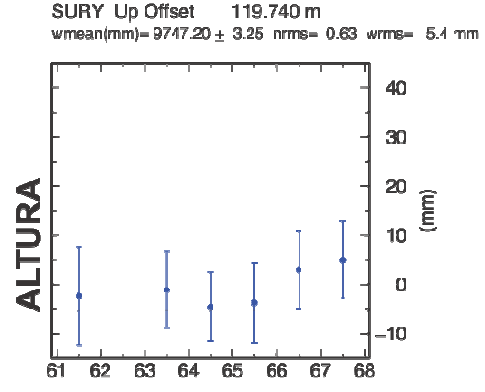

SURY North Offset −3244000.502 m
wmean(mm)= −503.91 ± 0.89 nrms= 0.40 wrms= 0.9 mm
NORTE
10
0
−10
−20
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68


SURY East Offset 28910598.449 m
wmean(mm)= 8450.34 ± 1.37 nrms= 0.17 wrms= 0.6 mm
ESTE
10
0
−10
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68


SURY Up Offset 119.740 m
wmean(mm)= 9747.20 ± 3.25 nrms= 0.63 wrms= 5.4 mm
ALTURA
40
30
20
10
0
−10
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68


SURY North Offset −3244000.502 m
wmean(mm)= −503.91 ± 0.89 nrms= 0.40 wrms= 0.9 mm
NORTE
10
0
−10
−20
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68

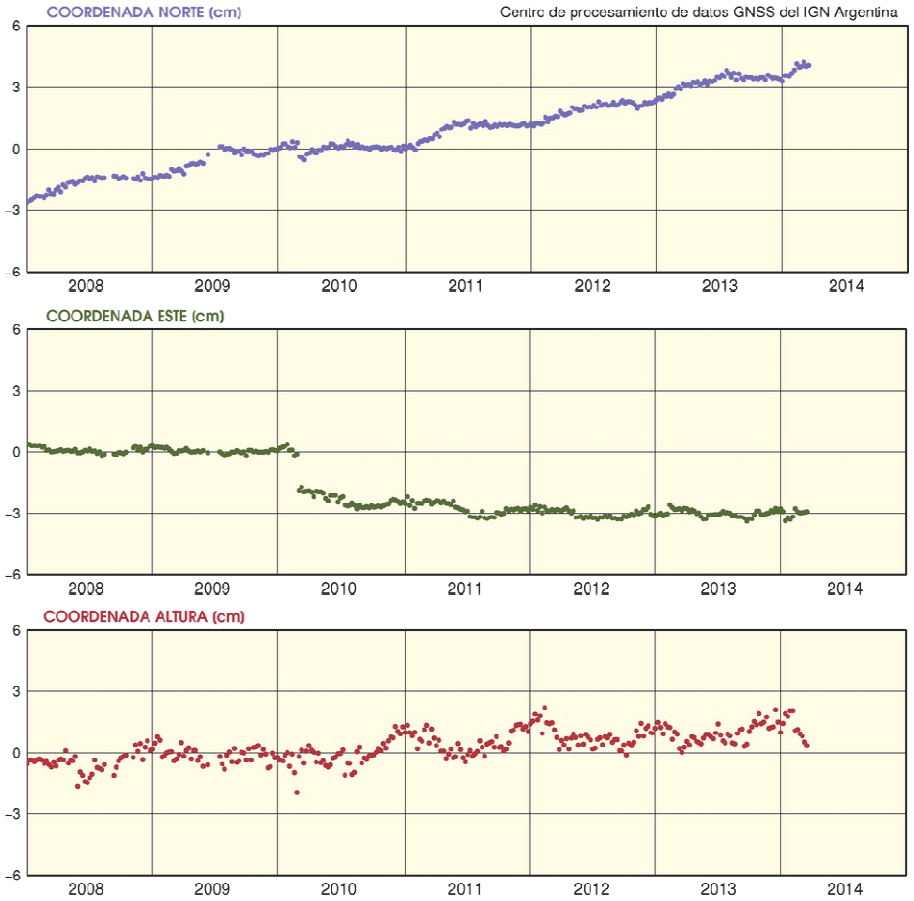

SURY East Offset 28910598.449 m
ESTE
10
0
−10
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68


SURY Up Offset 119.740 m
wmean(mm)= 9747.20 ± 3.25 nrms= 0.63 wrms= 5.4 mm
ALTURA
40
30
20
10
0
−10
(mm)
61 62 63 64 65 66 67 68

Centro de Procesamiento GNA – Series de tiempo

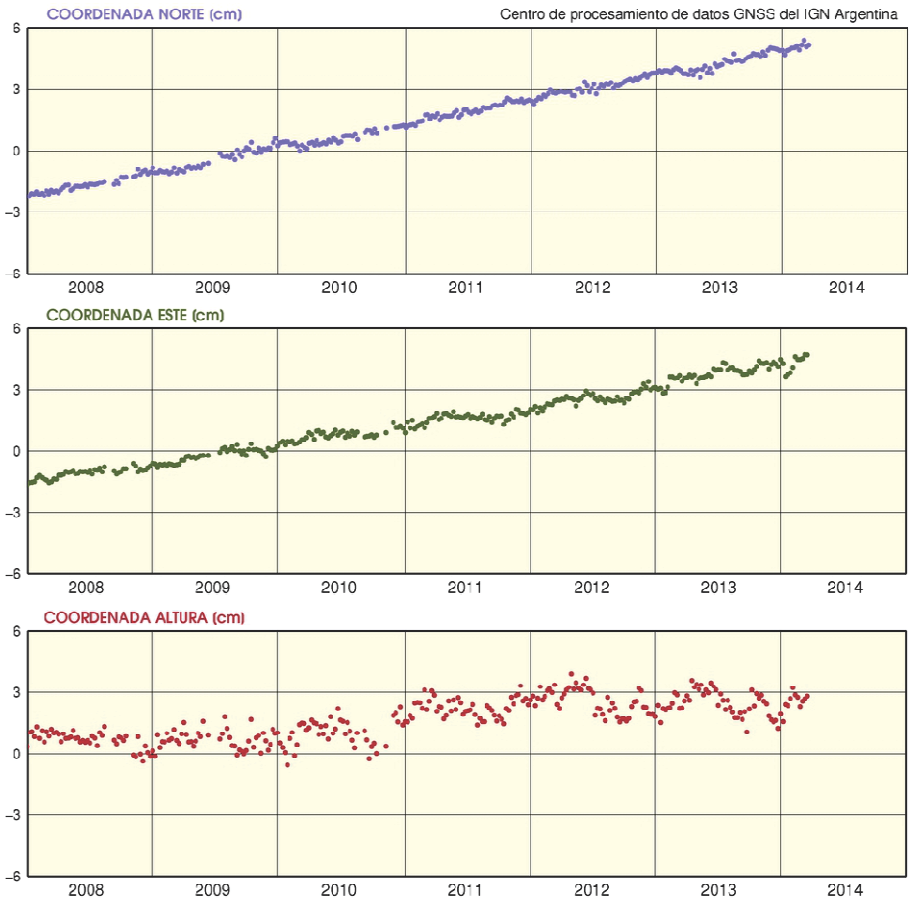
Estación IGM1

Ciudad de Buenos Aires, Buenos Aires

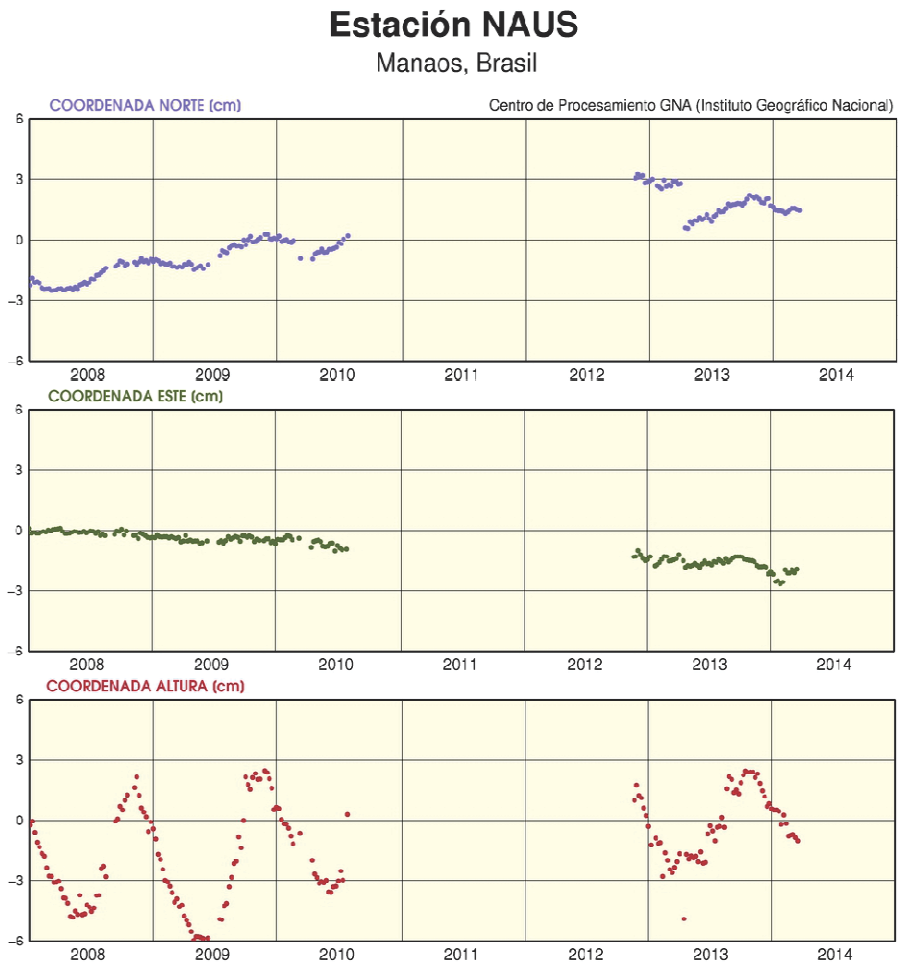


Estación AUTF

Ushuaia, Tierra del Fuego



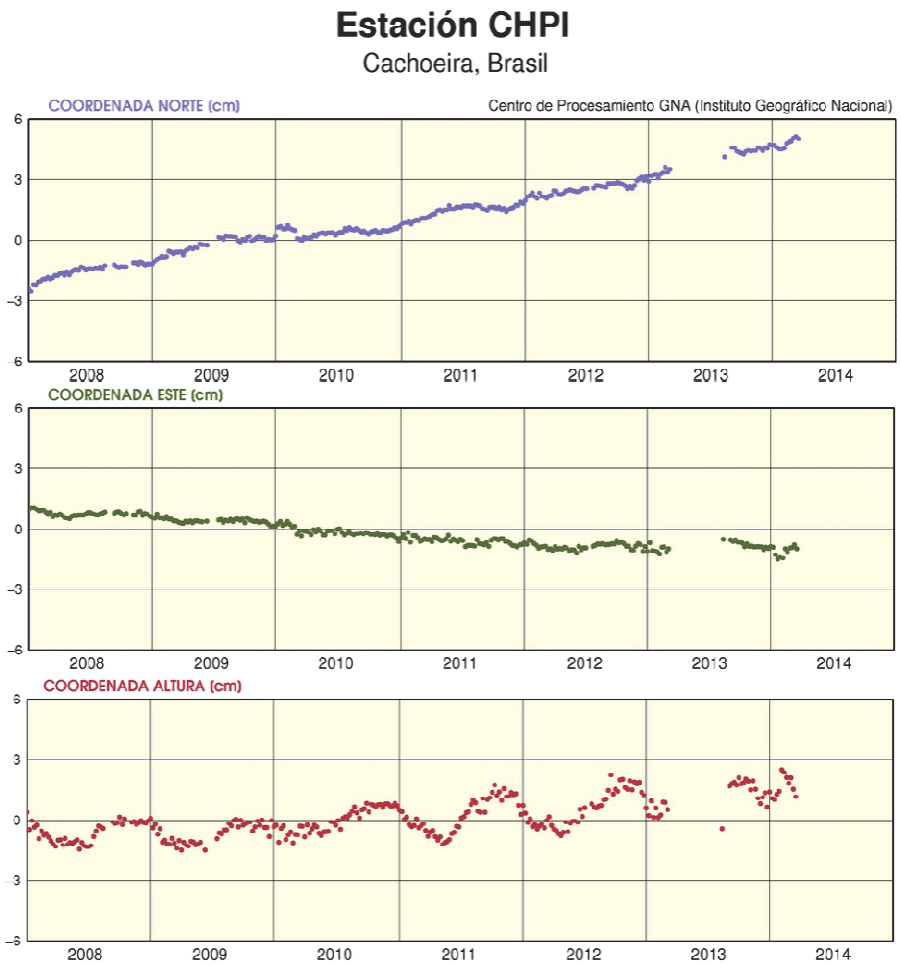
Centro de Procesamiento GNA – Series de tiempo



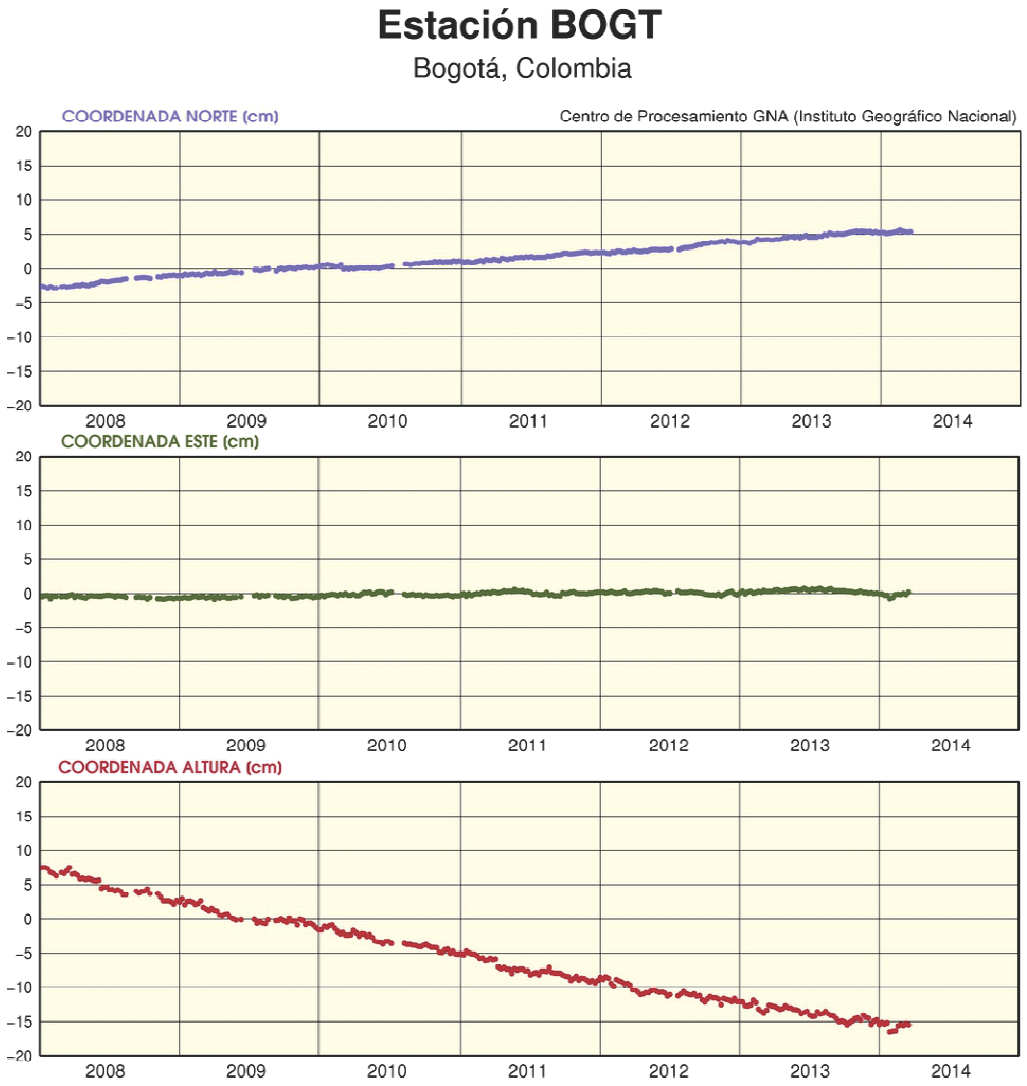


Centro de Procesamiento GNA – Series de tiempo



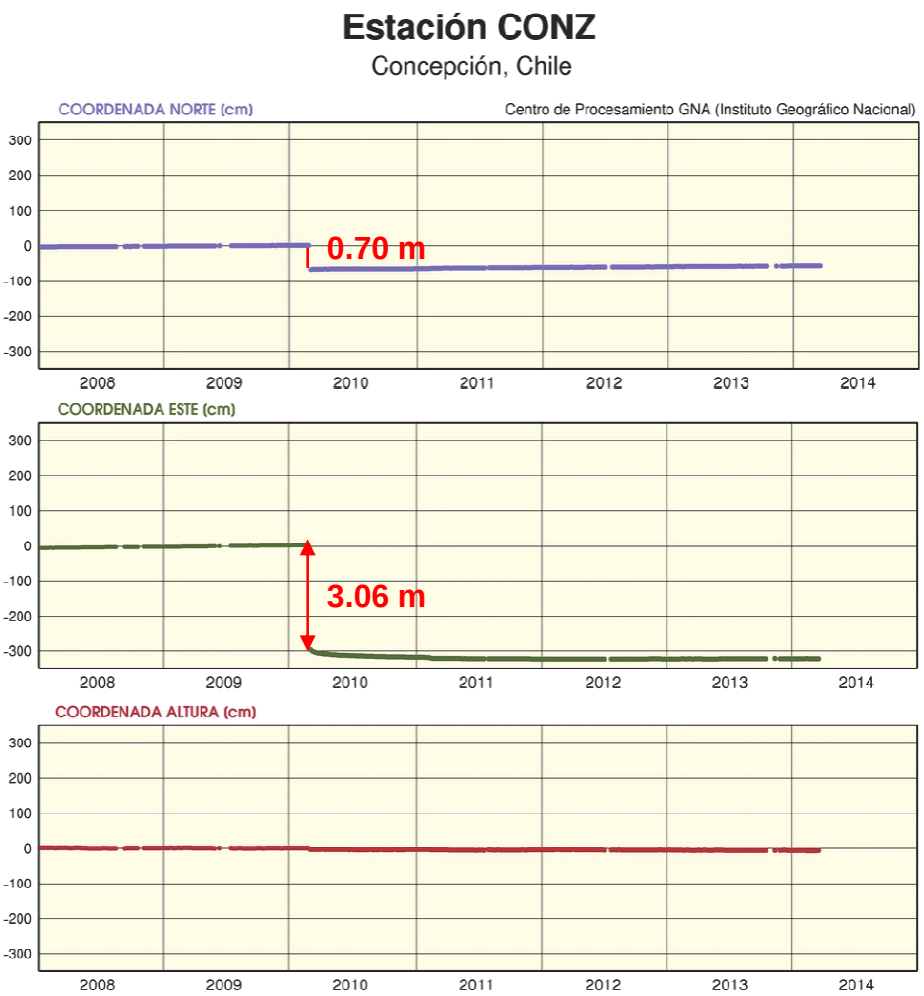


Centro de Procesamiento GNA – Series de tiempo





Caso CONZ


Estación CONZ
Concepción, Chile
COORDENADA NORTE (cm)
Centro de Procesamiento GNA (Instituto Geográfico Nacional)
0.70 m
COORDENADA ESTE (cm)
3.06 m
COORDENADA ALTURA (cm)
300
200
100
0
-100
-200
-300
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014



Introducción al Sistema GNSS

GNSS – Sistema Global de Navegación por Satélite

- Obtener las coordenadas de puntos medidos sobre la superficie terrestre, referidas a un Marco de Referencia Global.
- Medición de distancias a satélites, cuyas coordenadas son conocidas, permite calcular la coordenada incógnita.
- Distintas constelaciones de satélites: **GPS**, GLONASS, GALILEO.



Introducción al GPS

- Segmento espacial:
  - Constelación de 24 satélites + 8 de backup
- Segmento de control:
  - 18 estaciones
- Segmento de usuario:
  - Explotación de datos GPS

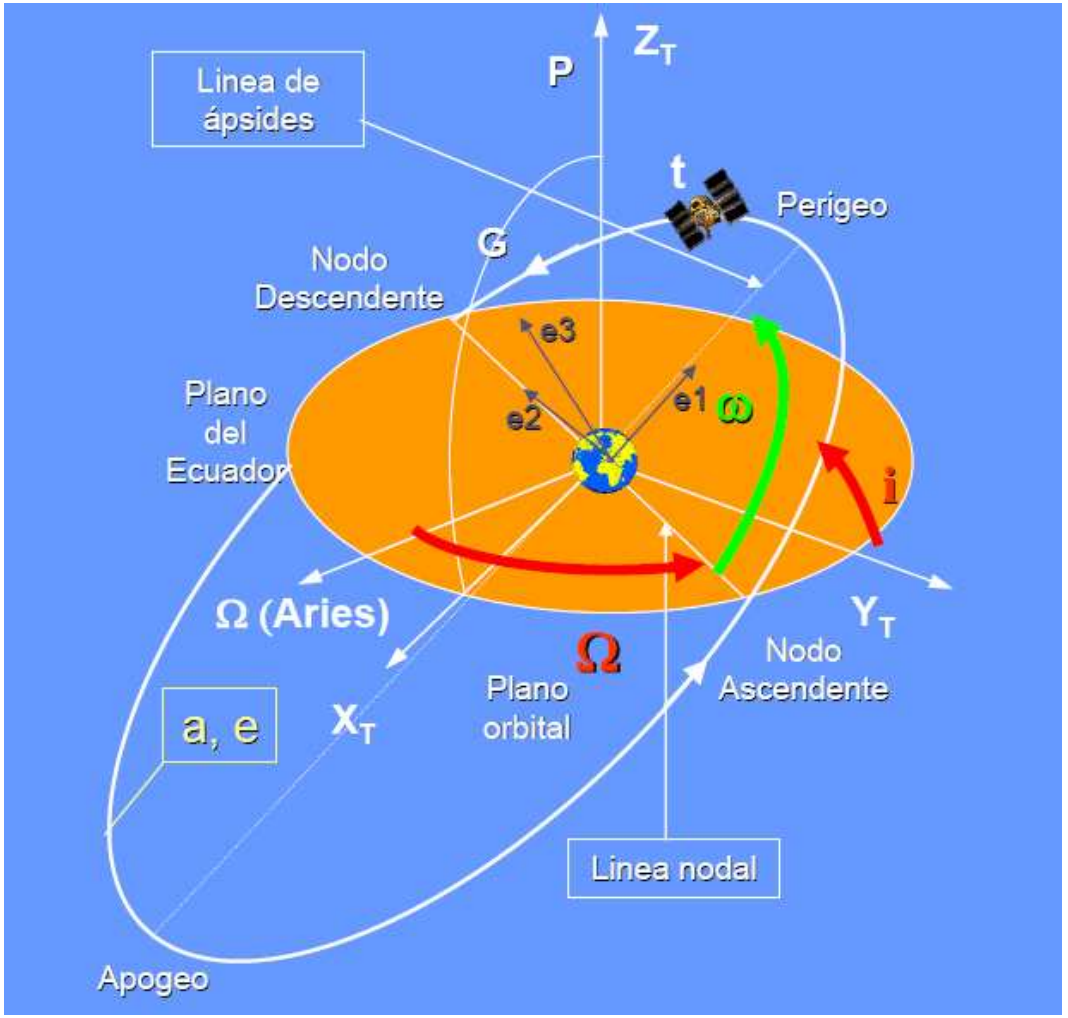
Segmento Espacial

- 32 satélites
- Altura de órbita de 20.200Km
- 6 planos orbitales
- Inclinación de 55º
- Período orbital de 12 horas sidéreas



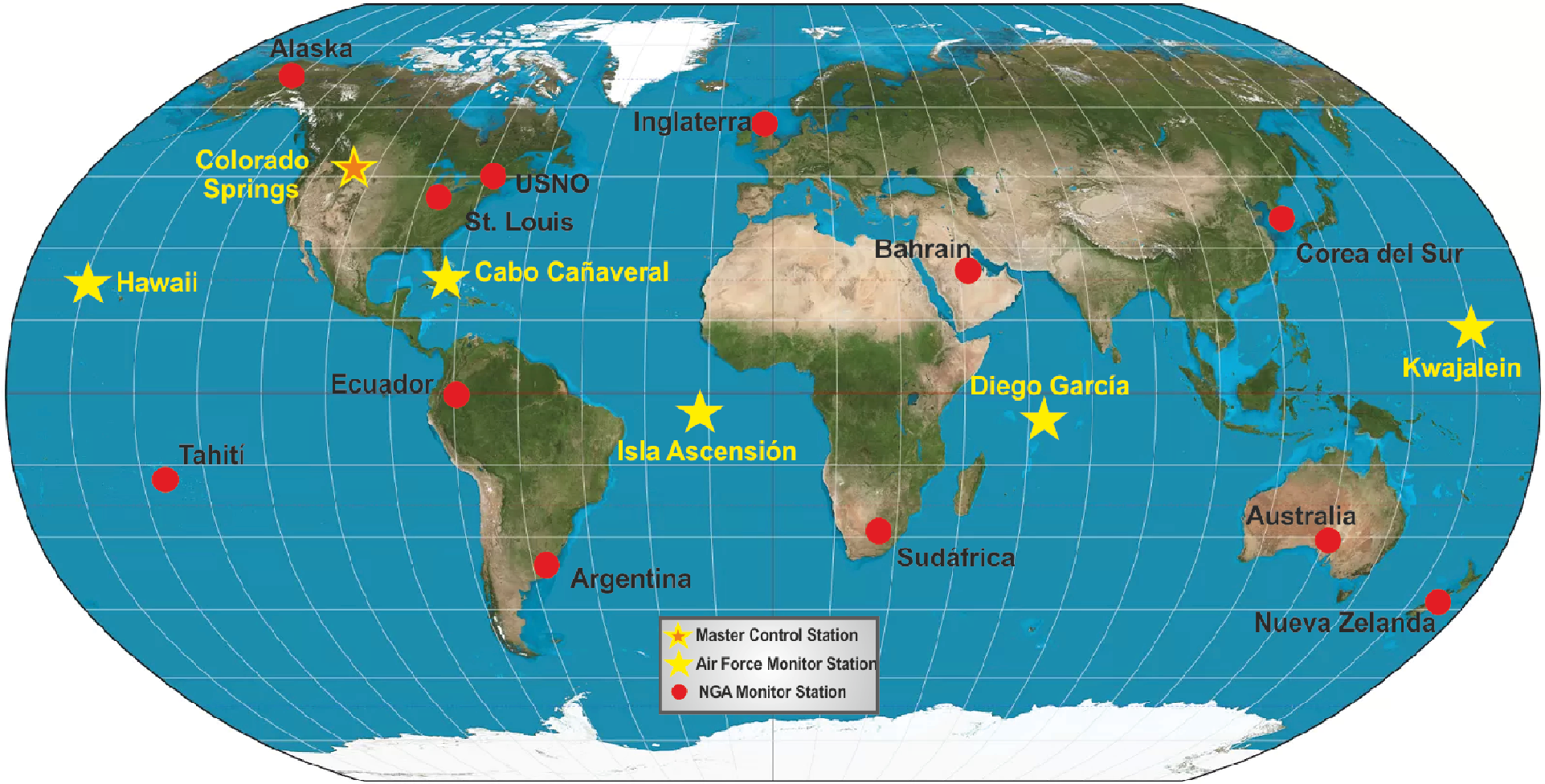
Segmento Espacial

- La órbita y ubicación de los satélites se calcula mediante parámetros orbitales

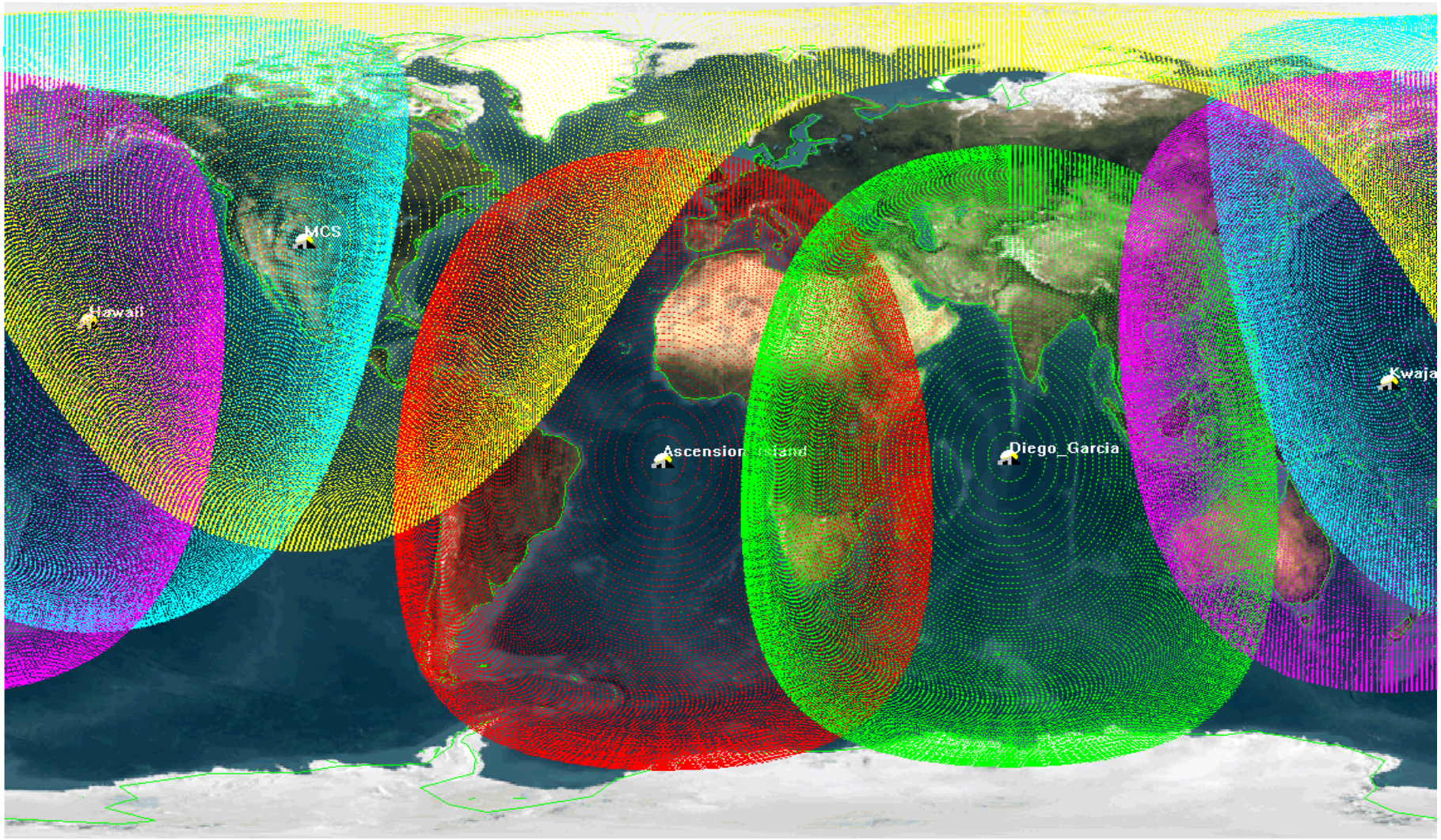


Segmento de Control

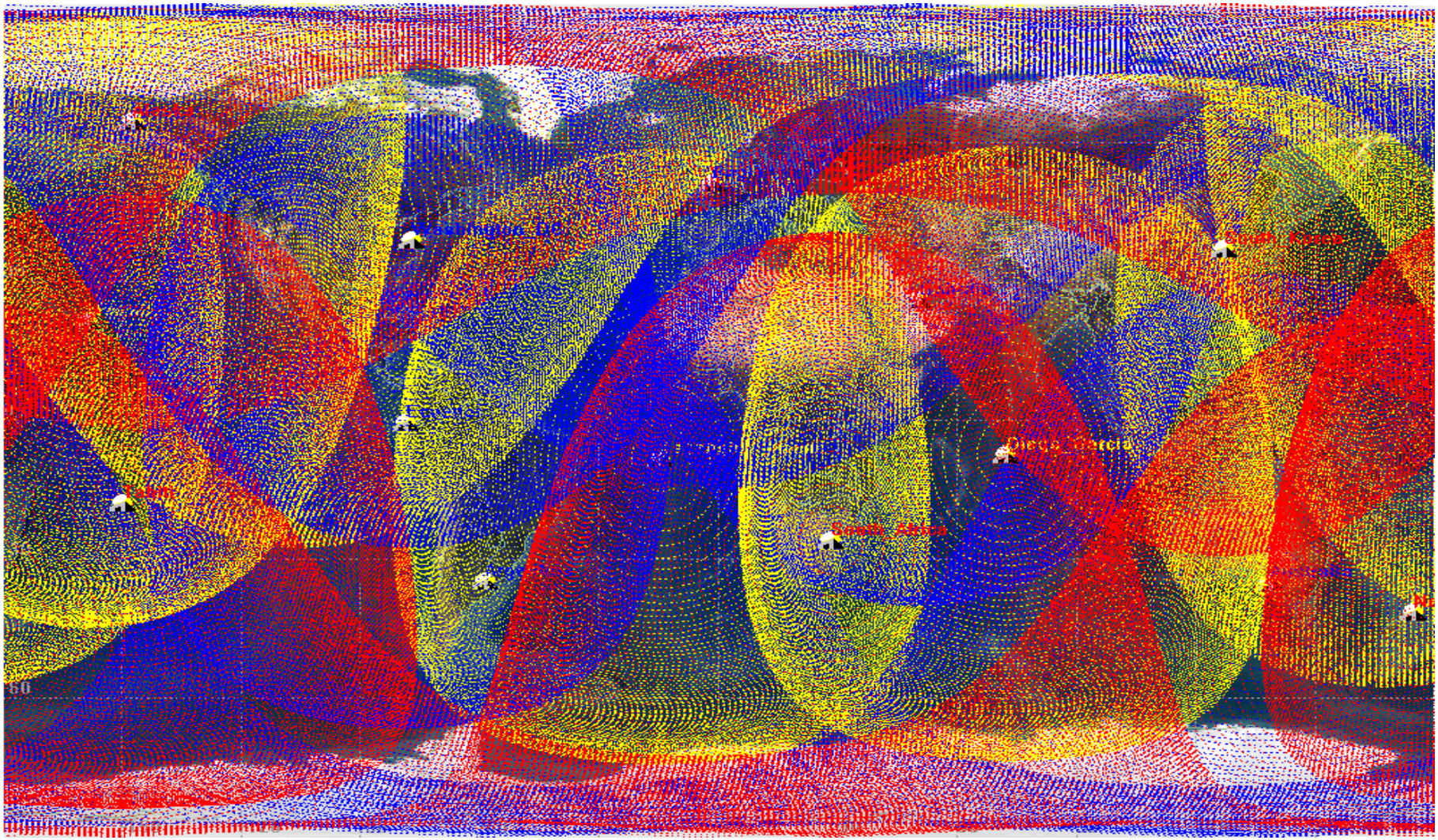
- 18 estaciones



Segmento de Control – Cubrimiento inicial

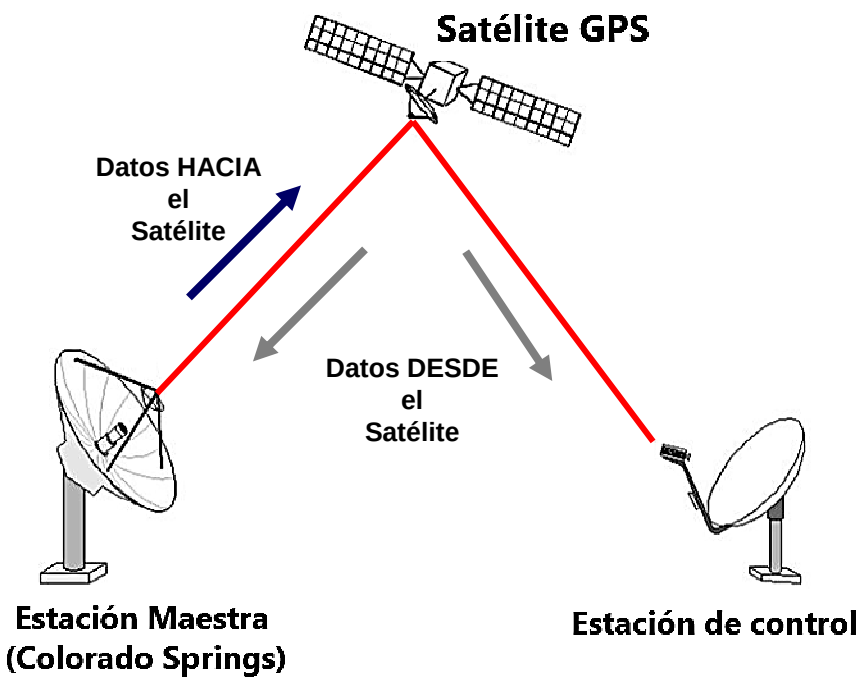


Segmento de Control – Cubrimiento actual



Segmento de Control

- Comunicación bidireccional con los satélites (Master Station).
- Cálculo de parámetros orbitales y correcciones y envío desde las estaciones de control a los satélites para su posterior transmisión a los usuario del sistema.



Segmento de Control

- Productos
  - Efémerides transmitidas (cada 2 hs.)
  - Datos inosféricos-troposféricos
  - Estado de los relojes de los satélites (sincronización de tiempo)

Segmento de Usuario

- Cualquier equipo de medición que esté recibiendo datos de la señal GPS para posicionarse.







Receptores GPS

- Diversos tamaños: Desde el tamaño de un reloj al tamaño de un rack
- Diferentes precios: Desde los 100 u$d aprox., hasta varios miles de dólares, según precisión, interfaz, capacidades, etc.









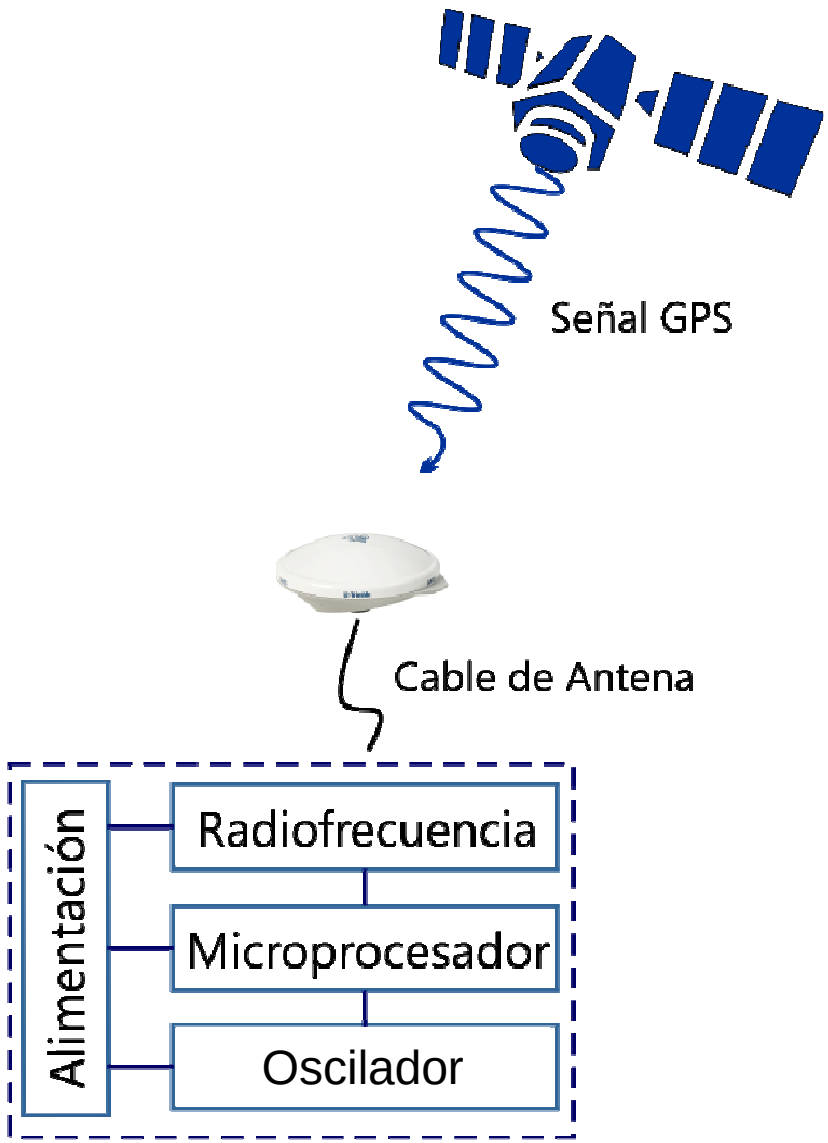






Receptores GPS

- **ELEMENTOS IMPRESCINDIBLES**
  - Antena
  - Sección de Radiofrecuencia
  - Microprocesador + Firmware
  - Oscilador
  - Fuente de Alimentación
- **ELEMENTOS ACCESORIOS**
  - Interfaz de usuario
  - Memoria
  - Dispositivos de puesta en estación
  - Puertos de comunicación
- **ELEMENTOS ACCESORIOS**
  - Dispositivo de retransmisión
  - Conexión frecuencia externa
  - Salida de tiempo 1 PPS



Antenas GPS



- **VERDADERO “SENSOR”**
  - Tiene por objeto convertir la radiación electromagnética procedente de los satélites en señal eléctrica
  - Poseen un dispositivo que amplifica la señal recogida, para que luego ésta sea interpretada en la etapa de Radiofrecuencia
- **¿CUÁL ES LA ADECUADA?**
  - Precisión y uso
  - Capacidades
  - Tamaño
  - Precio













Posicionamiento con el Sistema GNSS

Señal GPS

- Portadoras
  - L1
  - L2
- Códigos
  - C/A
  - P
  - Mensaje de Navegación

Señal GPS - Portadoras

- Frecuencia fundamental f_0 = 10.23Mhz
- Portadora L1
  - Frecuencia f = 1575.42Mhz (154 f_0)
  - λ = 19.0cm
  - Transporta los códigos C/A, P1 y el mensaje de navegación
- Portadora L2
  - Frecuencia f = 1227.60Mhz (120 f_0)
  - λ = 24.4cm
  - Transporta el código P2

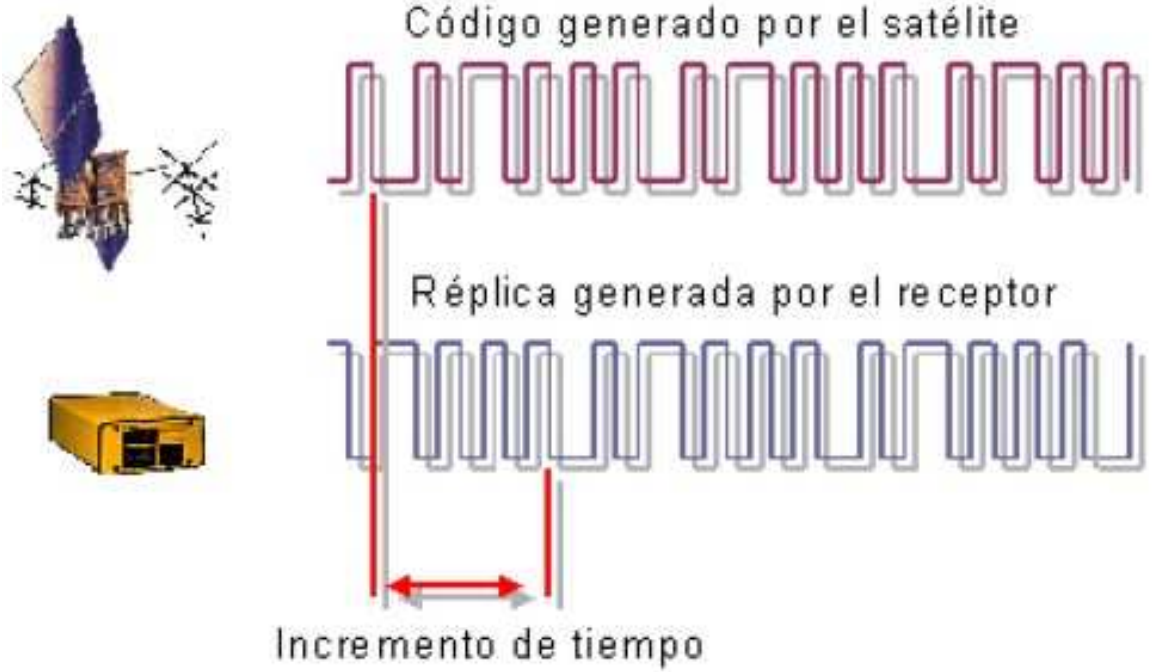
Señal GPS - Códigos

- C/A – Course Adquisition
  - Frecuencia f = 1.023Mhz ($f_0/10$)
  - λ = 300m
- Código P
  - Frecuencia f = 10.23Mhz (f_0)
  - λ = 30m

Distancia Satélite-Receptor

- La determinación de la posición de un punto mediante GPS se basa en la medida de la **distancia** entre el receptor y el satélite.
- El concepto de **observable GPS** es una medida de dicha distancia derivada de:
  - **medidas de tiempo ó**
  - **diferencias de fase**

basadas en la comparación entre la señal recibida por el receptor procedente del satélite, y la réplica de dicha señal generada por el receptor.



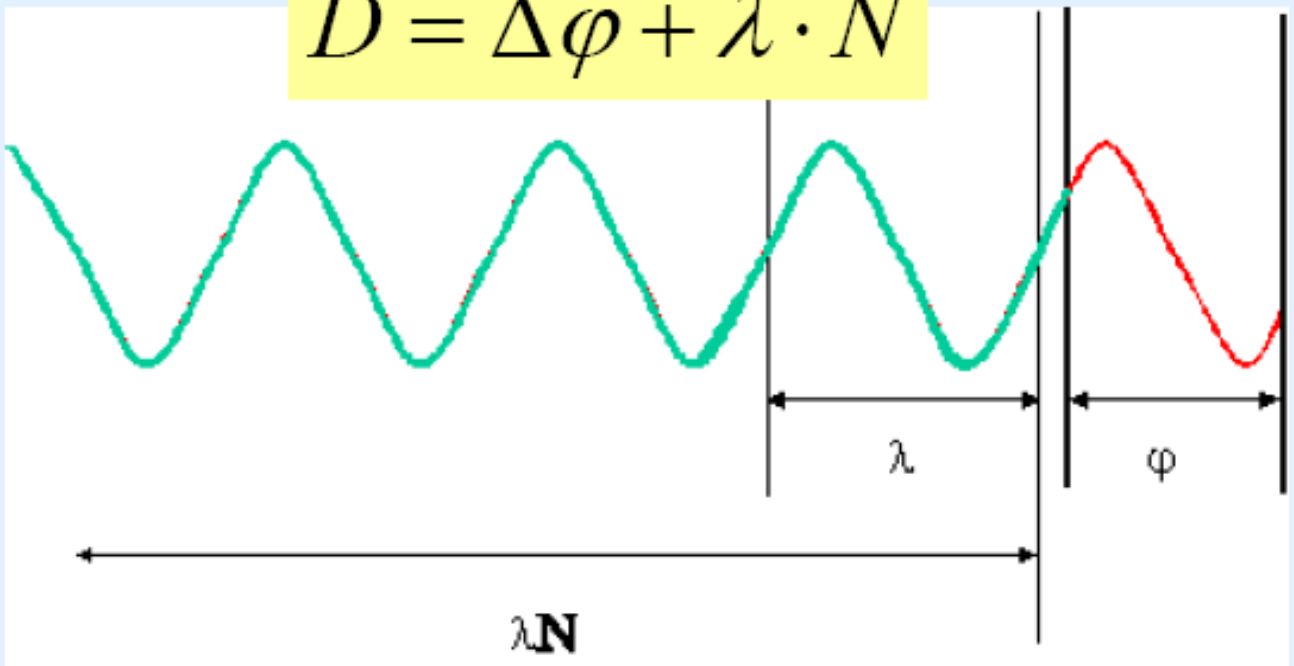
Pseudodistancias de fase

- El observable de fase es la **diferencia entre la fase de la portadora recibida del satélite y la fase generada internamente por el oscilador del receptor**.

- Estas medidas de fase no tienen en cuenta el número de ondas enteras que hay entre el receptor y el satélite.

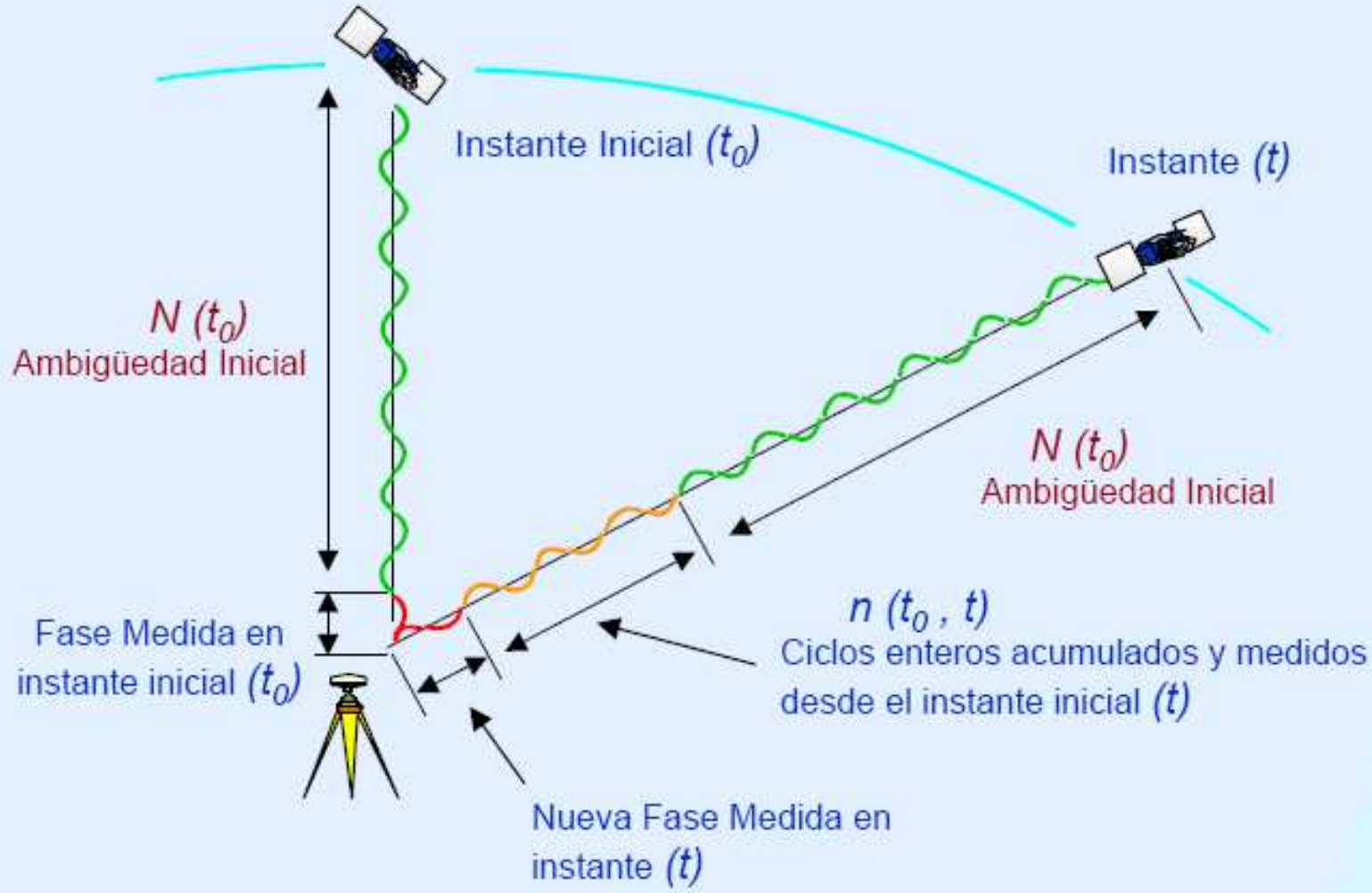
- La distancia satélite-receptor está relacionada con el número entero de longitudes de onda (N) y su fase:

$$D = \Delta\varphi + \lambda \cdot N$$

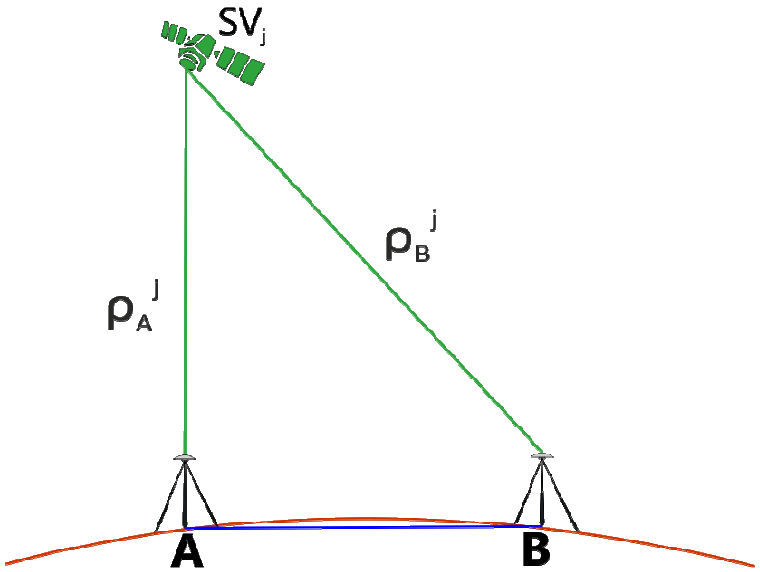


Pseudodistancias de fase

- Teniendo en cuenta la distancia Satélite-Receptor en dos posiciones del primero, una vez 'fijado' el satélite, el receptor evalúa ciclos y fracción de ellos, pero no puede determinar la **Ambigüedad Inicial de Fase**



POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL
Simples Diferencias

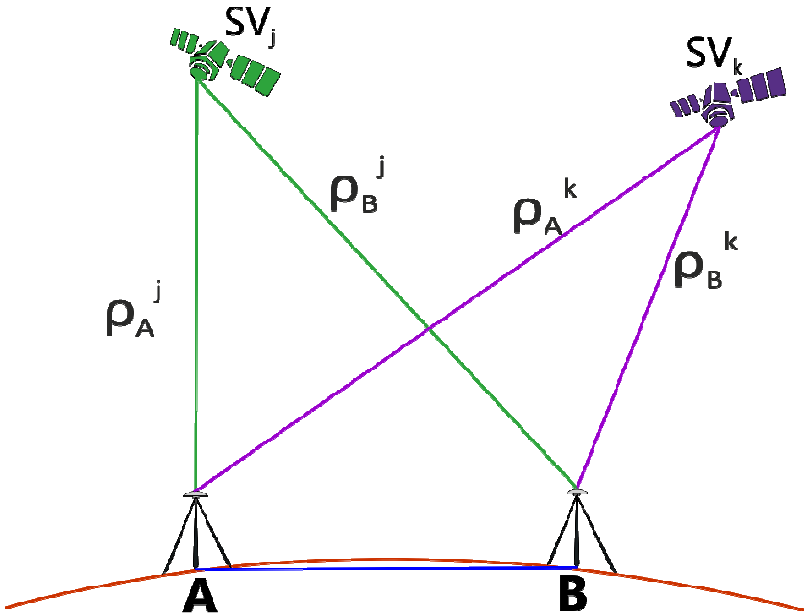


$$\rho_A^j(t) = (1/\lambda)\,\Phi_A^j(t) + N_A^j + f^J\,\delta^j(t) - f^J\,\delta_A(t)$$

$$\rho_B^j(t) = (1/\lambda)\,\Phi_B^j(t) + N_B^j + f^J\,\delta^j(t) - f^J\,\delta_B(t)$$

$$\boxed{\rho_{AB}^j(t) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^j(t) + N_{AB}^j - f^J\,\delta_{AB}(t)}$$

POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL
Dobles Diferencias

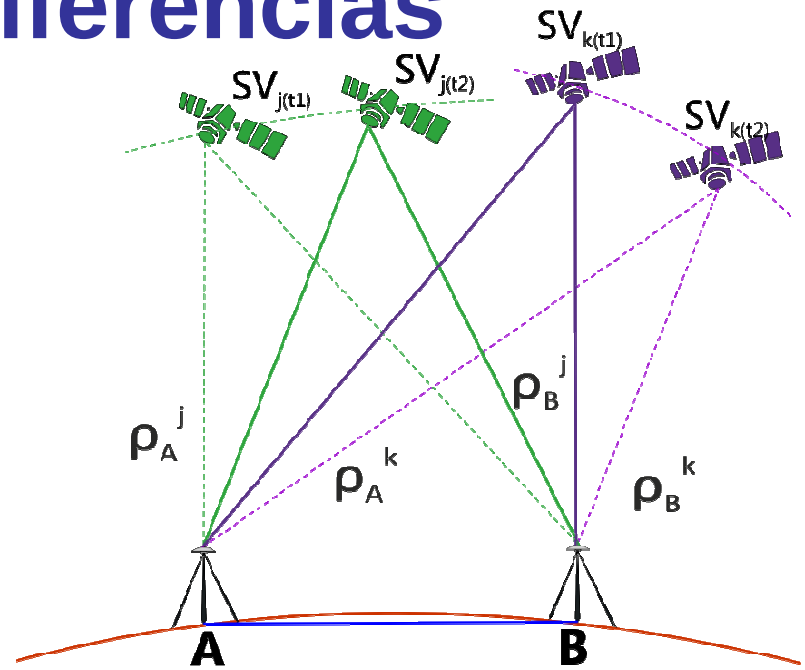


$$\rho_{AB}^{j}(t) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{j}(t) + N_{AB}^{j} - f^{J}\,\delta_{AB}(t)$$

$$\rho_{AB}^{k}(t) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{k}(t) + N_{AB}^{k} - f^{k}\,\delta_{AB}(t)$$

$$\boxed{\rho_{AB}^{jk}(t) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{jk}(t) + N_{AB}^{jk}}$$

POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL
Triples Diferencias



$$\rho_{AB}^{jk}(t_1) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{jk}(t_1) + N_{AB}^{jk}$$

$$\rho_{AB}^{jk}(t_2) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{jk}(t_2) + N_{AB}^{jk}$$

$$\boxed{\rho_{AB}^{jk}(t) = (1/\lambda)\,\Phi_{AB}^{jk}(t_{1\text{-}2})}$$

POSICIONAMIENTO CON GPS
MODOS

- **AUTÓNOMO**
- **DIFERENCIAL**
  - ESTÁTICO
  - CINEMÁTICO
  - DGPS
  - TIEMPO REAL (RTK)

Posicionamiento Autónomo

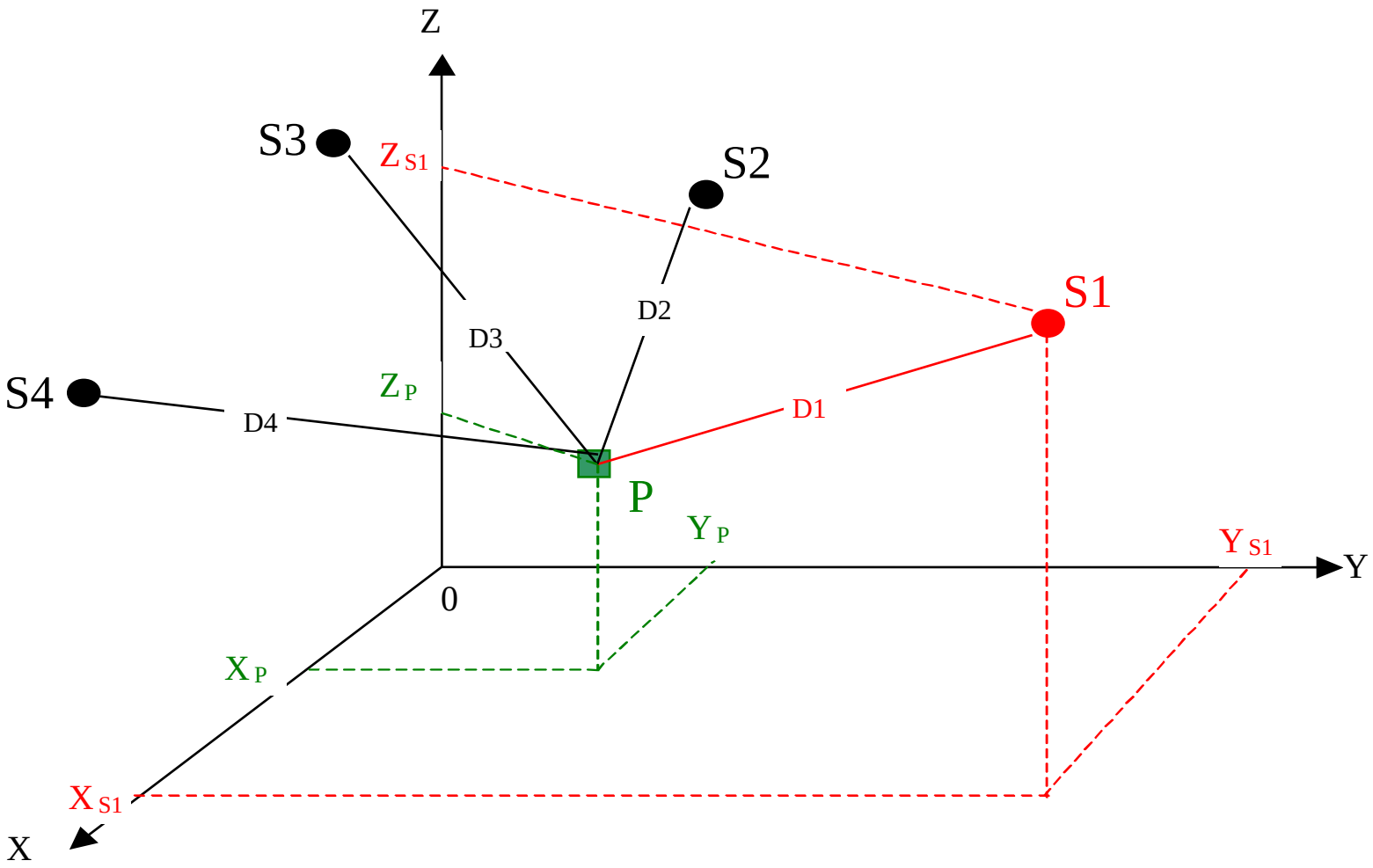
- Precisión entre 8m y 12m.
- Un solo receptor trabajando con el código C/A modulado en la portadora L1.
- Posicionamiento en tiempo real.



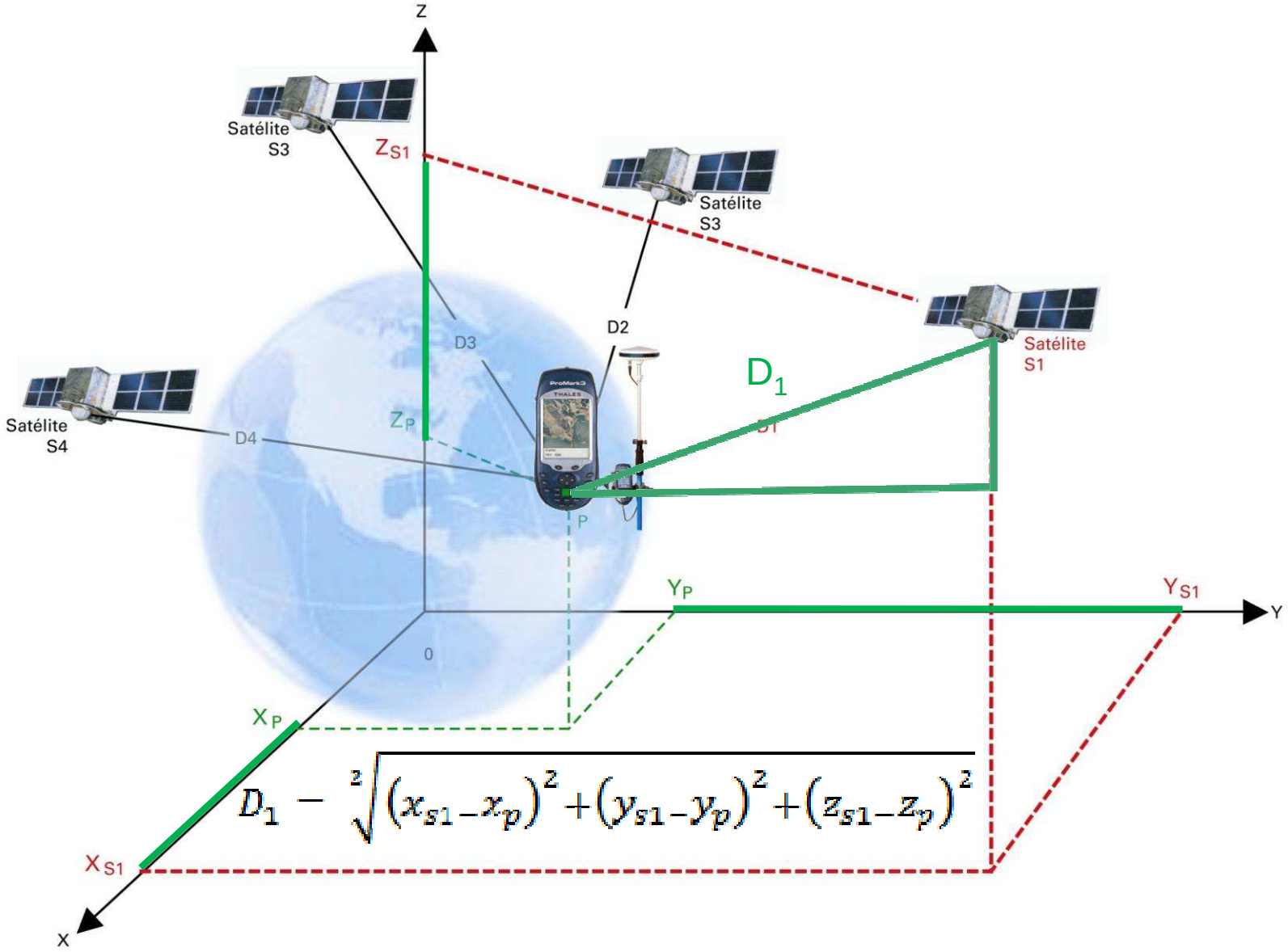




Posicionamiento Autónomo



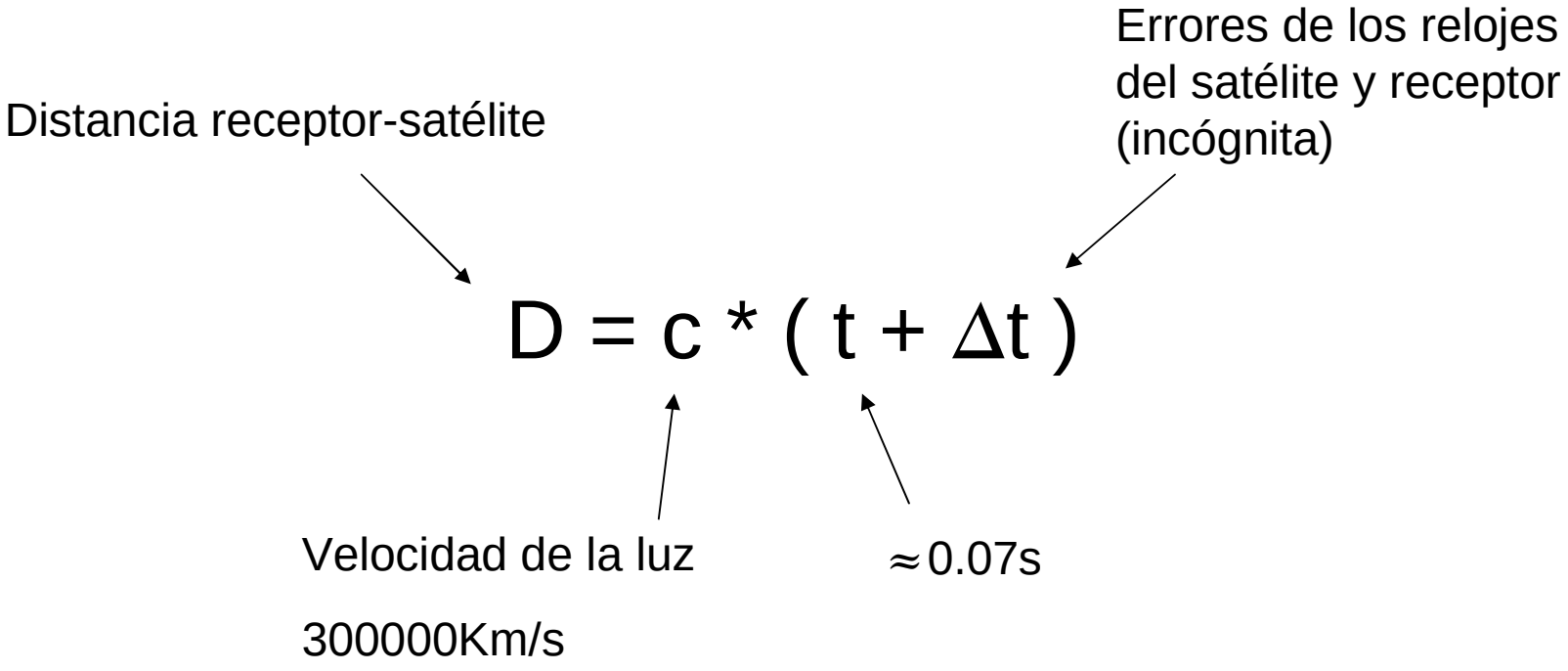
Posicionamiento Autónomo



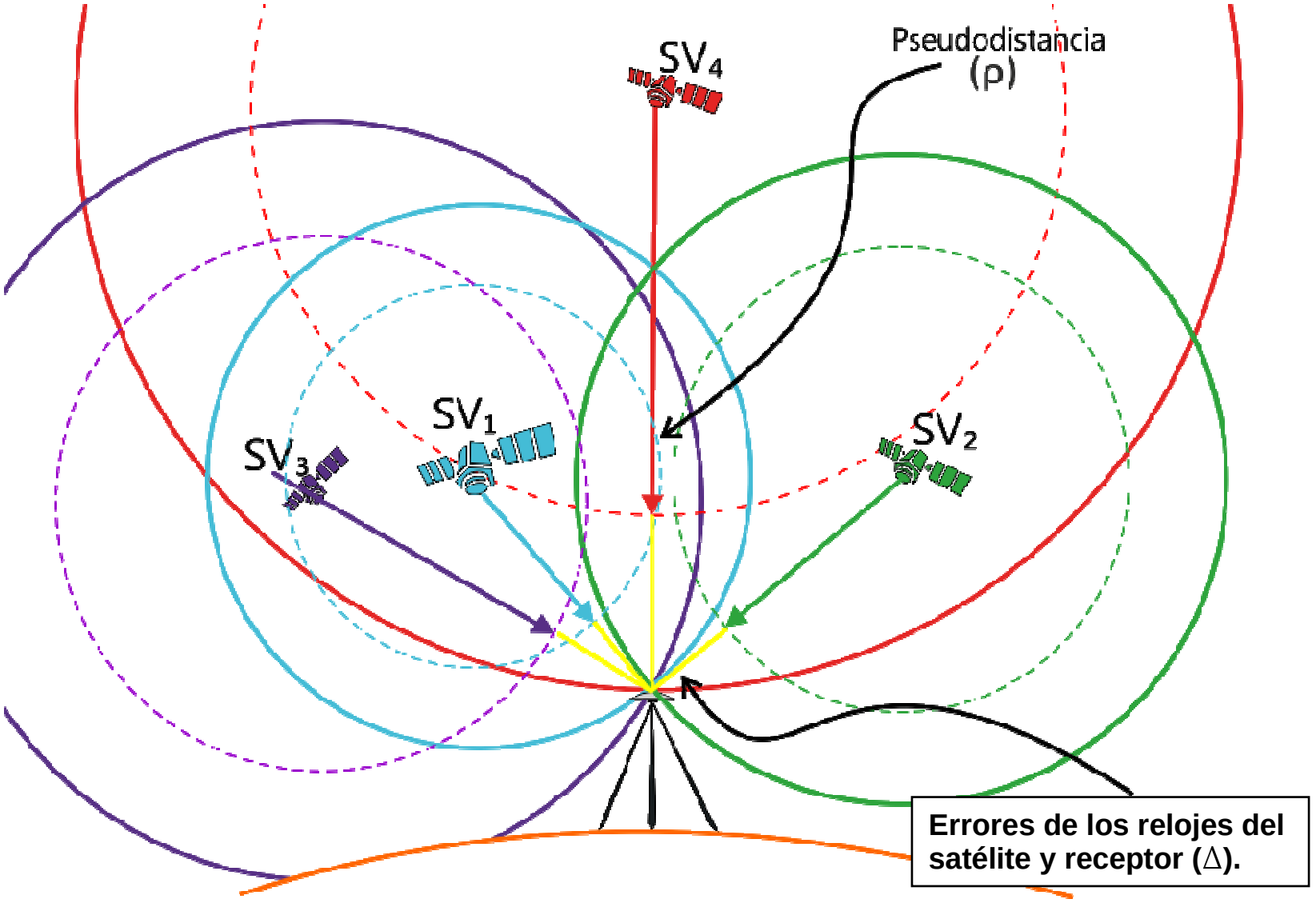
$$D_1 = \sqrt[2]{(x_{s1}-x_p)^2+(y_{s1}-y_p)^2+(z_{s1}-z_p)^2}$$

Posicionamiento Autónomo

- En general: D = v . t (M.R.U.)
- Para una onda en el vacio: D = c . t
- Para la medición GPS:



Posicionamiento Autónomo



Posicionamiento Autónomo

$$c * (t_1 + \Delta t) = \sqrt[2]{(x_{s1} - x_p)^2 + (y_{s1} - y_p)^2 + (z_{s1} - z_p)^2}$$

1 Ecuación
1 Satélite, S_1
1 Dato medido, t_1
3 Datos conocidos, $x_{s1};\ y_{s1};\ z_{s1}$
4 Incógnitas, $x_p;\ y_p;\ z_p;\Delta t$

- Con **4** satélites…

$$c * (t_1 + \Delta t) = \sqrt[2]{(x_{s1} - x_p)^2 + (y_{s1} - y_p)^2 + (z_{s1} - z_p)^2}$$

$$c * (t_2 + \Delta t) = \sqrt[2]{(x_{s2} - x_p)^2 + (y_{s2} - y_p)^2 + (z_{s2} - z_p)^2}$$

$$c * (t_3 + \Delta t) = \sqrt[2]{(x_{s3} - x_p)^2 + (y_{s3} - y_p)^2 + (z_{s3} - z_p)^2}$$

$$c * (t_4 + \Delta t) - \sqrt[2]{(x_{s4} - x_p)^2 + (y_{s4} - y_p)^2 + (z_{s4} - z_p)^2}$$

4 Ecuaciones
4 Incógnitas
Sistema Compatible Determinado

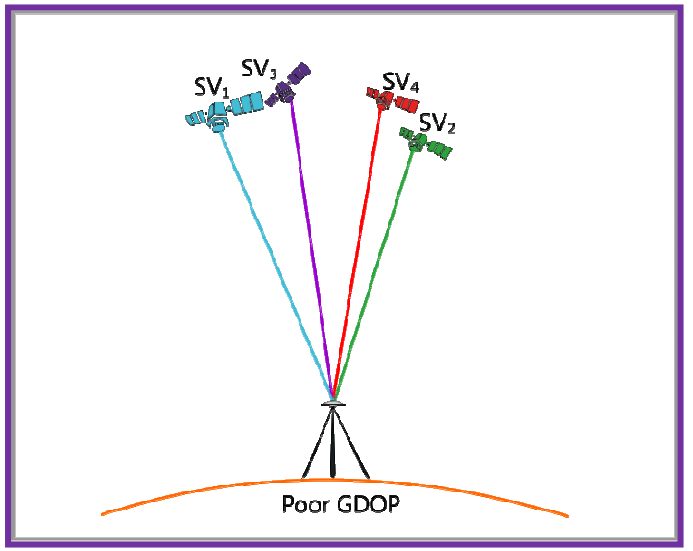


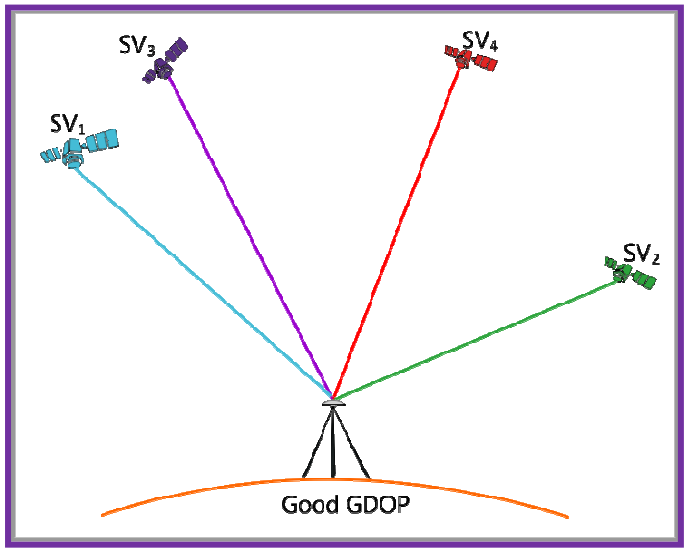
1 Solución
(X_p, Y_p, Z_p, Δt)

Posicionamiento con GPS autónomo (GDOP)

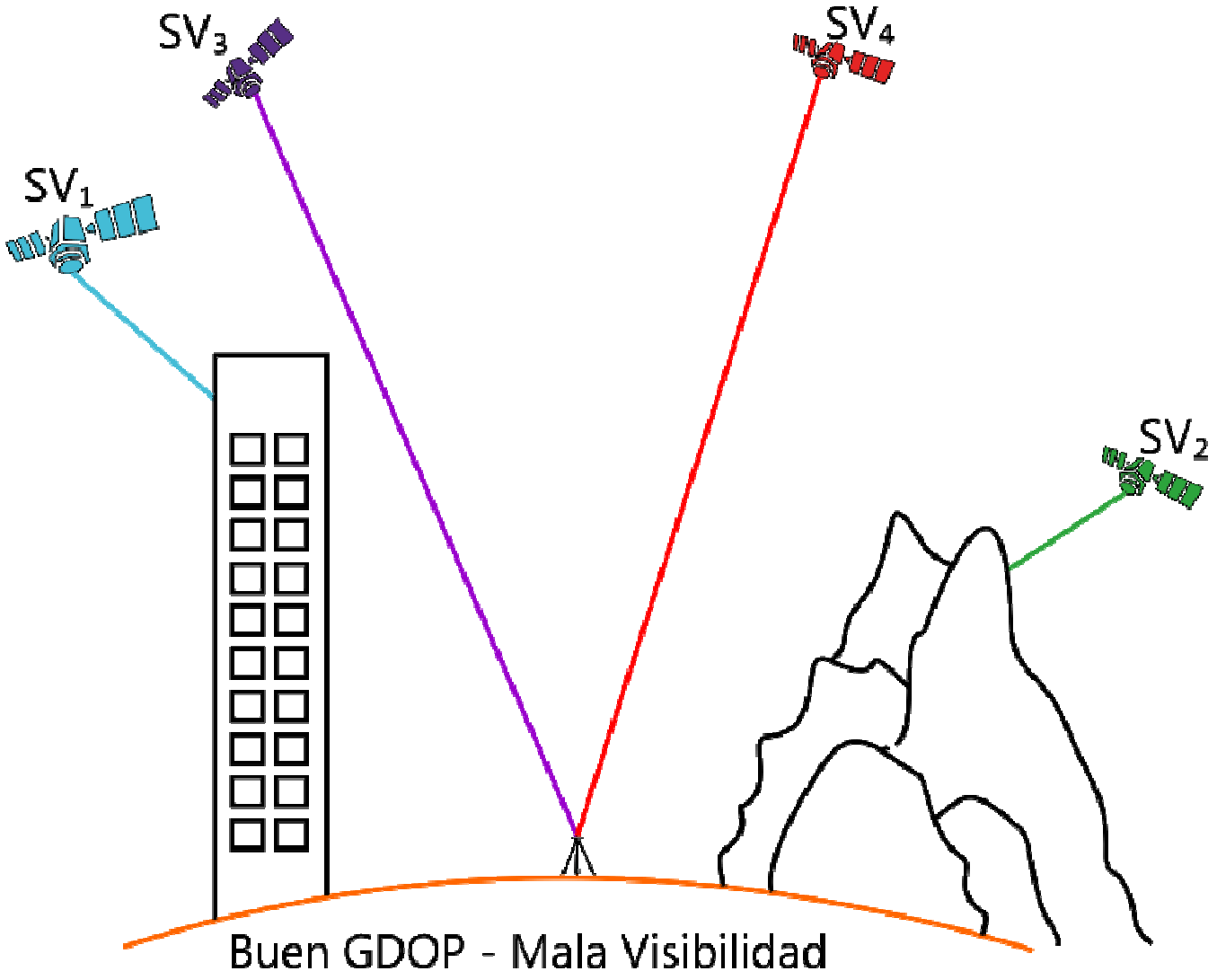
GDOP (Geometric Dilution of Precision)

PDOP (Position Dilution of Precision), 3D
HDOP (Horizontal Dilution of Precision), Latitud y Longitud
VDOP (Vertical Dilution of Precision), Altura
TDOP (Time Dilution of Precision), Tiempo





Posicionamiento con GPS autónomo (GDOP)



Posicionamiento Diferencial

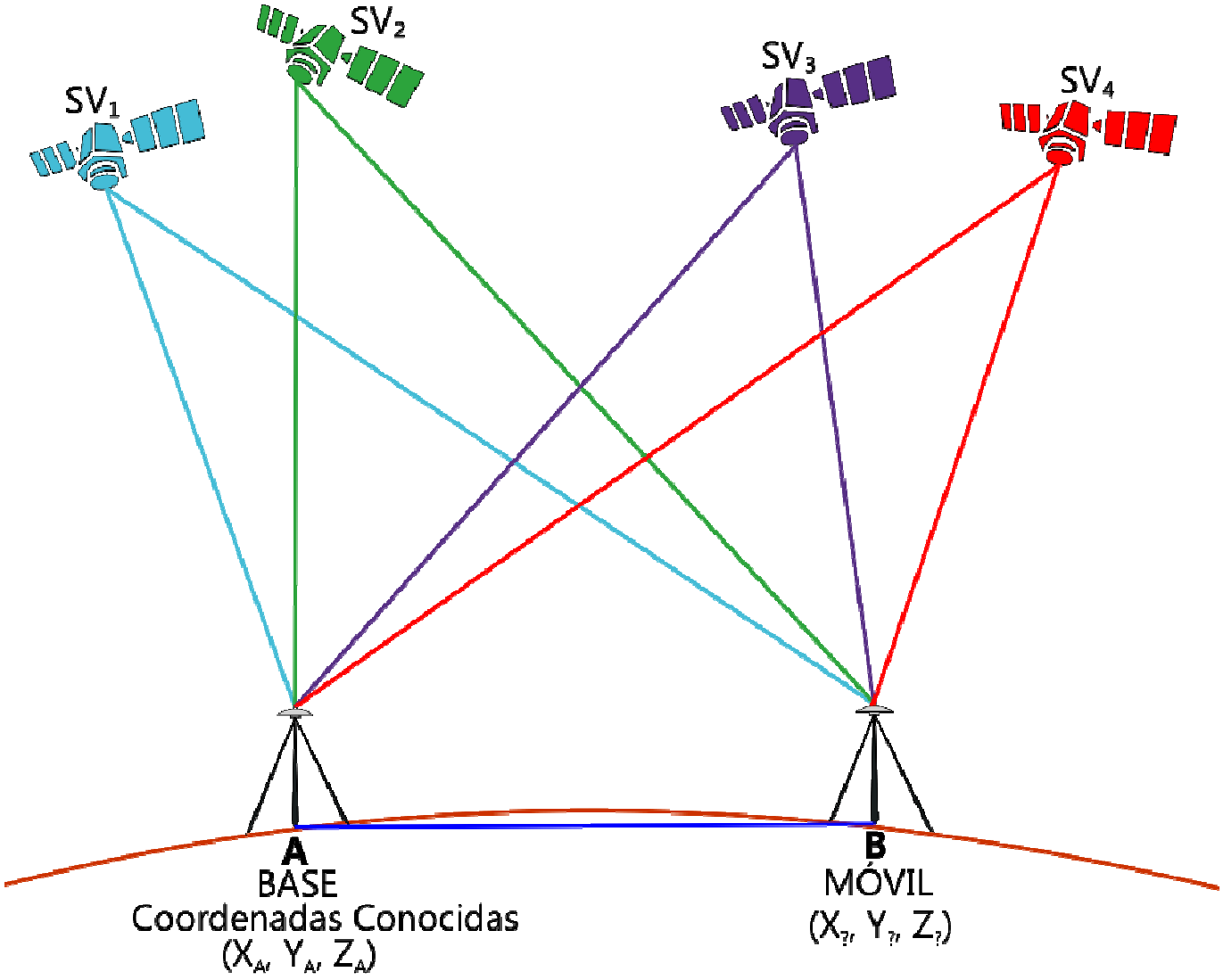
- Consiste en **dos receptores** que miden en forma simultánea.
- Se calcula con mucha precisión el **vector** que separa los dos receptores GPS.
- Uno de los puntos debe tener **coordenada conocida** → ***MARCO DE REFERENCIA***
- Resolución de ambigüedades







Posicionamiento con GPS Diferencial



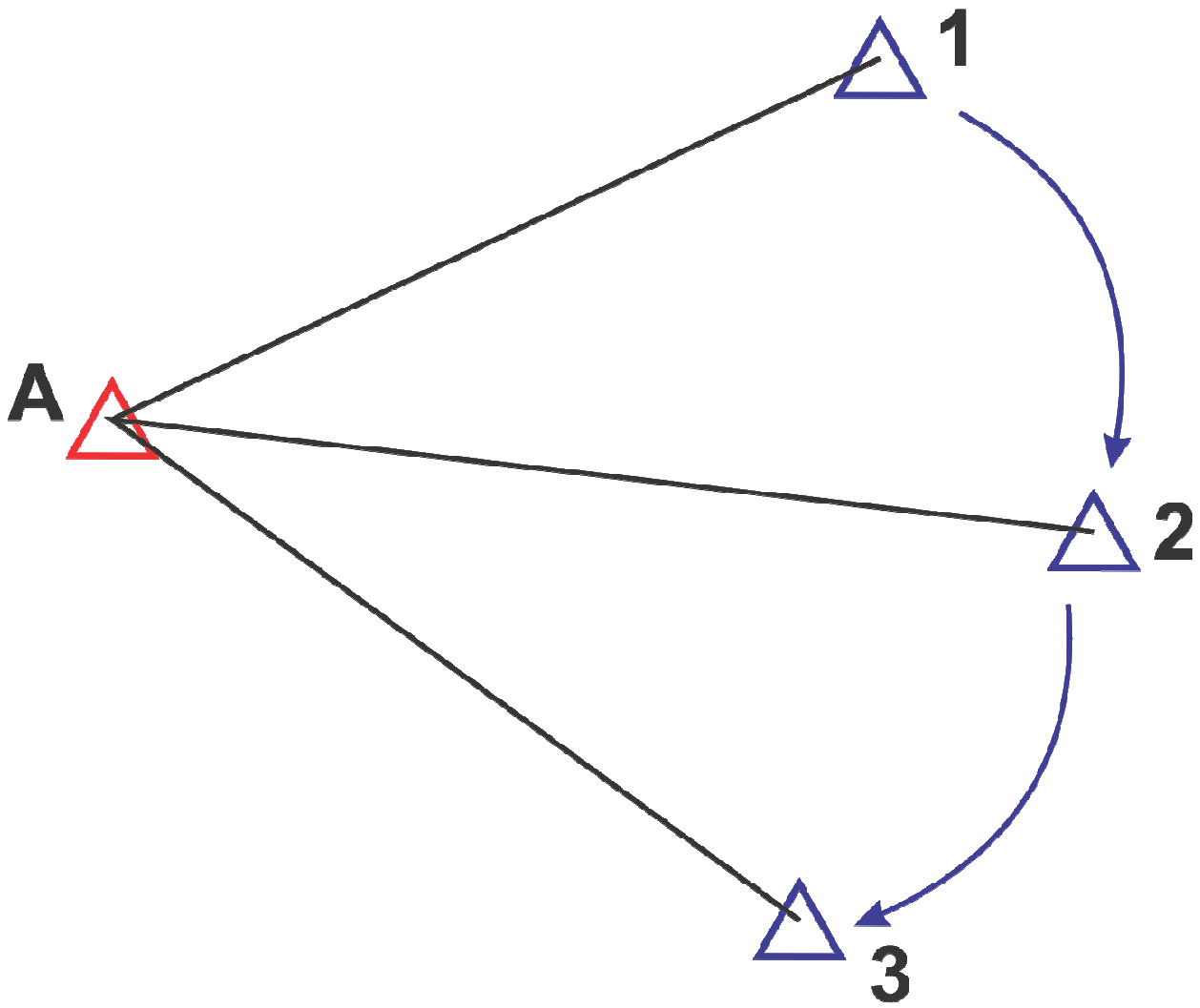
Medición Diferencial Estática

- 2 Ó MÁS RECEPTORES FIJOS MIDIENDO EN FORMA SIMULTÁNEA
- NECESIDAD DE UN PUNTO CON COORDENADAS CONOCIDAS
- RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES
- SOLUCIÓN DEL VECTOR

  FIJA

  FLOTANTE

Medición Diferencial Estática



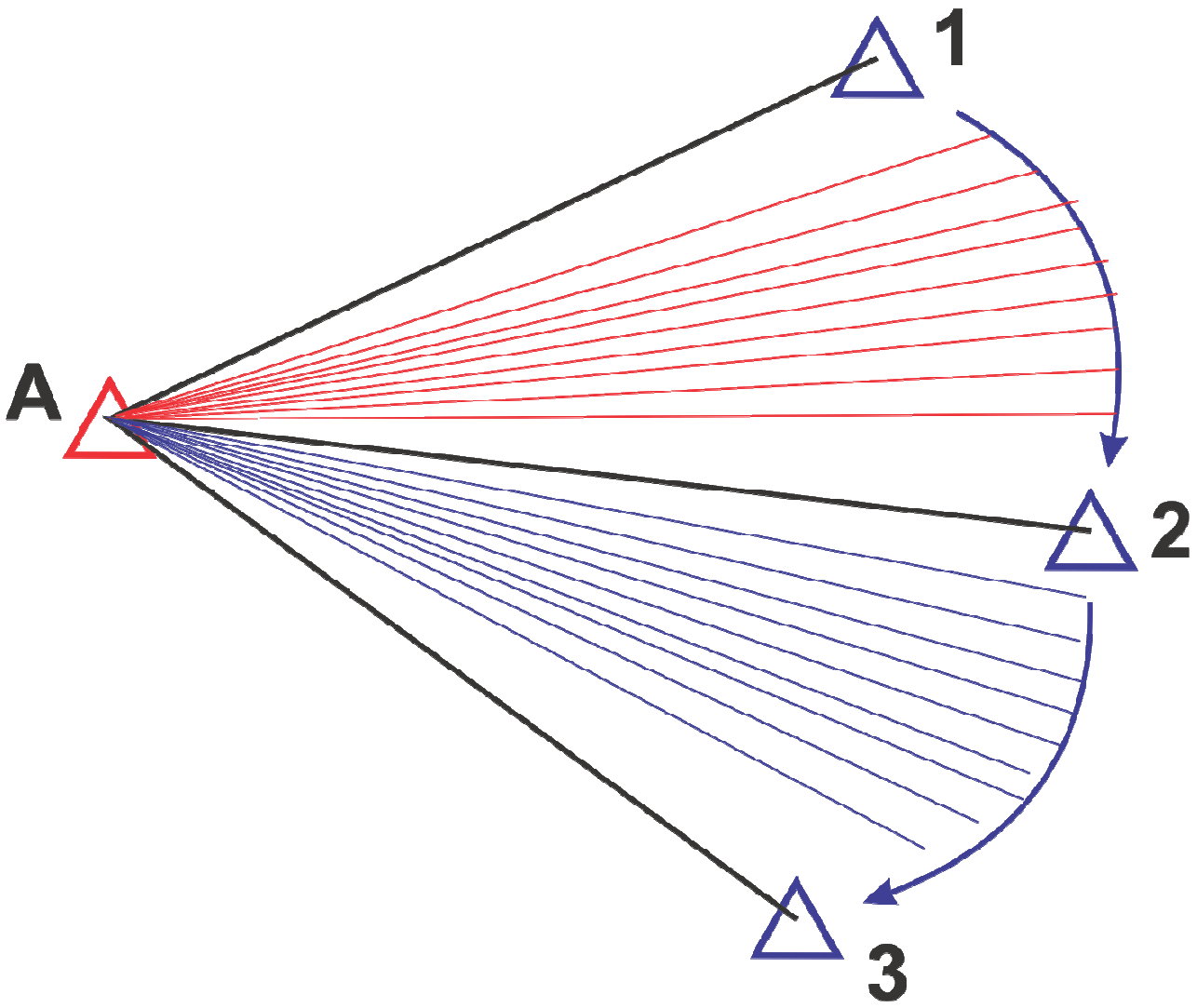
Medición Diferencial Cinemática

- 2 Ó MÁS RECEPTORES MIDIENDO EN FORMA SIMULTÁNEA, UNO FIJO.
- NECESIDAD DE UN PUNTO CON COORDENADAS CONOCIDAS
- RESOLUCIÓN DE AMBIGÜEDADES
- SOLUCIÓN DEL VECTOR

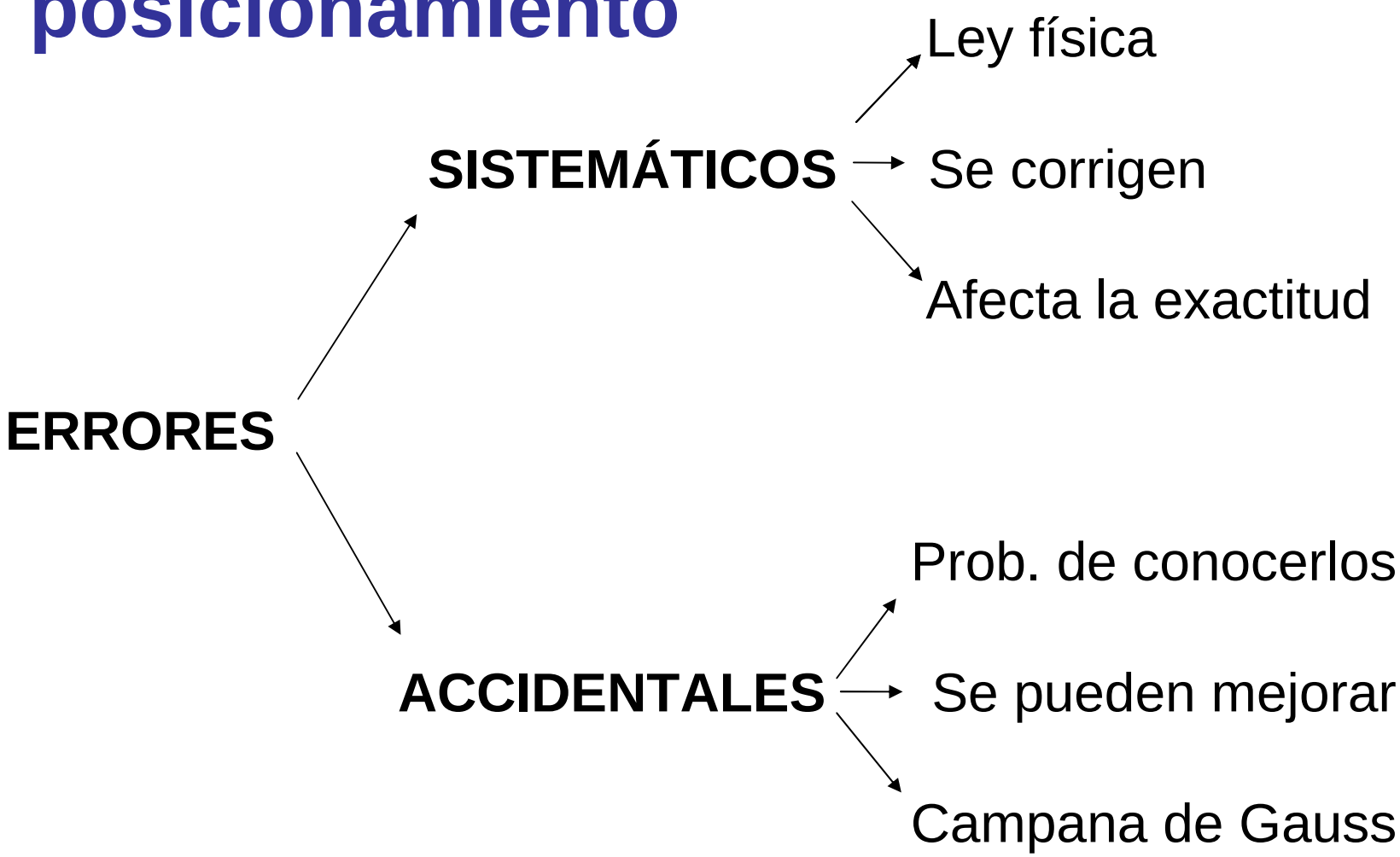
  FIJA

  FLOTANTE

Medición Diferencial Cinemática



Fuentes de error en el posicionamiento



Clasificación de errores

ERRORES SISTEMÁTICOS

- ERRORES EN EL SATÉLITE Y CONFIGURACIÓN ORBITAL
- ERRORES EN LA PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL GPS
- ERRORES EN EL RECEPTOR GPS

ERRORES ACCIDENTALES

- RUIDO PROPIO DE LA MEDICIÓN SATELITAL

Fuentes de error

SATÉLITE: Error del reloj

Errores Orbitales

PROPAGACIÓN DE LA SEÑAL: Refracción

Ionosférica

Troposférica

RECEPTOR: Error del reloj

Variación del centro de antena

Multitrayectoria

Relojes en el sistema GPS

RELOJES EN SATÉLITES	**RUBIDIO**	**10^{-12} seg**
	CESIO	**10^{-13} seg**
	HIDRÓGENO	**10^{-14} seg**

Error 10^{-14} seg $\Rightarrow$ 1 segundo en 3 millones de años

RELOJ EN EL RECEPTOR $\Rightarrow$ CUARZO $\Rightarrow$ 10^{-10} seg

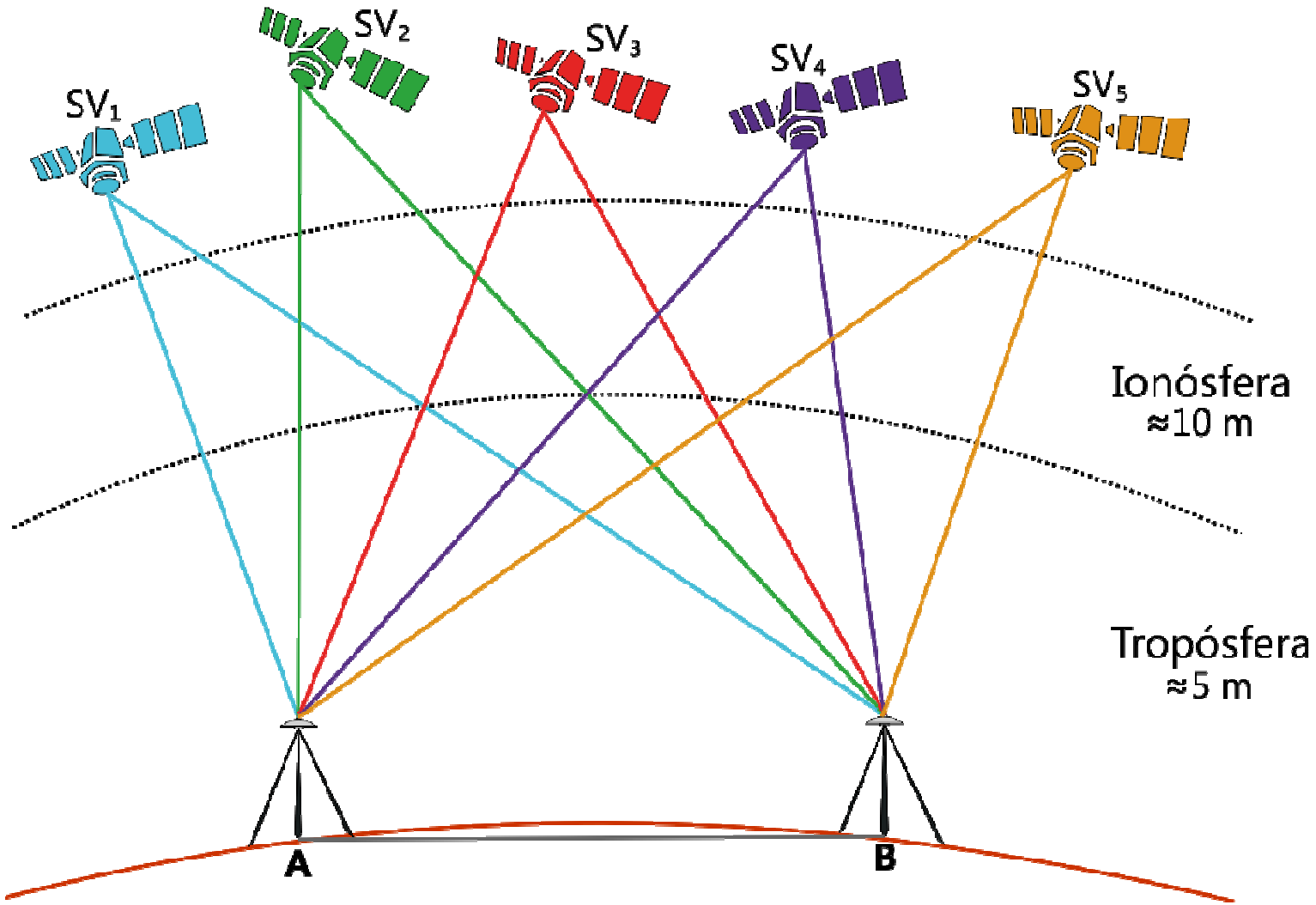
Error 10^{-10} seg $\Rightarrow$ 1 segundo en 300 años

Errores orbitales

EFEMÉRIDES SATELITAL	RADIODIFUNDIDA
	PRECISA

- CAMPO DE GRAVEDAD TERRESTRE (ANOMALÍAS)
- ACELERACIÓN DEBIDAS AL SOL Y LA LUNA
- PRESIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR

Propagación de la señal
Retardo Ionosférico



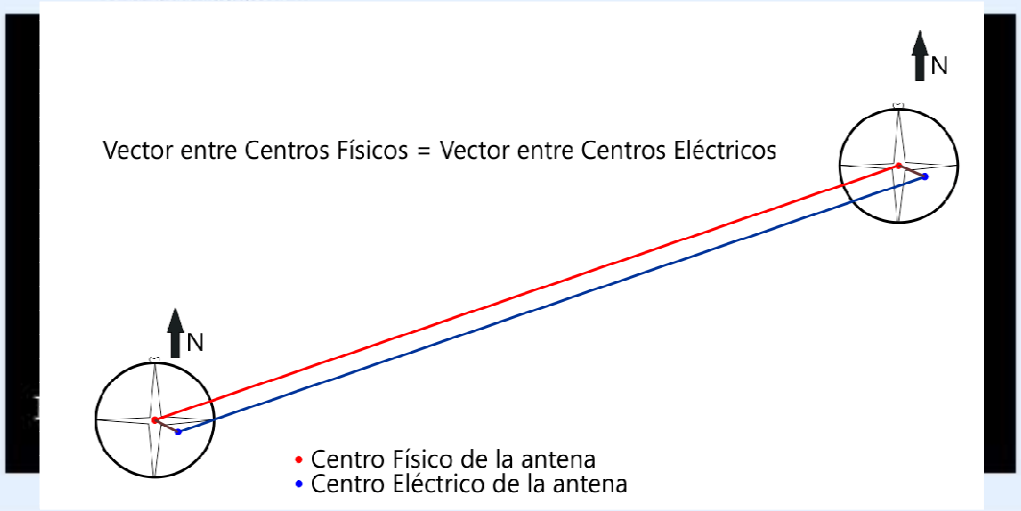
Variación del centro de fase de la antena

- **PUNTO RECEPTOR SEÑAL GPS** ⇒ CENTRO ELÉCTRICO DE LA ANTENA
- **CENTRO ELÉCTRICO ≠ CENTRO GEOMÉTRICO**
- **CAUSAS**
  - CONFIGURACIÓN SATELITAL CAMBIANTE
  - VARIACIONES EN LA INTENSIDAD DE LA SEÑAL GPS
- **COMPENSACIÓN DEL ERROR** ⇒ ORIENTACIÓN DE LAS ANTENAS AL NORTE GEOGRÁFICO

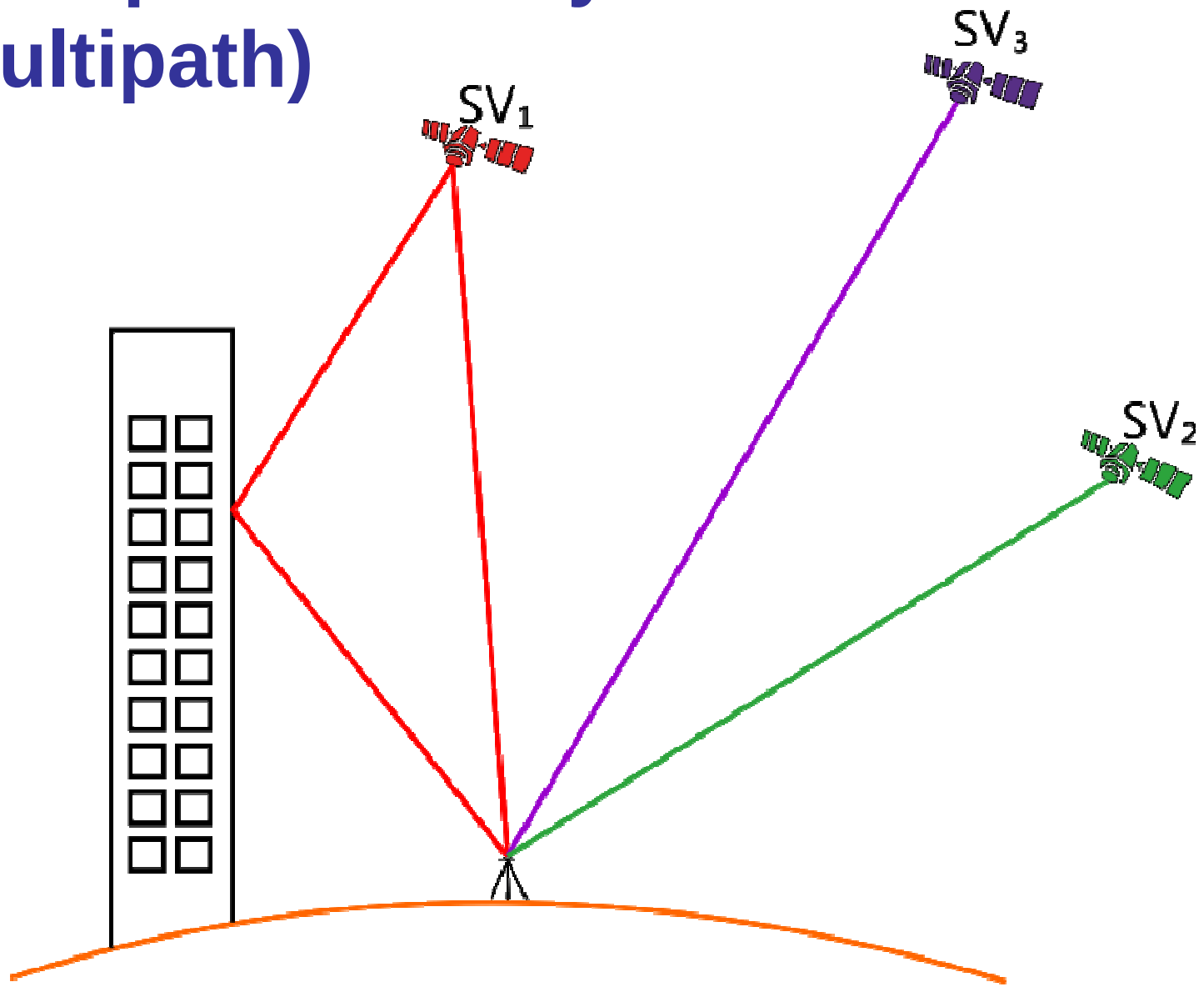
Introducción al Sistema GPS

❖ANTENAS GPS

- PROBLEMAS:
  - Centros de fase
    - No coincidencia de los centros mecánicos de las antenas con sus centros de fase.
    - Variación de los centros de fase con la altura de los satélites



Error por multitrayectoria (Multipath)



Introducción al Sistema GPS

❖ANTENAS GPS

- PROBLEMAS:
  - Interferencias RF
  - Multipath o Multitrayectoria
    - Planos de Tierra
    - Choke Ring







Pérdida de ciclos en la señal GPS

- DISCONTINUIDAD EN LA RECEPCIÓN DE LA SEÑAL GPS

- **CAUSAS**
  - OBSTRUCCIONES (NATURALES Y ARTIFICIALES)
  - ERROR MULTIPATH
  - DÉBIL SEÑAL GPS (BAJA ALTURA SATELITAL)

- **CONSECUENCIA** ERROR EN LA DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA RECEPTOR - SATÉLITE

Terminología utilizada en GPS

Sesión: Lapso de medición entre 2 receptores al mismo tiempo.

Intervalo de Registro: Cada cuanto tiempo se graban las observaciones.

Época: Intervalo de registro contado como unidad.

Ángulo de máscara: Ángulo desde el horizonte que define a partir de donde comienzan a observarse los satélites.

Georreferenciación de mensuras

LEY NACIONAL DE CATASTRO – LEY 26209

ARTÍCULO 3º — El poder de policía inmobiliario catastral comprende las siguientes atribuciones, sin perjuicio de las demás que las legislaciones locales asignen a los organismos mencionados en el artículo anterior:

a) Practicar de oficio actos de levantamiento parcelario y territorial con fines catastrales;
b) **Realizar la georreferenciación parcelaria y territorial**;
c) Registrar y publicitar los estados parcelarios y de otros objetos territoriales legales con base en la documentación que les da origen, llevando los correspondientes registros;
d) Requerir declaraciones juradas a los propietarios u ocupantes de inmuebles;
e) Realizar inspecciones con el objeto de practicar censos, verificar infracciones o con cualquier otro acorde con las finalidades de esta ley;
f) Expedir certificaciones;
g) Ejecutar la cartografía catastral de la jurisdicción; confeccionar, conservar y publicar su registro gráfico;
h) Formar, conservar y publicar el archivo histórico territorial;
i) Interpretar y aplicar las normas que regulen la materia;
j) **Establecer estándares, metadatos y todo otro componente compatible con el rol del catastro en el desarrollo de las infraestructuras de datos geoespaciales**.

LEY NACIONAL DE CATASTRO – LEY 26209

ARTÍCULO 5º — Son elementos de la parcela:

I. Esenciales:

a) **La ubicación georreferenciada del inmueble**;
b) Los límites del inmueble, en relación a las causas jurídicas que les dan origen;
c) Las medidas lineales, angulares y de superficie del inmueble.

II. Complementarios:

a) La valuación fiscal;
b) Sus linderos.

Dichos elementos constituyen el estado parcelario del inmueble.

LEY NACIONAL DE CATASTRO – LEY 26209

ARTÍCULO 6º — La determinación de los estados parcelarios se realizará mediante actos de levantamiento parcelario consistentes **en actos de mensura ejecutados y autorizados por profesionales con incumbencia en la agrimensura**, quienes asumirán la responsabilidad profesional por la documentación suscripta, de acuerdo a lo dispuesto en la presente ley y **en la forma y condiciones que establezcan las legislaciones locales**.

IMPLEMENTACIÓN DE LA LEY NACIONAL DE CATASTRO (26209), EN CADA UNA DE LAS PROVINCIAS

PARCELA GEORREFERENCIADA

- Integrarla a una Base de Datos Geográfica Única.
- Tenga una ubicación geoespacial conocida.
- Tenga atributos suficientes para poder constituirse como parcela dentro de una Base de Datos Geográfica.
- Que comience a ser parte de una **Infraestructura de Datos Espaciales Provincial – IDE**.
- Que esta IDE Provincial se integre a la IDE Nacional denominada **IDERA**.

¿Qué es una Infraestructura de Datos Espaciales?

Tecnológicamente una **IDE** es un sistema integrado por un conjunto de recursos técnicos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,…) dedicados a gestionar Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,…), disponibles en Internet, que cumpla una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, estándares, especificaciones, protocolos, interfaces,…).

Este sistema debe permitir que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizar la información disponible y combinarla según sus necesidades y licencias de uso.

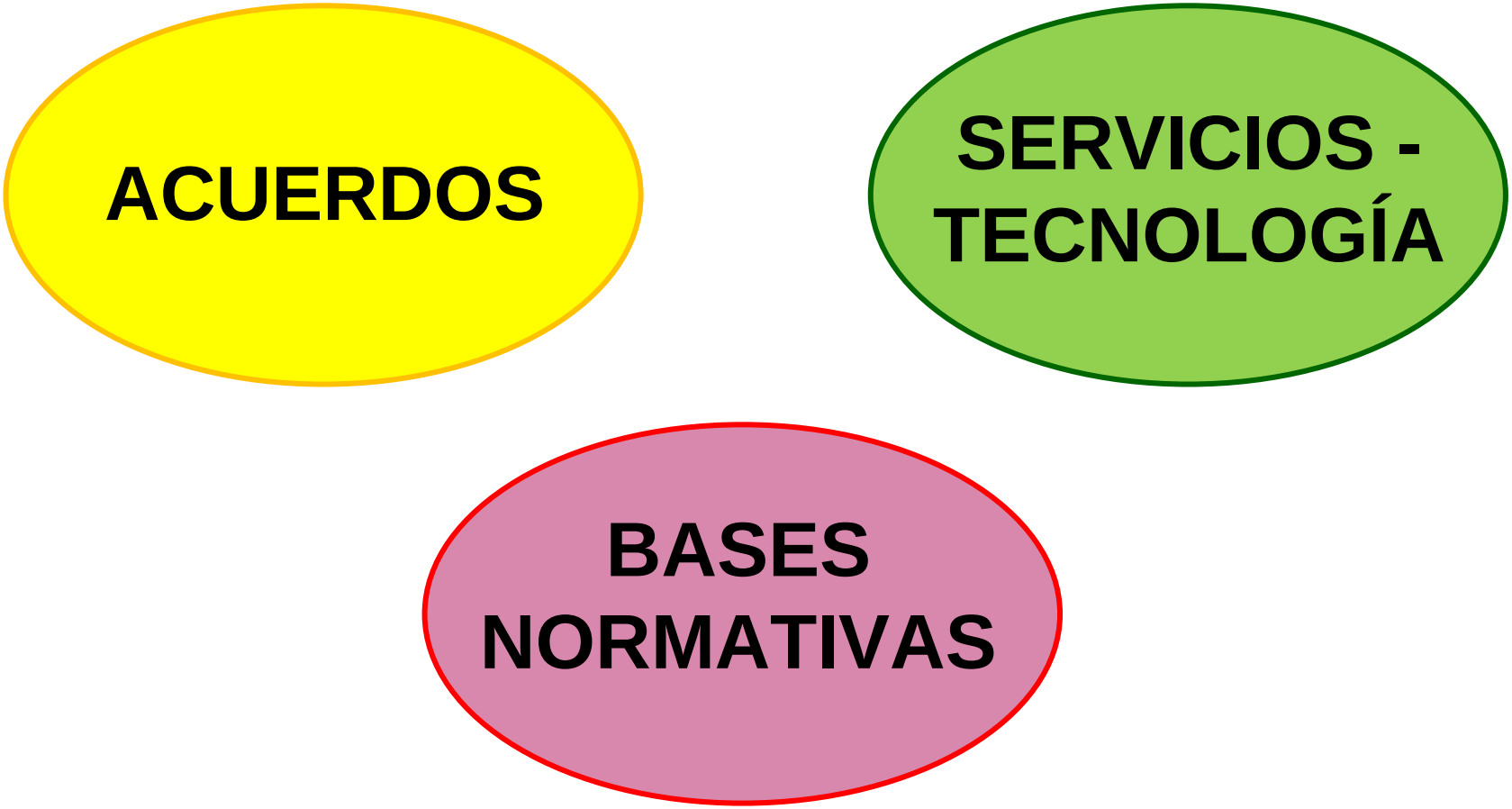
¿Qué es una Infraestructura de Datos Espaciales?

Definición



Es un sistema estandarizado, integrado por un conjunto de recursos informáticos cuyo fin es visualizar y gestionar información geográfica que se encuentra ubicada en el territorio.

INFRAESTRUCTURA DE DATOS ESPACIALES DE LA REPÚBLICA ARGENTINA (IDERA)



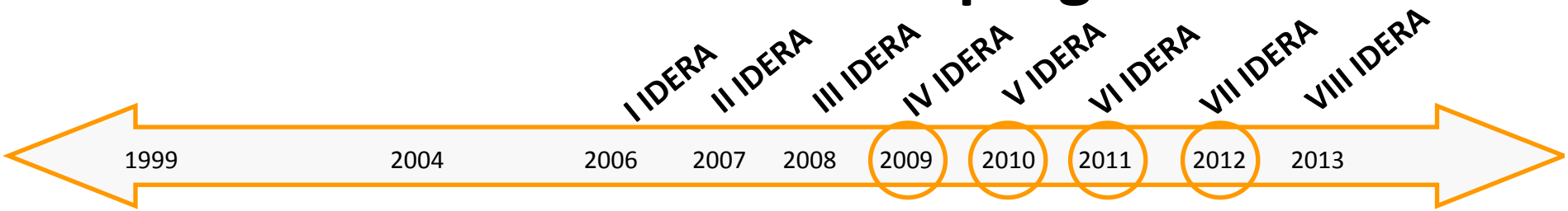
Tecnología IDE bajo Normas y Estándares ISO - OGC



GEORREFERENCIACIÓN

Permite sobre la base de la cooperación y la interoperabilidad la integración de datos provenientes de distinta fuentes y ubicación remota

IDERA. Conformación progresiva.



2009. Acuerdo entre organismos nacionales.
Buenos Aires



2010. Acta Acuerdo para la conformación de la plataforma de trabajo de la Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina





2011. Reglamento

2012. 1er. Asamblea de IDERA



IDERA

Infraestructura de Datos Espaciales
de la República Argentina

www.idera.gob.ar

Georreferenciación de mensuras

Georreferenciación de parcelas

- Ejemplo de la Provincia de Buenos Aires.
- Georreferenciación reglamentada por Disposición 384/09 de la Provincia de Buenos Aires.

Georreferenciación de parcelas

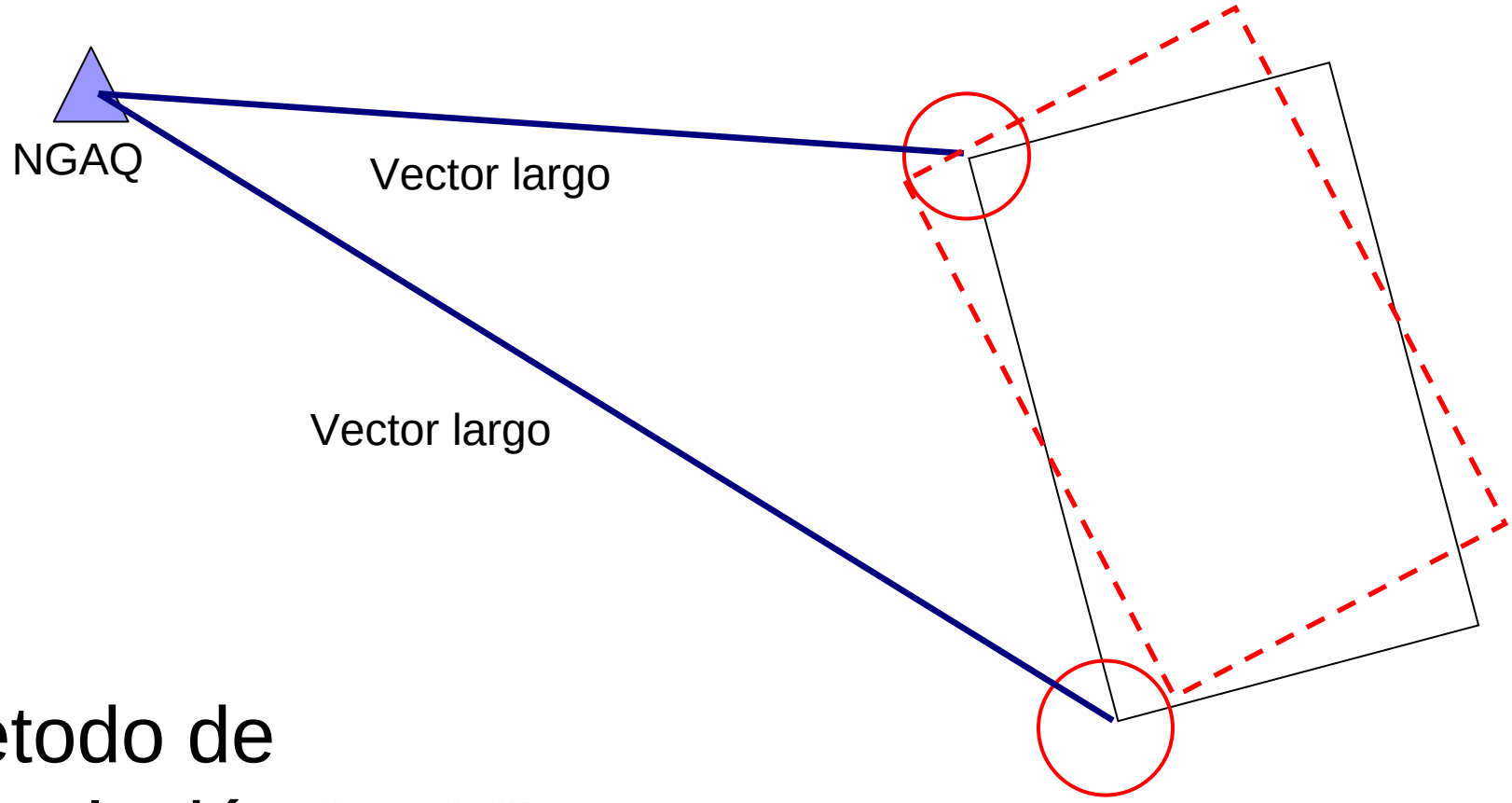
- Tolerancia máxima de 30cm para cada una de las coordenadas del vértice de la parcela.

- Medición de coordenadas de dos vértices de la parcela: vector largo (ubicación) y vector corto (orientación)

Georreferenciación de parcelas
Tiempos de medición

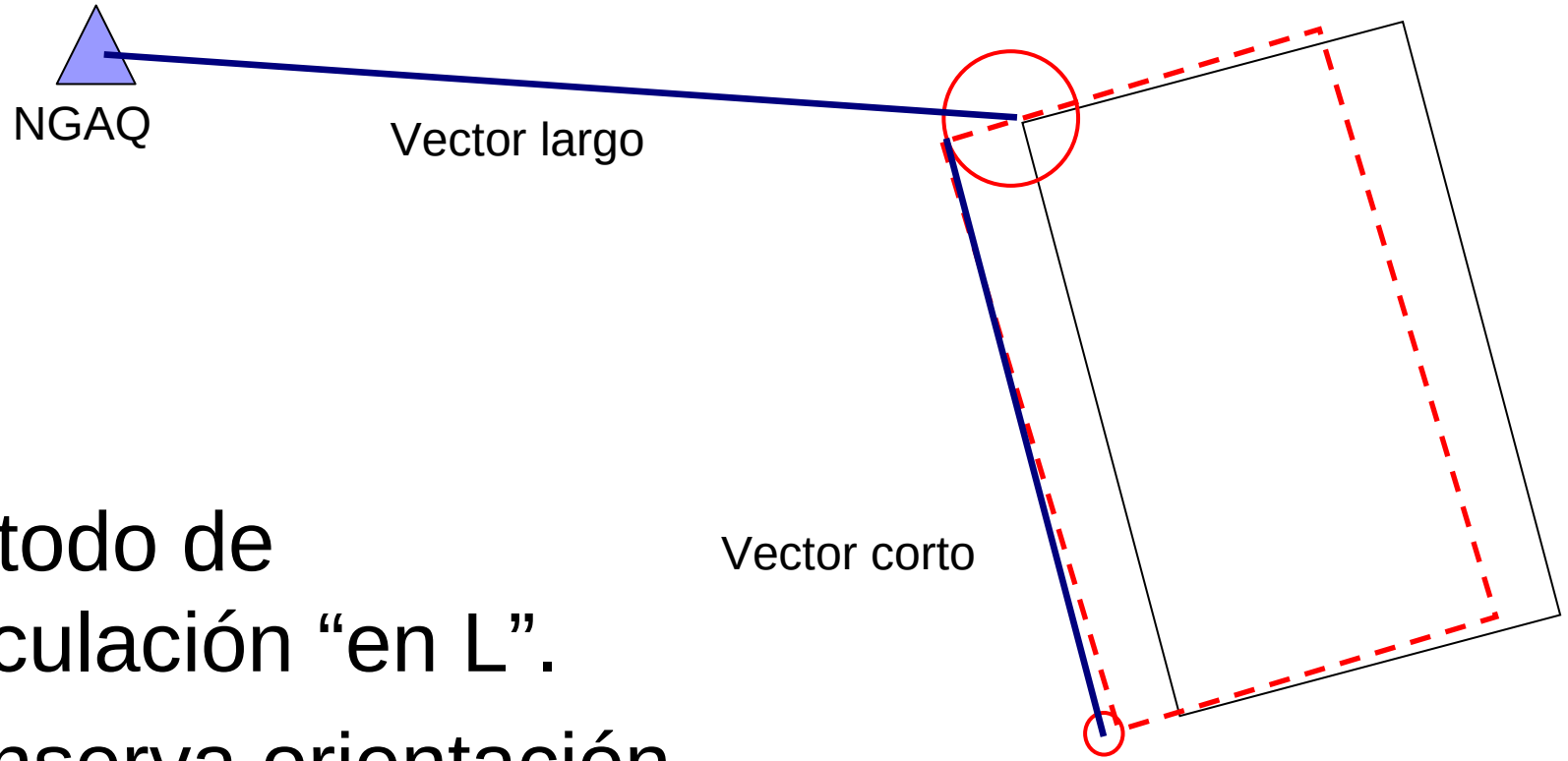
- Vector Largo:
  - Equipo Simple Frecuencia L1
    - Distancia <= 30Km _____ 1:30 hs
    - 30Km < Distancia <= 65Km_____ 3:00 hs
    - 65Km < Distancia <= 100Km_____ 4:00 hs
  - Equipo Doble Frecuencia L1L2
    - Distancia <= 30Km _____ 1:00 hs
    - 30Km < Distancia <= 80Km_____ 1:30 hs
    - 80Km < Distancia <= 150Km_____ 2:00 hs
    - 150Km < Distancia <= 200Km_____ 3:00 hs

Georreferenciación de parcelas



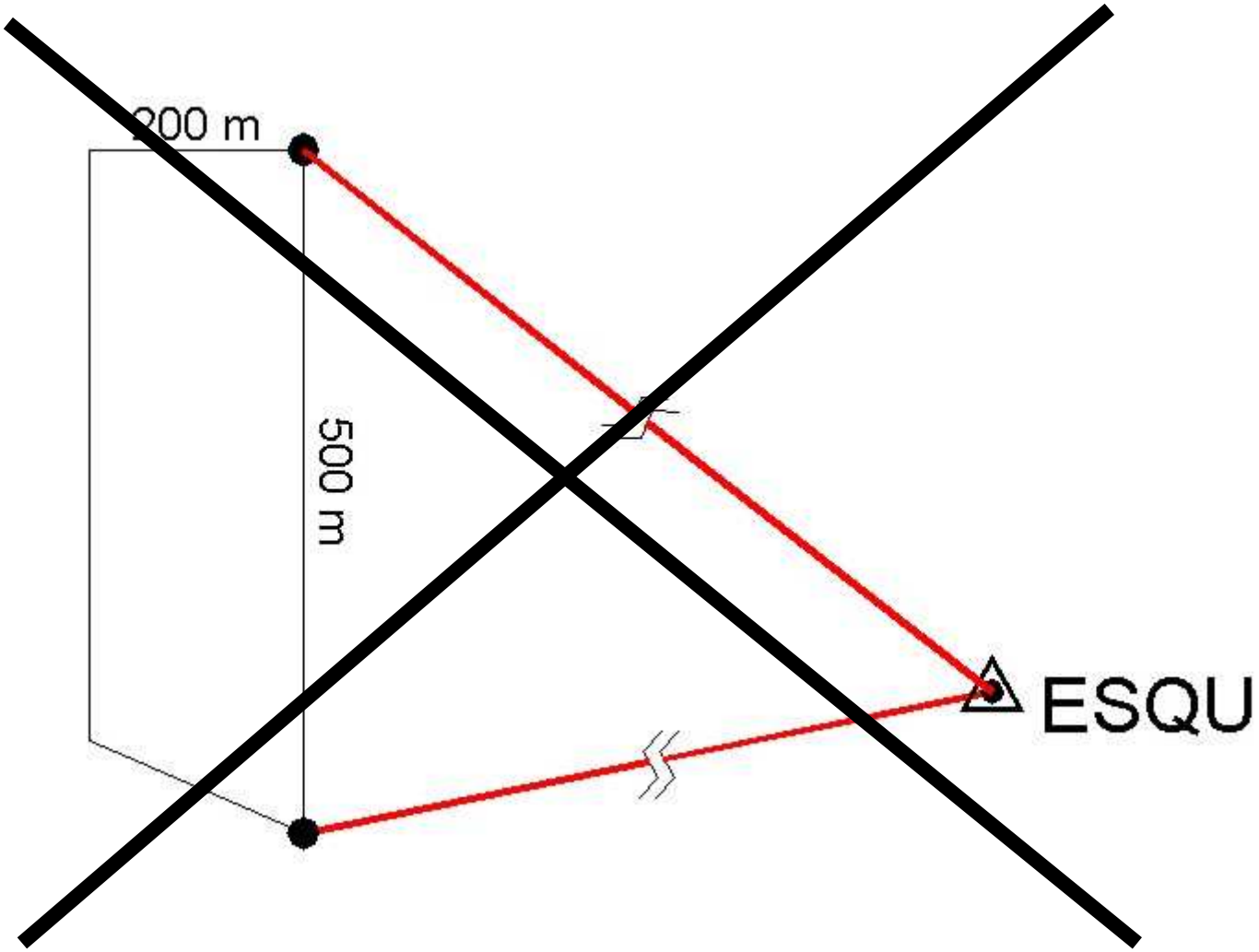
- Método de vinculación “en V”

Georreferenciación de parcelas

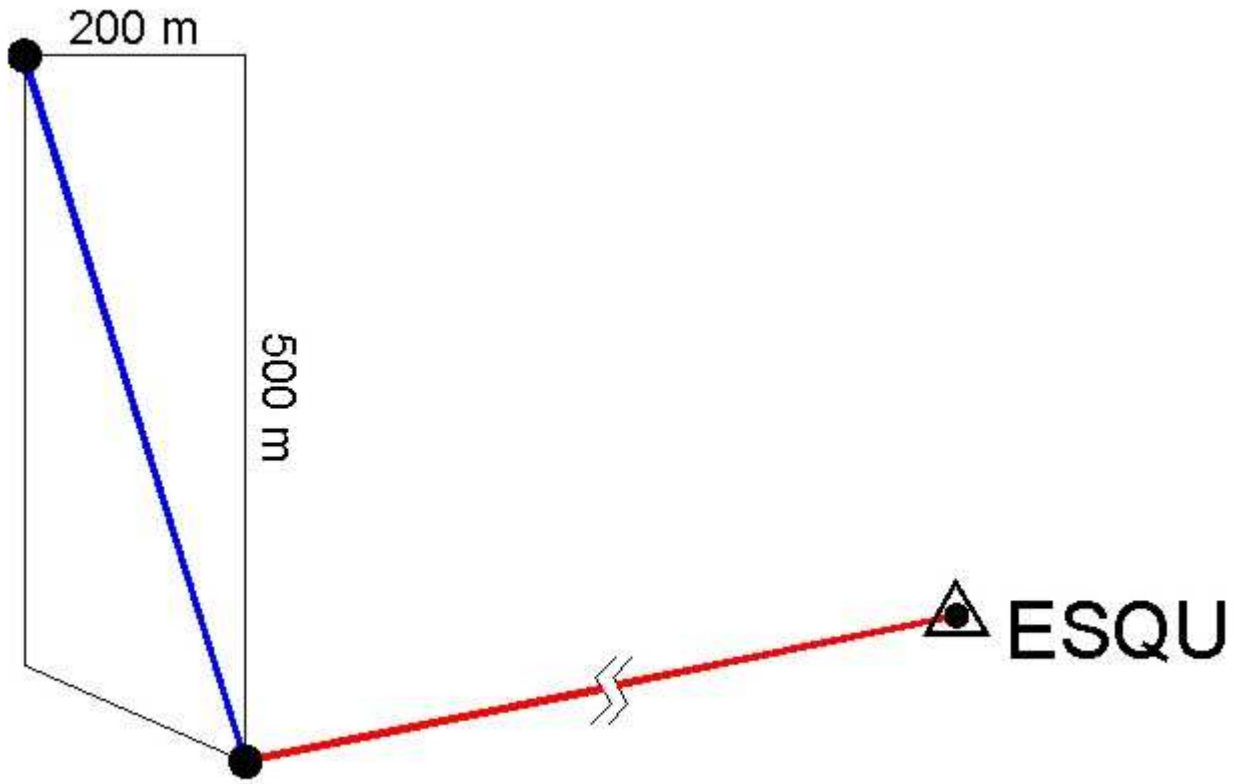


- Método de vinculación “en L”.
- Conserva orientación de la parcela

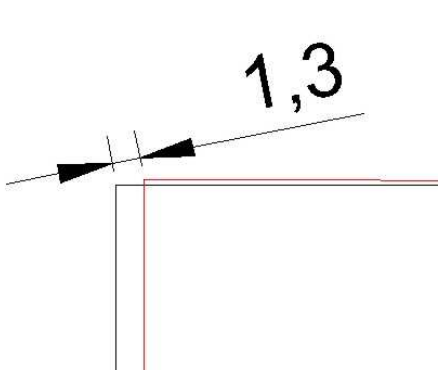
Georreferenciación de parcelas

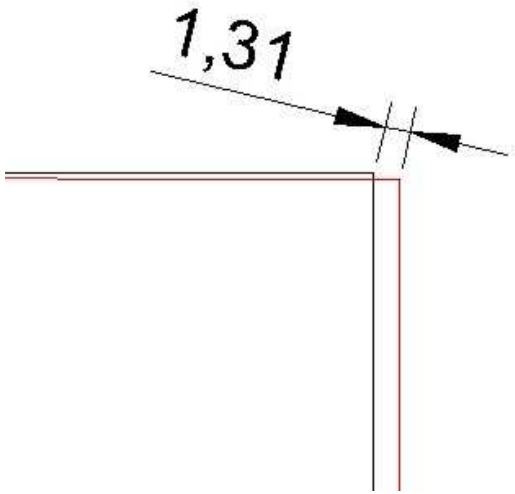


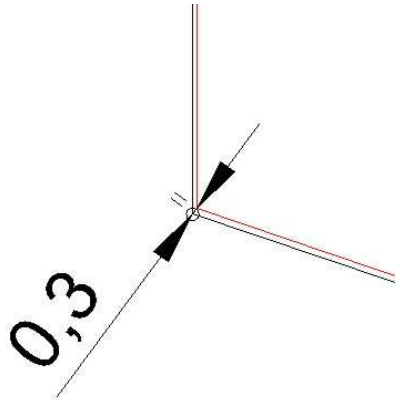
Georreferenciación de parcelas

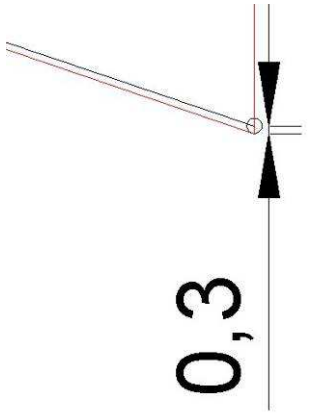


Georreferenciación de parcelas

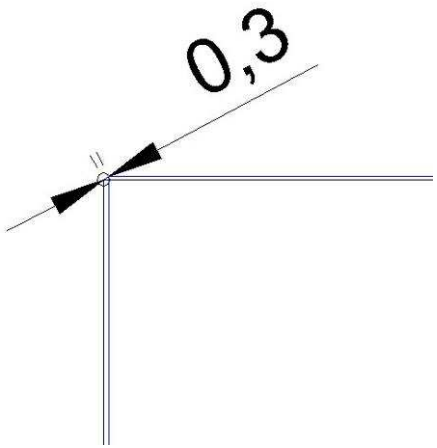


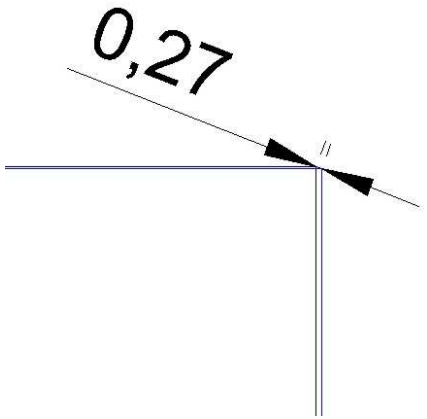


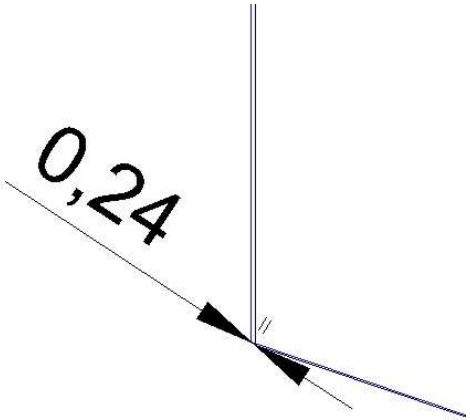


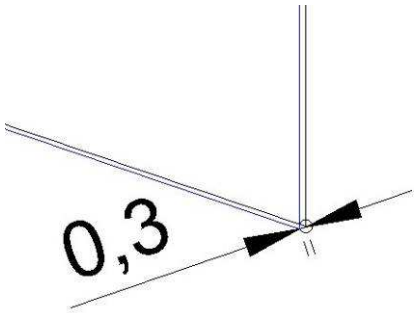


Georreferenciación de parcelas



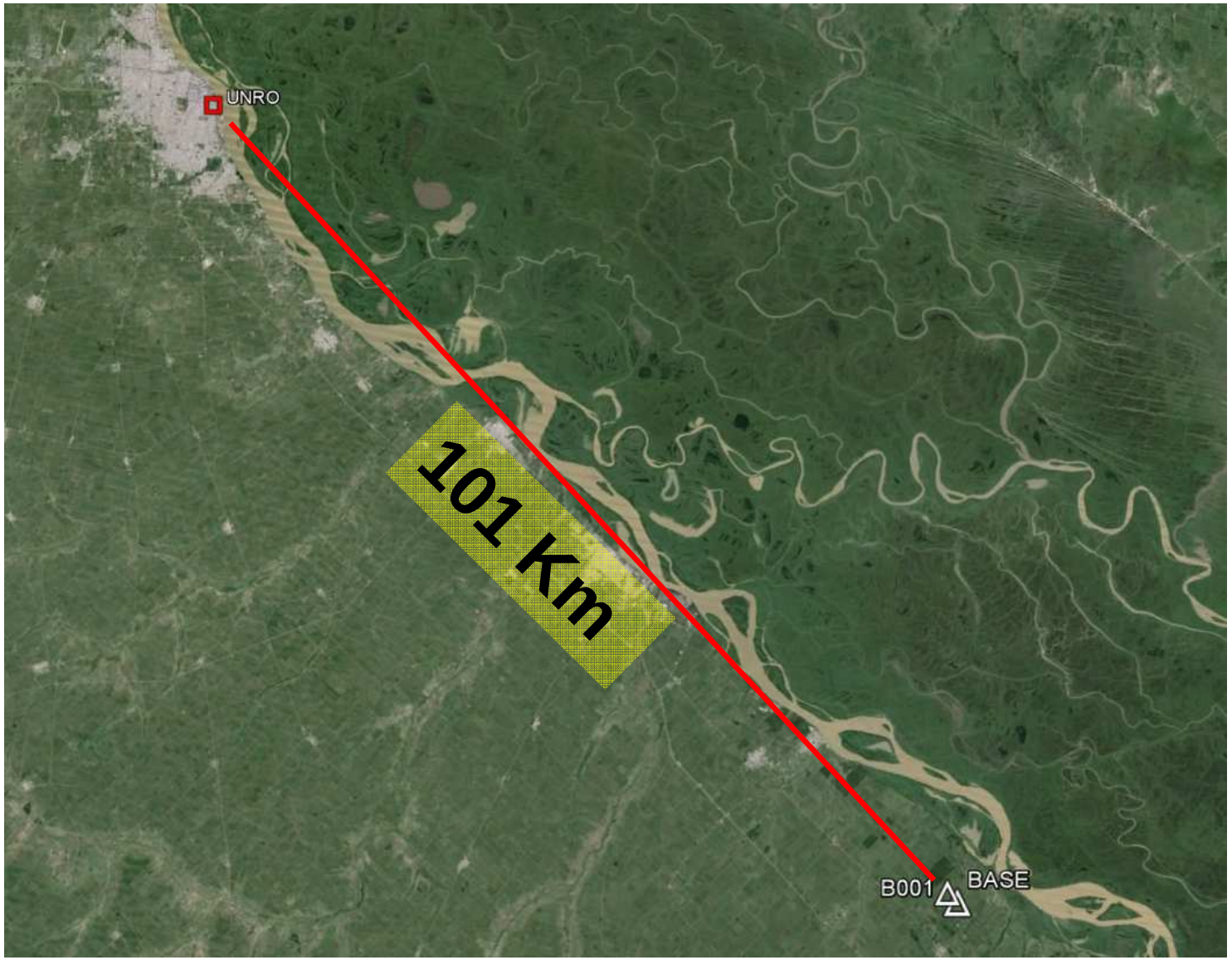






Georreferenciación de mensuras - Ejemplo

Georreferenciación – Ejemplo



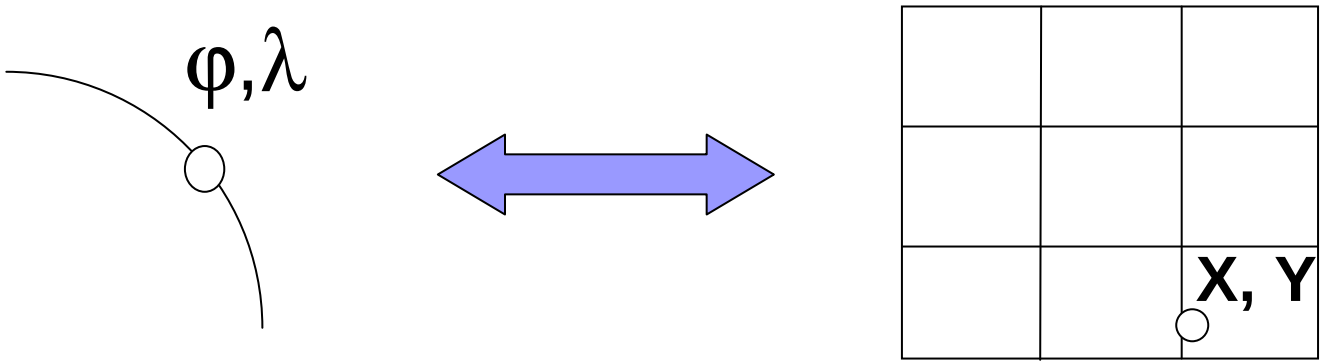
Georreferenciación – Ejemplo



Sistemas de Proyección Cartográficos

Sistema de Proyección Cartográfico

- Un Sistema de Proyección Cartográfico permite representar en un plano la superficie curva de la Tierra.
- A cada punto del terreno de coordenadas φ, λ le corresponde en el plano un único punto de coordenadas **X, Y** y viceversa.
- En la transformación de coordenadas geodésicas a planas se producen deformaciones.



Sistema de Proyección Cartográfico
Deformaciones

CONSERVACIÓN DE MEDIDAS	LINEALES
	ANGULARES
	AREALES
CLASIFICACIÓN	SISTEMAS EQUILÁTEROS
	SISTEMAS CONFORMES
	SISTEMAS EQUIVALENTES

SISTEMA AFILÁCTICOS: No mantienen ninguna magnitud

Sistema de Proyección Cartográfico

Escala de proyección

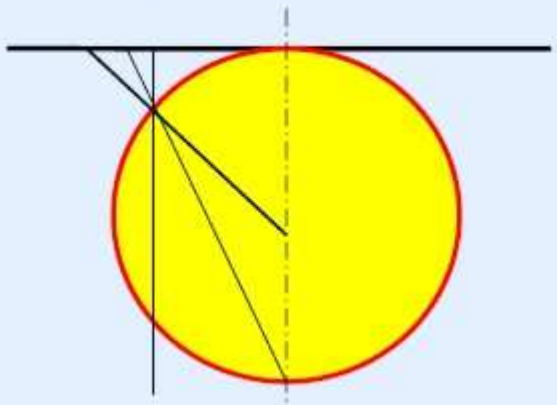
- GEOGRÁFICOS ⟶ E < 1 : 1.000.000
- ELIPSÓIDICOS ⟶ E ≥ 1 : 1.000.000

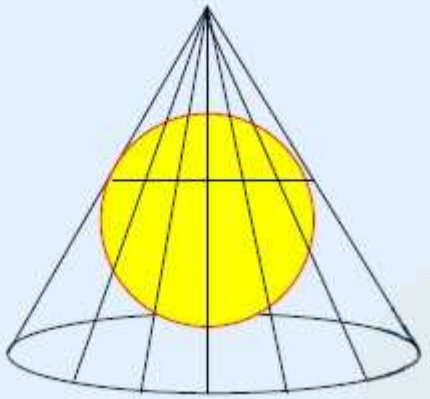
Sistema de Proyección Cartográfico

Tipo de proyección

Proyecciones ***en función del proceso geométrico***:

- **Proyección perspectiva**: la superficie es proyectada sobre un plano tangente o secante en un punto determinado de la superficie terrestre.
- **Proyección desarrollable o por desarrollo**: la superficie terrestre es proyectada sobre una figura geométrica que se puede desarrollar en un plano (cono o cilindro).





Sistema de Proyección Cartográfico

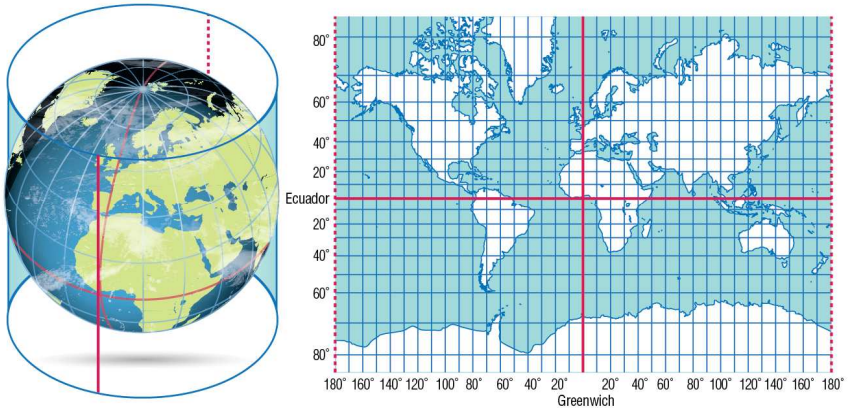
Superficie de proyección

- AZIMUTALES → PLANO
- CILÍNDRICOS → CILINDRO
- CÓNICOS → CONO

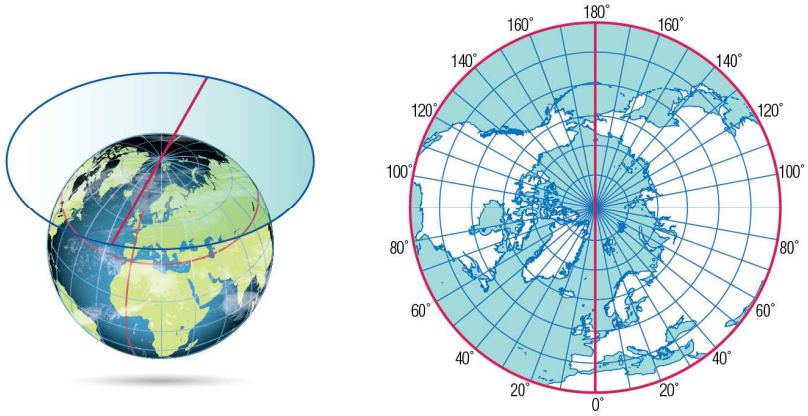
Sistema de Proyección Cartográfico

Superficie de proyección

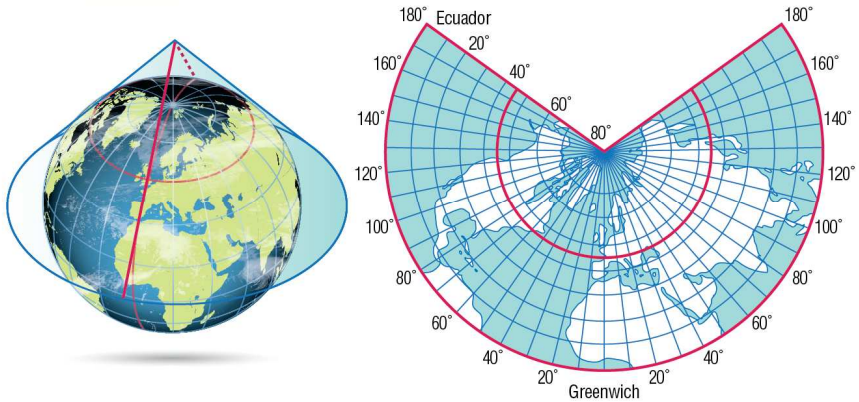
PROYECCIÓN CILÍNDRICA



PROYECCIÓN ACIMUTAL



PROYECCIÓN CÓNICA

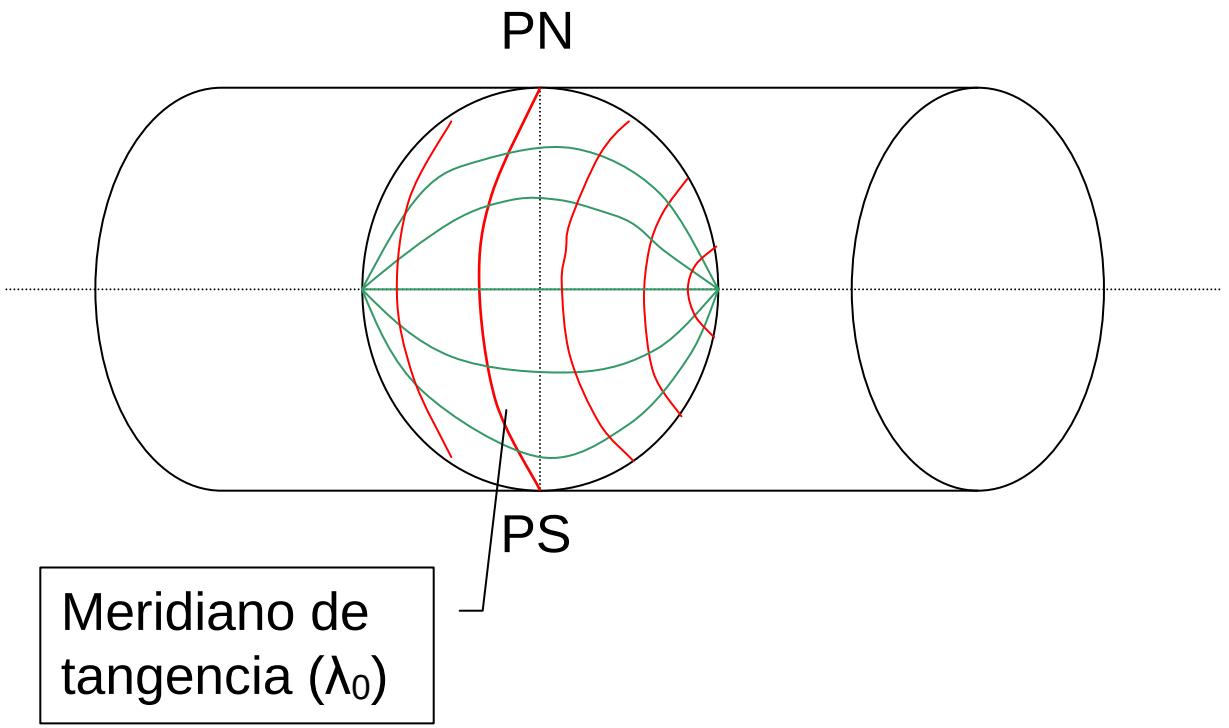


Sistema de Proyección Cartográfico
Proyección **GAUSS-KRÜGER**

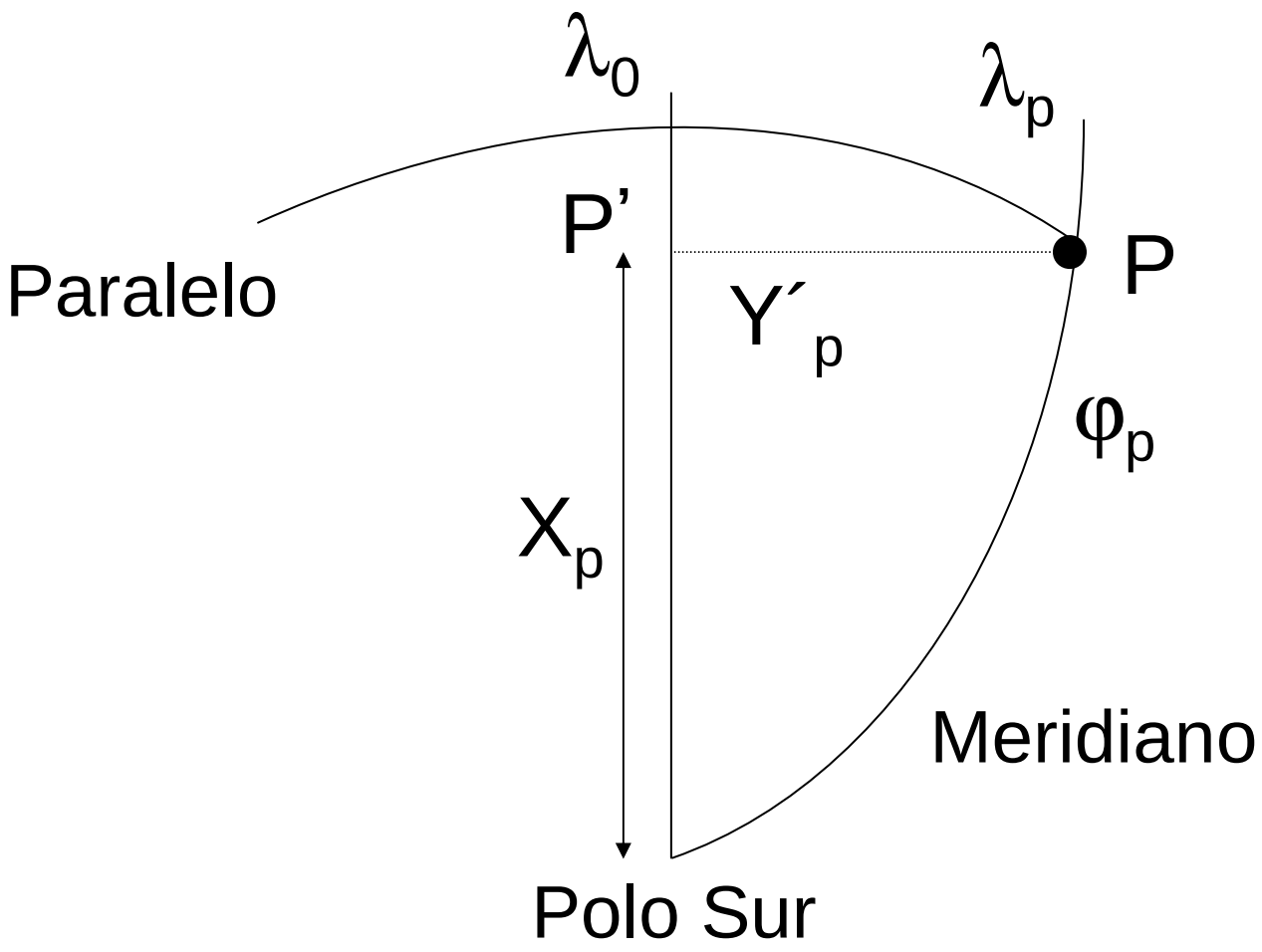
CARACTERÍSTICAS

- **CONFORME** $\Rightarrow$ Se conservan los ángulos
- **CONVENCIONAL** $\Rightarrow$ Transformación $\varphi,\lambda \Leftrightarrow$ **X,Y** por fórmulas
- **CILÍNDRICO** $\Rightarrow$ Se desarrolla sobre un cilindro tangente transversal
- **ELIPSÓIDICO** $\Rightarrow$ Escala $\geq 1 : 1000000$

Proyección **GAUSS-KRÜGER**



Proyección **GAUSS-KRÜGER**



Coordenadas **GAUSS-KRÜGER**

X $\Rightarrow$ SE MIDE SOBRE λ_0 DESDE EL POLO SUR

$\mathbf{Y} = Y_0 + Y'_P$

Donde :

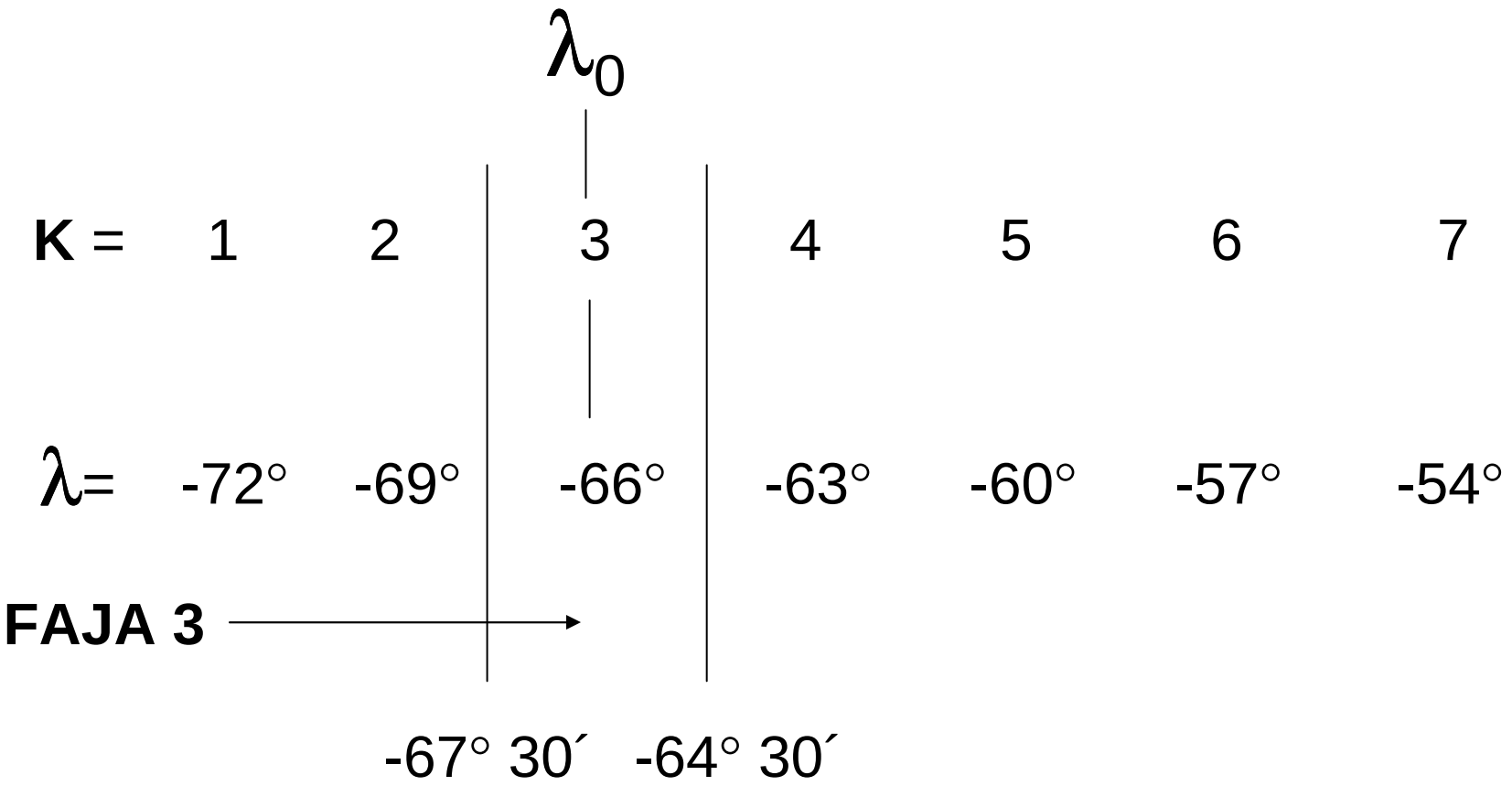
$\mathbf{Y_0} = K.10^6 + 500000$

K = CARACTERÍSTICA DE FAJA

$\mathbf{Y'_P}$ es positivo al este de λ_0 y negativo al oeste de λ_0

Proyección GAUSS-KRÜGER

Meridianos de tangencia



Proyección GAUSS-KRÜGER

Deformación lineal

Distancia plana → Se calcula por Pitágoras

Distancia plana → Se mide en la carta

Módulo de Agrandamiento $\longrightarrow m = 1 + \frac{Y'^2}{2R^2}$

Distancia geodésica $= \frac{\textbf{Distancia plana}}{\textbf{m}}$

Proyección GAUSS-KRÜGER

Ejemplos de deformación

Coordenadas geodésicas POSGAR

φ: -34 35 00
λ: -58 32 00

φ: -34 38 00
λ: -58 34 00

Coordenadas planas Gauss- Krüger POSGAR

X: 6172618.729
Y: 5634569.736

X: 6167115.383
Y: 5631432.266

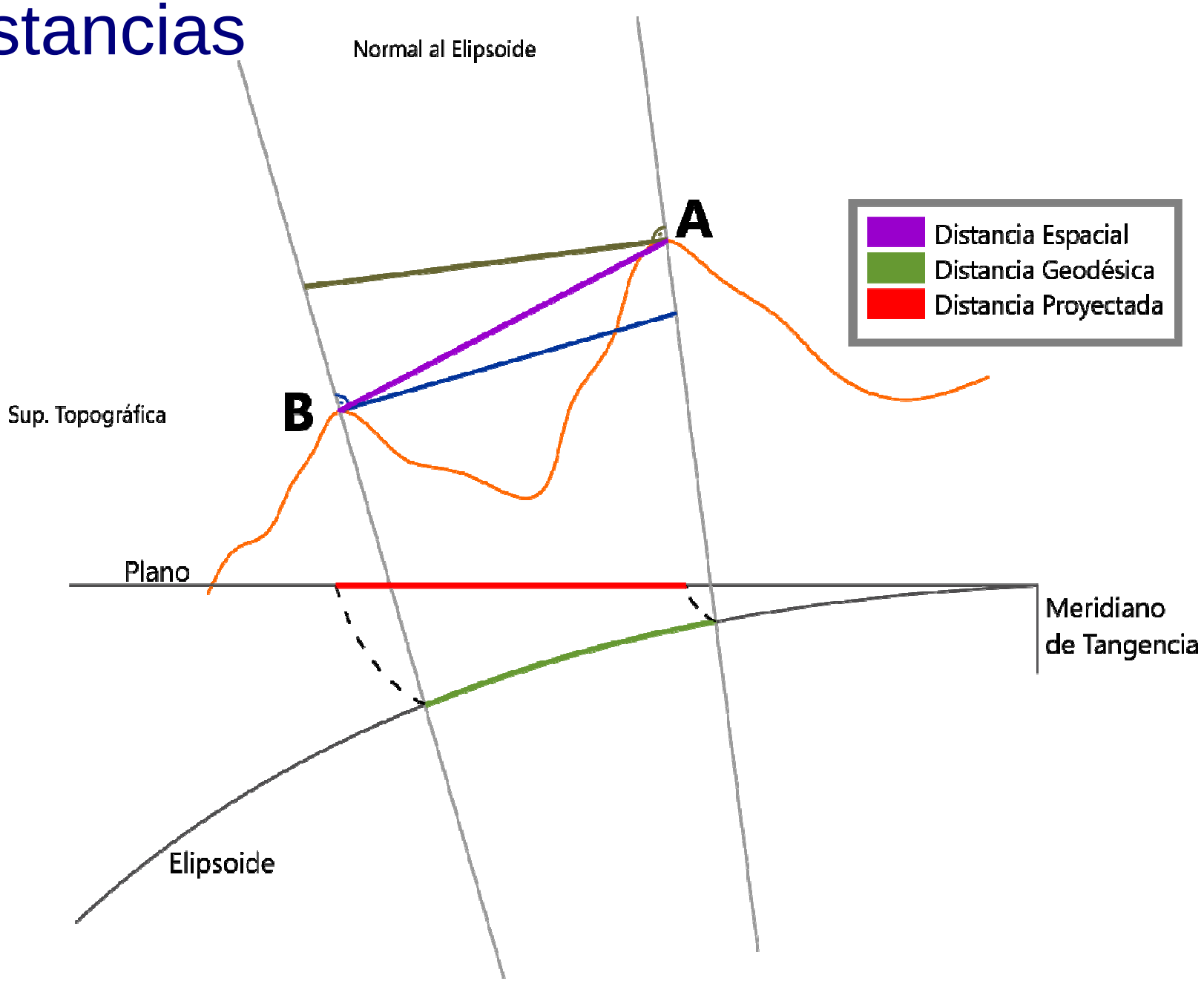
Distancia plana:	6334.866 m
Distancia geodésica:	6333.387 m
Diferencia:	1.380 m

Cuadro comparativo

Geodésicas	Planas GK	Distancias	Diferencias
-27 30 00	6958931.700		
-60 00 00	5500000.000		
-27 32 00	6955237.976	3693.724	
-60 00 00	5500000.000	3693.724	0.000
-27 30 00	6958832.156		
-59 30 00	5549406.431		
-27 32 00	6955138.351	3693.724	
-59 30 00	5549391.538	3693.835	0.111
-27 30 00	6958533.496		
-59 00 00	5598815.036		
-27 32 00	6954839.448	3693.724	
-59 00 00	5598785.246	3694.168	0.444
-27 30 00	6958035.636		
-58 30 00	5648227.989		
-27 32 00	6954341.182	3693.724	
-58 30 00	5648183.293	3694.724	1.000
-27 30 00	6957338.431		
-58 00 00	5697647.463		
-27 32 00	6953643.408	3693.724	
-58 00 00	5697587.848	3695.504	1.780

Geodésicas	Planas GK	Distancias	Diferencias	Dist. Al MC	Diferencias
-27 30 00	6958931.700				
-60 00 00	5500000.000				
-27 30 05	6958777.795	153.905			
-60 00 00	5500000.000	153.905	0.000		
-27 30 00	6958832.156				
-59 30 00	5549406.431				
-27 30 05	6958678.248	153.905		49406.531	
-59 30 00	5549405.811	153.909	0.004	49370.797	35.734
-27 30 00	6958533.496				
-59 00 00	5598815.036				
-27 30 05	6958379.578	153.905		98815.838	
-59 00 00	5598813.796	153.923	0.018	98741.594	74.244
-27 30 00	6958035.636				
-58 30 00	5648227.989				
-27 30 05	6957881.700	153.905		148230.697	
-58 30 00	5648226.127	153.947	0.042	148112.391	118.306
-27 30 00	6957338.431				
-58 00 00	5697647.463				
-27 30 05	6957184.472	153.905		197653.885	
-58 00 00	5697644.980	153.979	0.074	197483.189	170.696

Distancias


Normal al Elipsoide
A
B
Distancia Espacial
Distancia Geodésica
Distancia Proyectada
Sup. Topográfica
Plano
Meridiano
de Tangencia
Elipsoide

¿Cuál es la correcta?

Distancias espacial, geodésica y proyectada

COORDENADAS GEODÉSICAS							
	Latitud			Longitud			h
IGM1	-34	34	20.07733	-58	26	21.54958	50.694
MA02	-34	36	25.28333	-58	23	38.71695	59.656
LPGS	-34	54	24.28241	-57	55	56.27834	29.875

COORDENADAS PLANAS (Faja 6)	
N [m]	E [m]
6173885.202	6367922.086
6170084.854	6372126.306
6137321.788	6414794.329

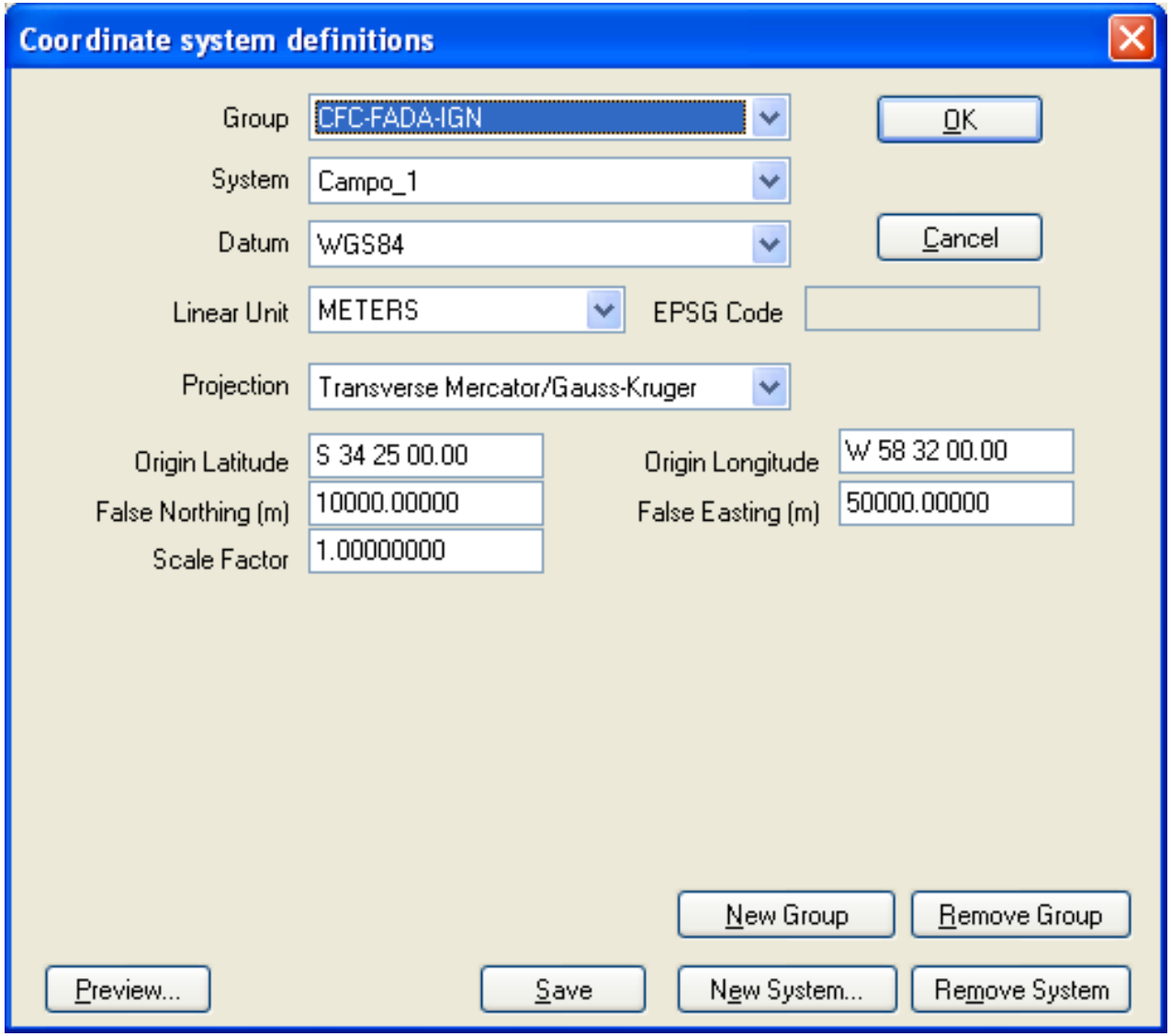
COORDENADAS GEOCENTRICAS		
X [m]	Y [m]	Z [m]
2751804.044	-4479879.309	-3598922.511
2754195.750	-4475846.413	-3602103.840
2780103.004	-4437418.936	-3629404.502

DISTANCIAS [m]	IGM1-MA02	IGM1-LPGS
ESPACIAL	5666.16	59437.92
GEODÉSICA	5666.10	59437.76
PROYECTADA	5667.28	59446.53

Parámetros para una transformación de coordenadas

- Sistema de Referencia o Datum (POSGAR, Campo Inchauspe, etc.)
- Proyección (Cilíndrica Transversa)
- Latitud de origen de la proyección
- Longitud de origen de la proyección
- Falso norte o valor asignado a la latitud de origen
- Falso este o valor asignado a la longitud de origen
- Factor de escala del meridiano central

Proyección Gauss-Krüger
Faja Local



Proyección Gauss-Krüger
Faja 5 Vs. Faja Local

COORDENADAS GEODÉSICAS							
	Latitud			Longitud			h
PA01	-34	25	0.00000	-58	32	0.00000	0.000
PA02	-34	24	3.78810	-58	31	20.84760	0.000

DIST. GEODESICA	2000.00

COORDENADAS PLANAS (Faja 5)	
N [m]	E [m]
6191109.493	5634837.891
6192827.283	5635863.075

PROYECTADA (GK F5)	2000.45

Módulos de Agrandamiento	
	Promedio
1.000223983	1.00022569
1.000227402	

COORDENADAS PLANAS (Faja Local)	
N [m]	E [m]
10000.000	50000.000
11732.050	51000.000

PROYECTADA (LOCAL)	2000.00

Proyección Gauss-Krüger
Faja 5 Vs. Faja Local
Resumen

COORDENADAS GEODÉSICAS							
	Latitud			Longitud			h
PA01	-34	25	0.00000	-58	32	0.00000	0.000
PA02	-34	24	3.78810	-58	31	20.84760	0.000

COORDENADAS PLANAS (Faja 5)	
N [m]	E [m]
6191109.493	5634837.891
6192827.283	5635863.075

COORDENADAS PLANAS (Faja Local)	
N [m]	E [m]
10000.000	50000.000
11732.050	51000.000

DISTANCIAS [m]	
GEODESICA	2000.00
PROYECTADA (GK F5)	2000.45
PROYECTADA (LOCAL)	2000.00

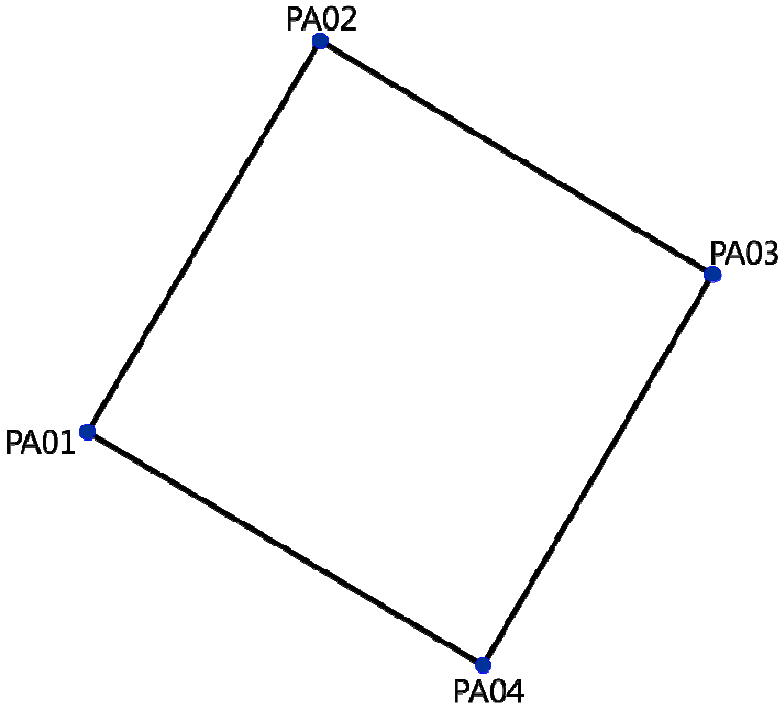
Proyección Gauss-Krüger
Faja 5 Vs. Faja Local

	Coordenadas Geodésicas	Coordenadas GK Faja 5	Coordenadas Faja Local
PA01	-34° 25' 00"	6191109.493	10000.00
	-58° 32' 00"	5634837.891	50000.00

	Coordenadas Geodésicas	Coordenadas GK Faja 5	Coordenadas Faja Local
PA02	-34 22 39.4634	6195403.992	14330.128
	-58 30 22.1462	5637400.841	52500.001

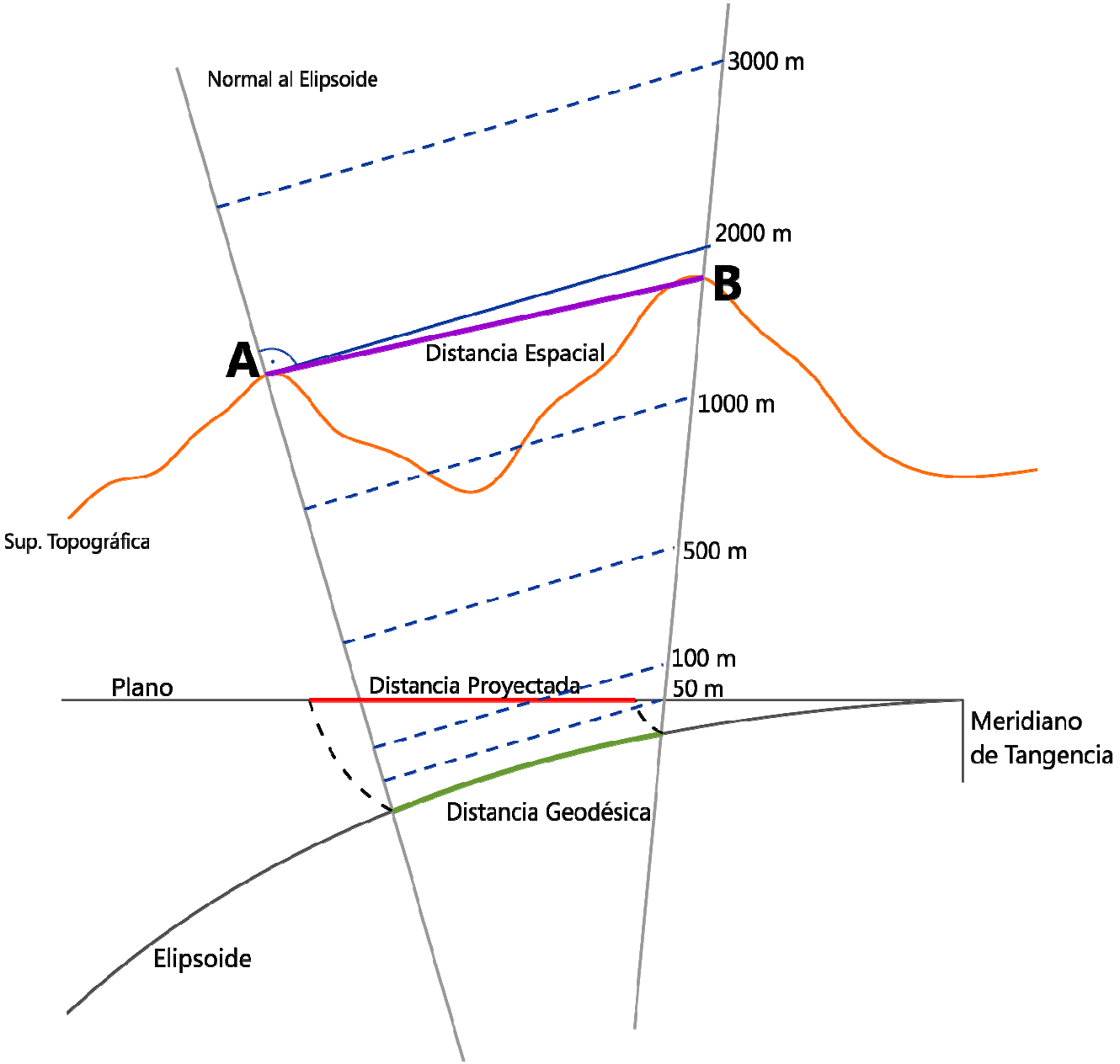
	Coordenadas Geodésicas	Coordenadas GK Faja 5	Coordenadas Faja Local
PA03	-34 24 00.5258	6192841.024	11830.1277
	-58 27 32.5869	5641695.395	56830.1278

	Coordenadas Geodésicas	Coordenadas GK Faja 5	Coordenadas Faja Local
PA04	-34 26 21.0995	6188546.487	7499.9997
	-58 29 10.3881	5639132.371	54330.1268



DISTANCIAS PLANAS [m]		
	Faja 5	**Local**
PA01-PA02	5001.14	5000.00
PA02-PA03	5001.20	5000.00
PA03-PA04	5001.21	5000.00
PA04-PA01	5001.16	5000.00

Medición de Distancias en Altura



Medición de Distancias en Altura

PTO1	Lat	-34º 02' 00"	X	2801292.43
	Long	-58º 02' 00"	Y	-4488813.98
	Alt	0	Z	-3549511.27
PTO2	Lat	-34º 00' 00"	X	2804999.56
	Long	-58º 00' 00"	Y	-4488937.65
	Alt	0	Z	-3546446.56

Distancia Espacial	4811.497
Distancia Geodésica	4811.497
Diferencia	**0.000**

PTO1	Lat	-34º 00' 00"	X	2805438.89
	Long	-58º 00' 00"	Y	-4489640.72
	Alt	1000	Z	-3547005.76
PTO2	Lat	-34º 02' 00"	X	2801731.17
	Long	-58º 02' 00"	Y	-4489517.03
	Alt	1000	Z	-3550070.94

Distancia Espacial	4812.253
Distancia Geodésica	4811.497
Diferencia	**0.755**

PTO1	Lat	-34º 00' 00"	X	2806317.53
	Long	-58º 00' 00"	Y	-4491046.85
	Alt	3000	Z	-3548124.14
PTO2	Lat	-34º 02' 00"	X	2802608.66
	Long	-58º 02' 00"	Y	-4490923.11
	Alt	3000	Z	-3551190.29

Distancia Espacial	4813.764
Distancia Geodésica	4811.497
Diferencia	**2.267**

Medición de Distancias en Altura

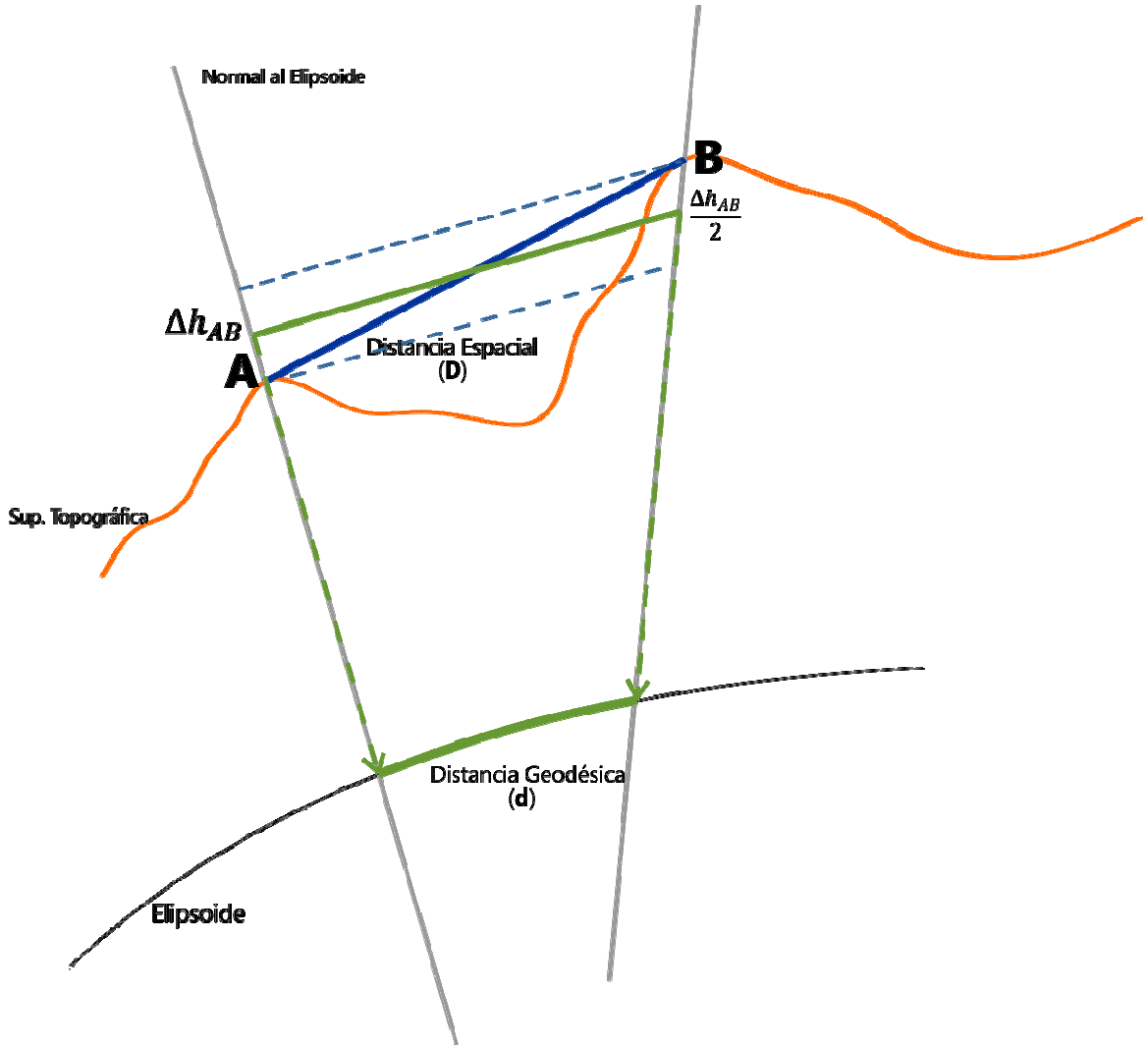
	COORDENADAS GEODÉSICAS						
	Latitud			Longitud			h
AUX8	-22	41	44.51716	-66	29	38.85126	4166.149
AUX9	-22	41	27.36018	-66	32	15.15080	4498.208

COORDENADAS GEOCÉNTRICAS			COORDENADAS PLANAS (Faja 3)	
X [m]	Y [m]	Z [m]	N [m]	E [m]
2349599.394	-5402193.869	-2447272.014	7491554.807	3444764.600
2345708.241	-5404440.681	-2446912.881	7491042.521	3449227.727

DISTANCIAS [m]	
GEODESICA (AUX8-AUX9)	4492.275
GEODESICA (AUX9-AUX8)	4492.275
ESPACIAL	4507.573
PLANA GK (Faja 3)	4492.431
TOPOGRÁFICA (AUX8-AUX9)	4495.325
ESPACIAL CORREGIDA	4492.274

?

Altura Espacial Corregida



Altura Espacial Corregida

$$d = \left(\frac{D}{1 + \frac{h_1 + h_2}{2.\sqrt{M_A.N_A}}} \right) . \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta h_{AB}}{D} \right)^2 - \left(\frac{\Delta h_{AB}}{2.\sqrt{M_A.N_A}} \right)^2}$$

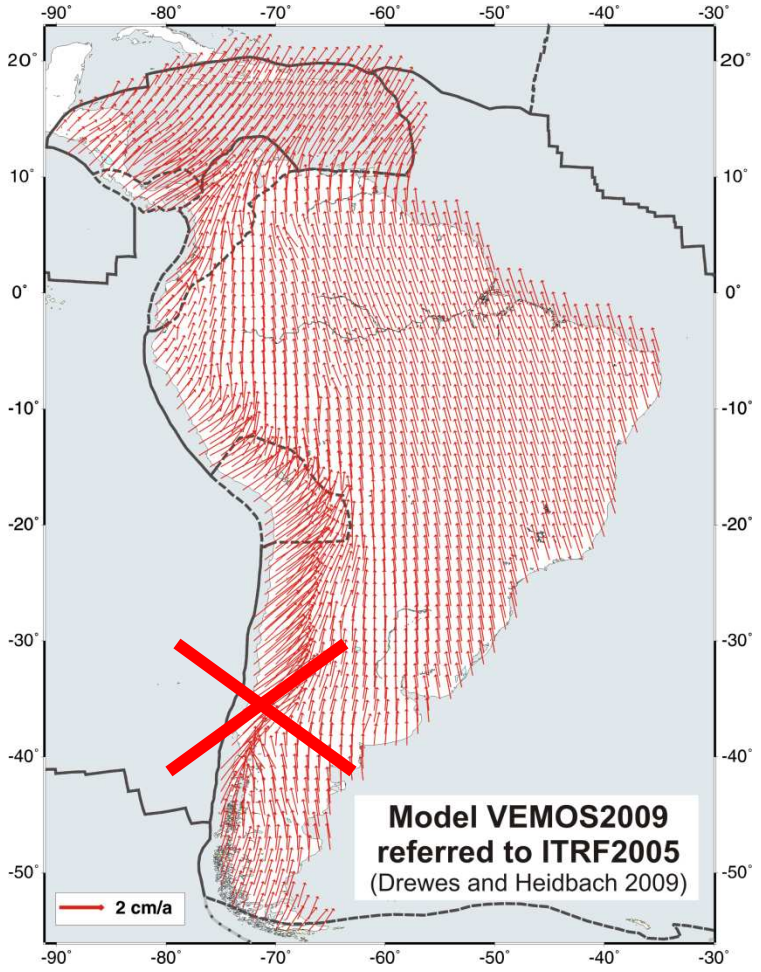
Consideraciones sobre medición de vectores GPS

El Terremoto de Chile y sus Consecuencias Geodésicas en Argentina

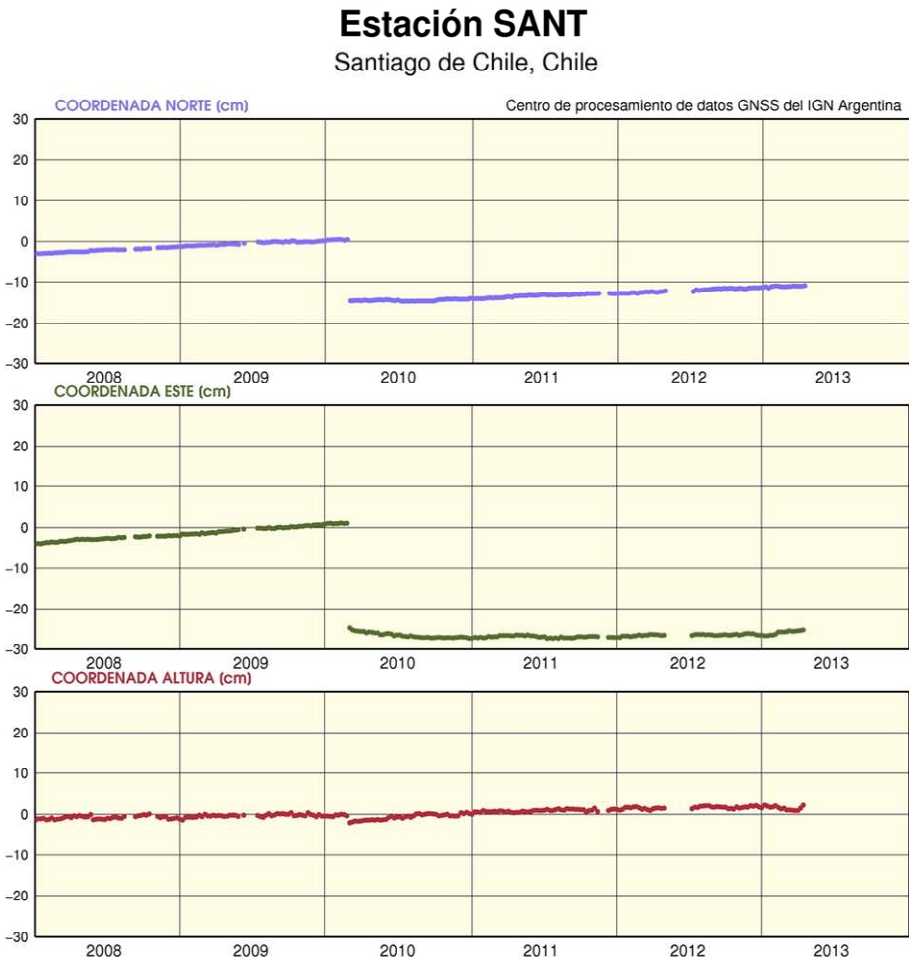
Estación GPS	Ciudad / Localidad	Desplazamiento [m]
CONZ	CONCEPCIÓN (Chile)	3.06
SANT	SANTIAGO (Chile)	0.30
MZAS	SAN RAFAEL (Mendoza - Argentina)	0.22
MZAC	MENDOZA (Mendoza - Argentina)	0.12
MZAE	SANTA ROSA (Mendoza - Argentina)	0.12
MA01	NEUQUÉN (Neuquén - Argentina)	0.09
VALP	VALPARAISO (Valparaíso - Chile)	0.08
LHCL	LIHUÉ CALEL (La Pampa - Argentina)	0.07
SRLP	SANTA ROSA (La Pampa - Argentina)	0.06
CSJ1	VILLA MEDIA AGUA (San Juan - Argentina)	0.05
CSLO	COMPLEJO ASTRONÓMICO EL LEONCITO (San Juan - Argentina)	0.05
UNSJ	SAN JUAN (San Juan - Argentina)	0.04
CFAG	CAUCETE (San Juan - Argentina)	0.04
VBCA	BAHÍA BLANCA - (Buenos Aires - Argentina)	0.03
UCOR	CÓRDOBA (Córdoba - Argentina)	0.03
AZUL	AZUL (Buenos Aires - Argentina)	0.03
UNRO	ROSARIO (Santa Fe - Argentina)	0.03
IGM1	BUENOS AIRES (Buenos Aires - Argentina)	0.02
LPGS	LA PLATA (Buenos Aires - Argentina)	0.02
BCAR	BALCARCE (Buenos Aires - Argentina)	0.02

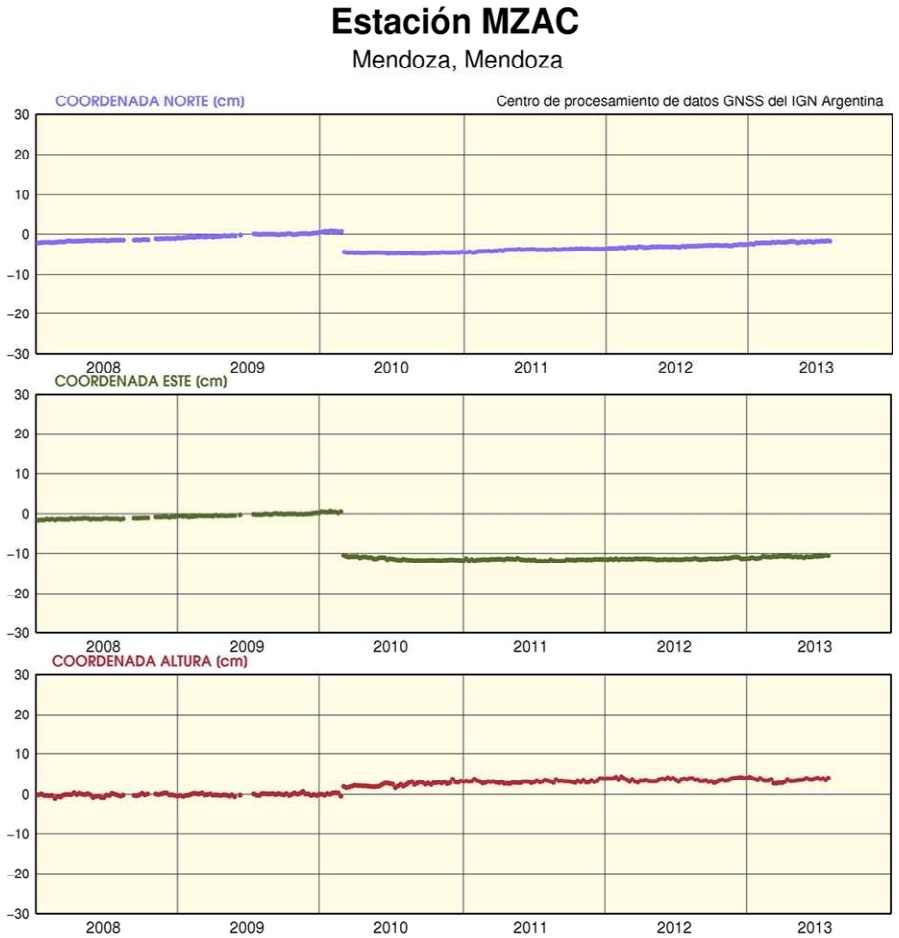
El Terremoto de Chile y sus Consecuencias Geodésicas en Argentina



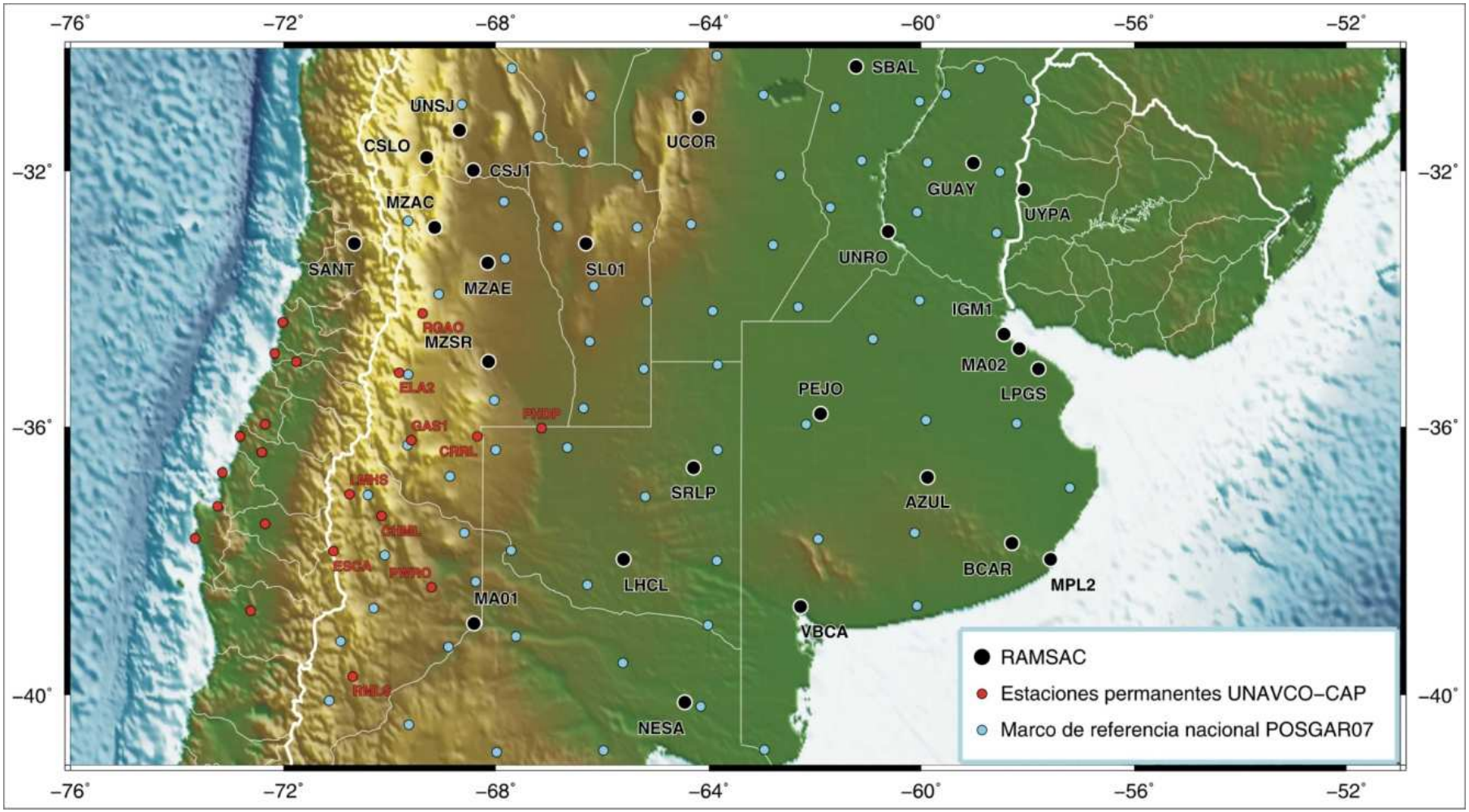


Desplazamientos y deformaciones de la corteza: Situación posterior al sismo

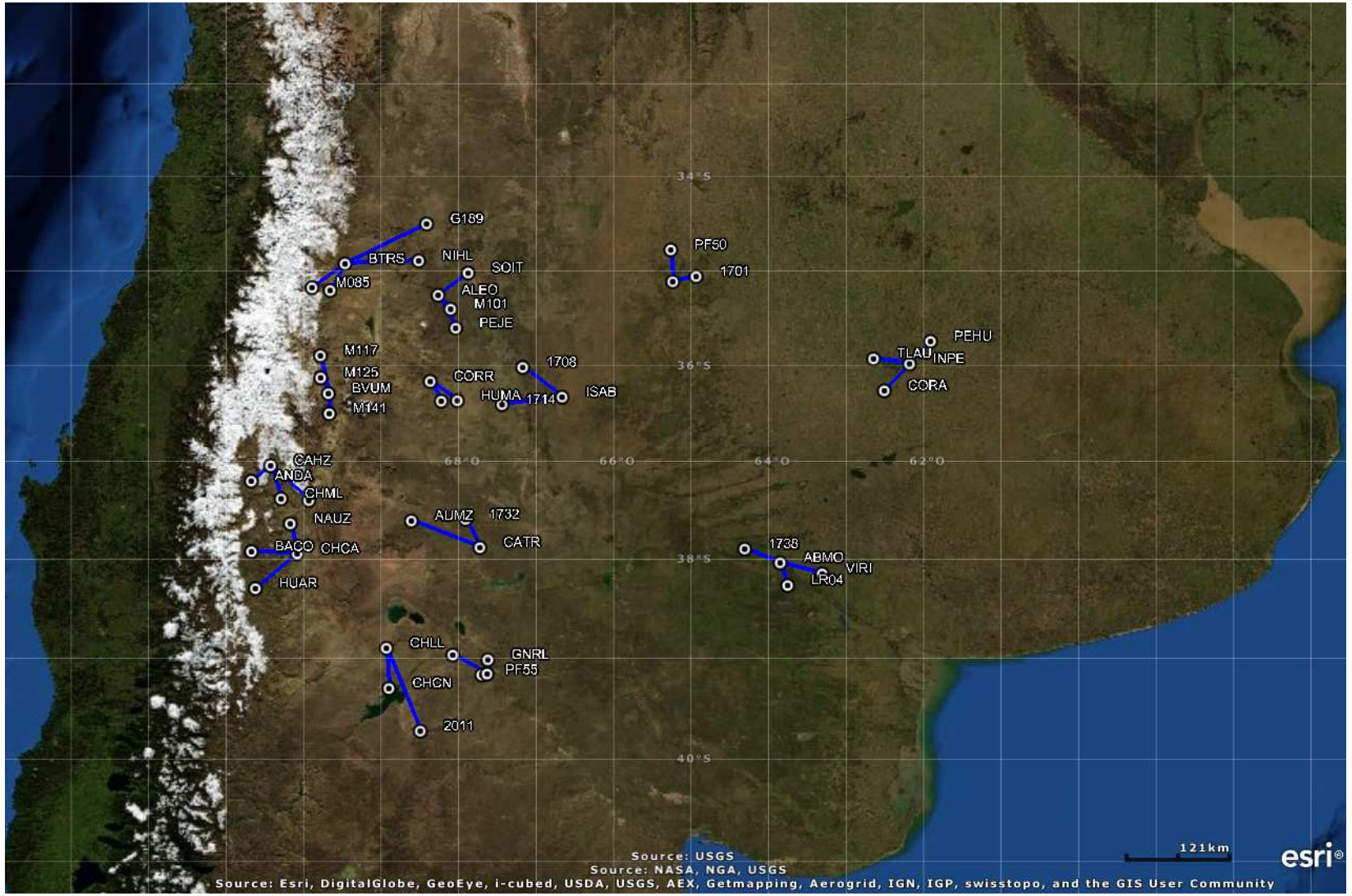




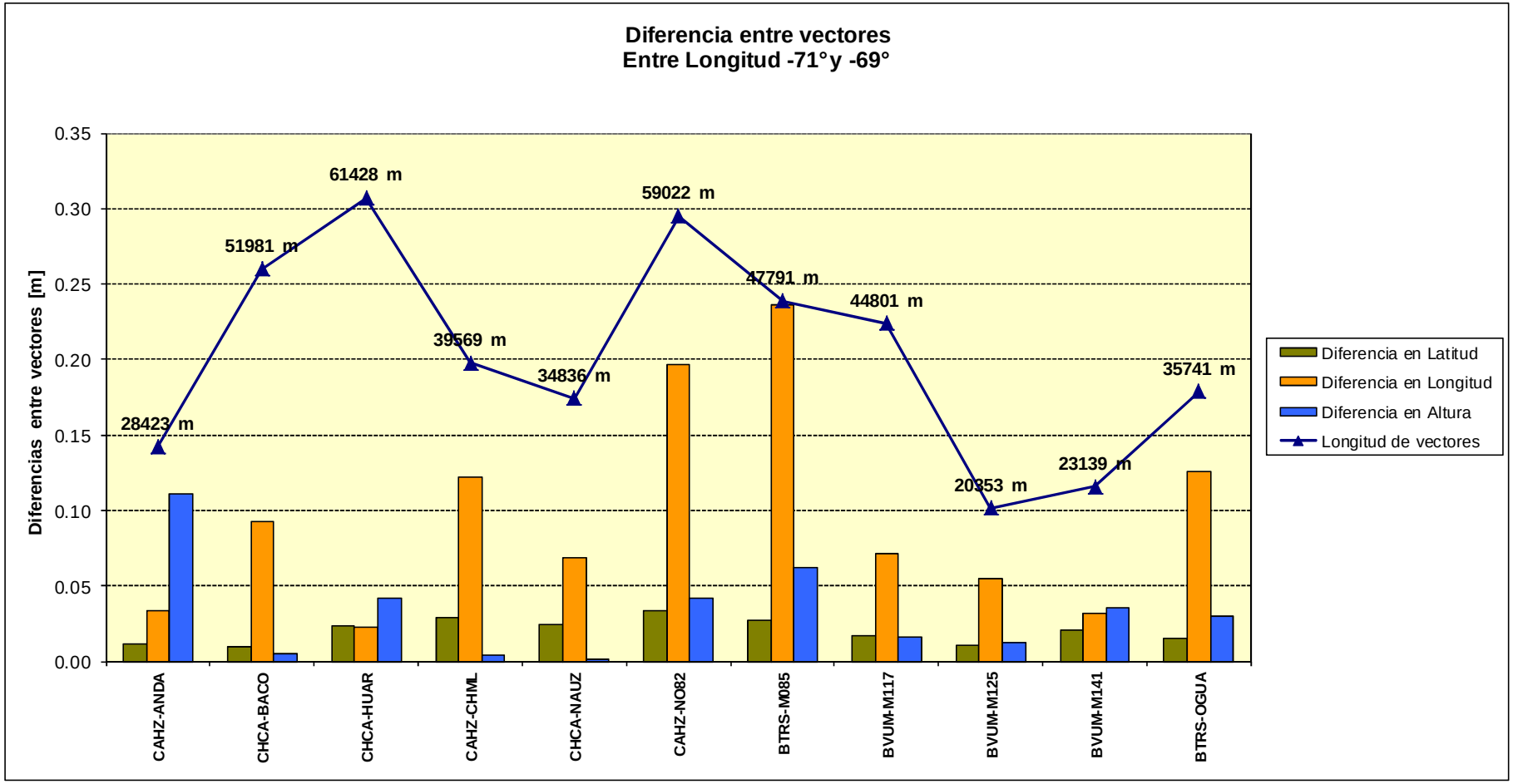
Análisis del Marco POSGAR 07 luego del sismo



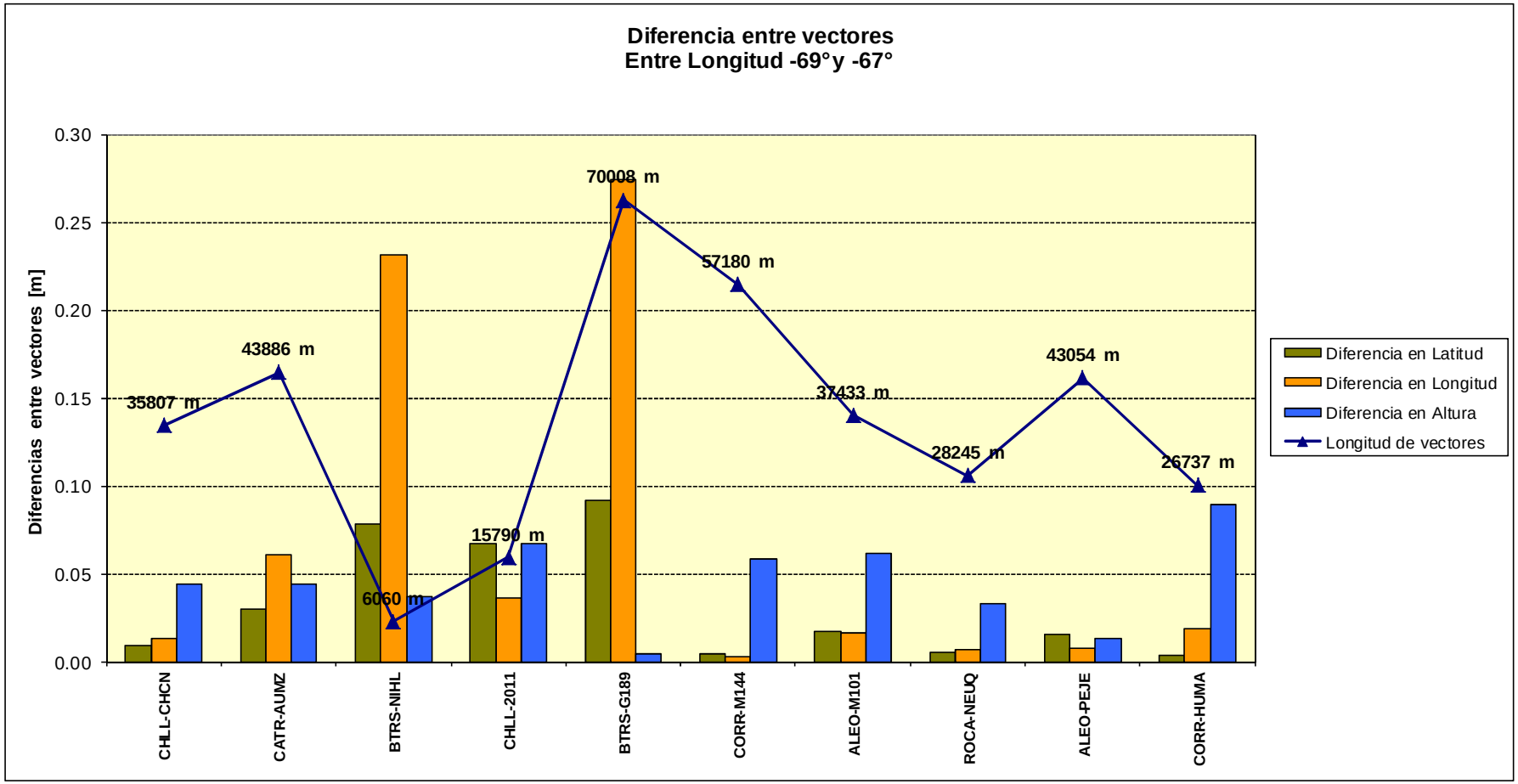
Análisis del Marco POSGAR 07 luego del sismo.



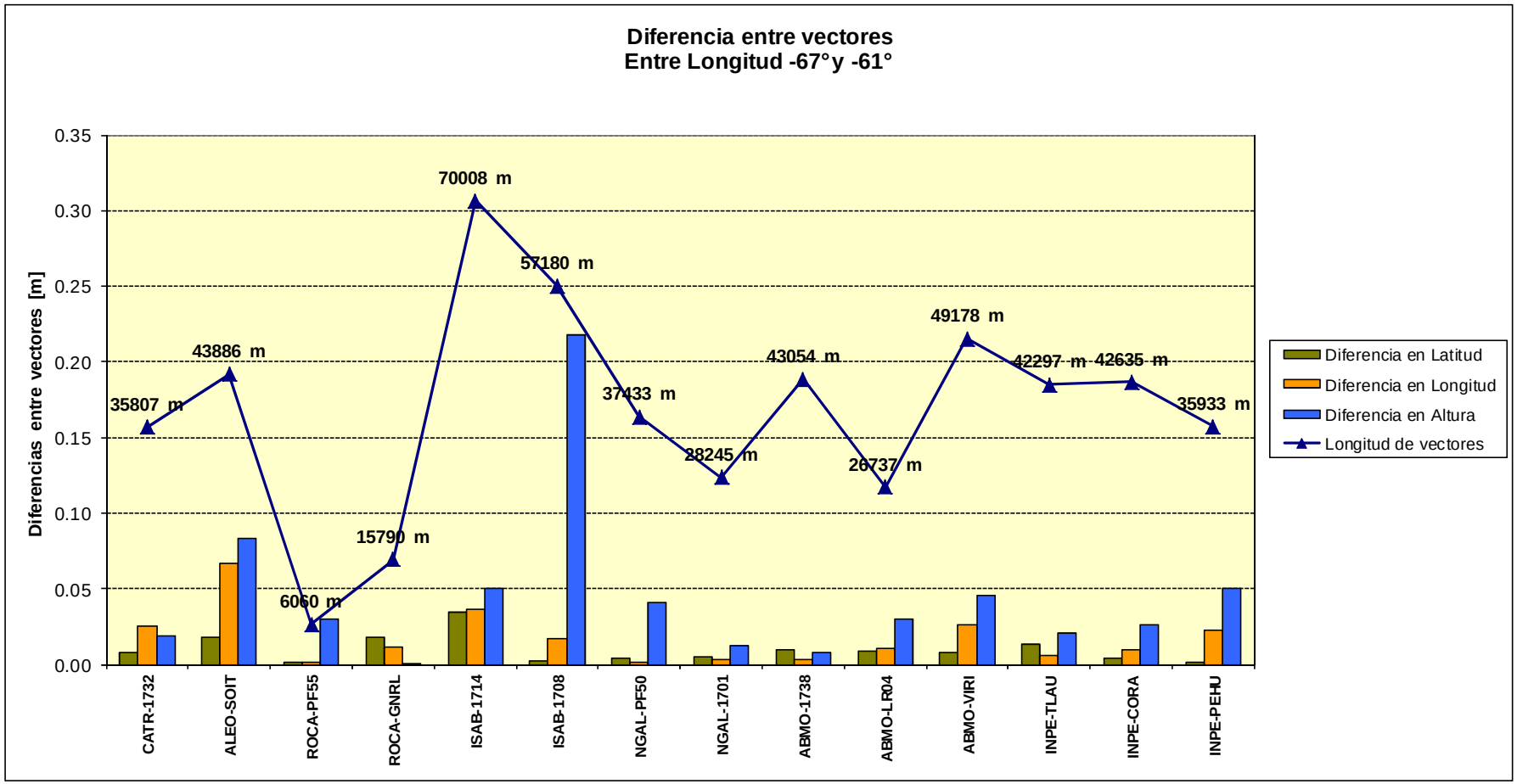
Análisis del Marco POSGAR 07 luego del sismo.



Análisis del Marco POSGAR 07 luego del sismo.



Análisis del Marco POSGAR 07 luego del sismo.



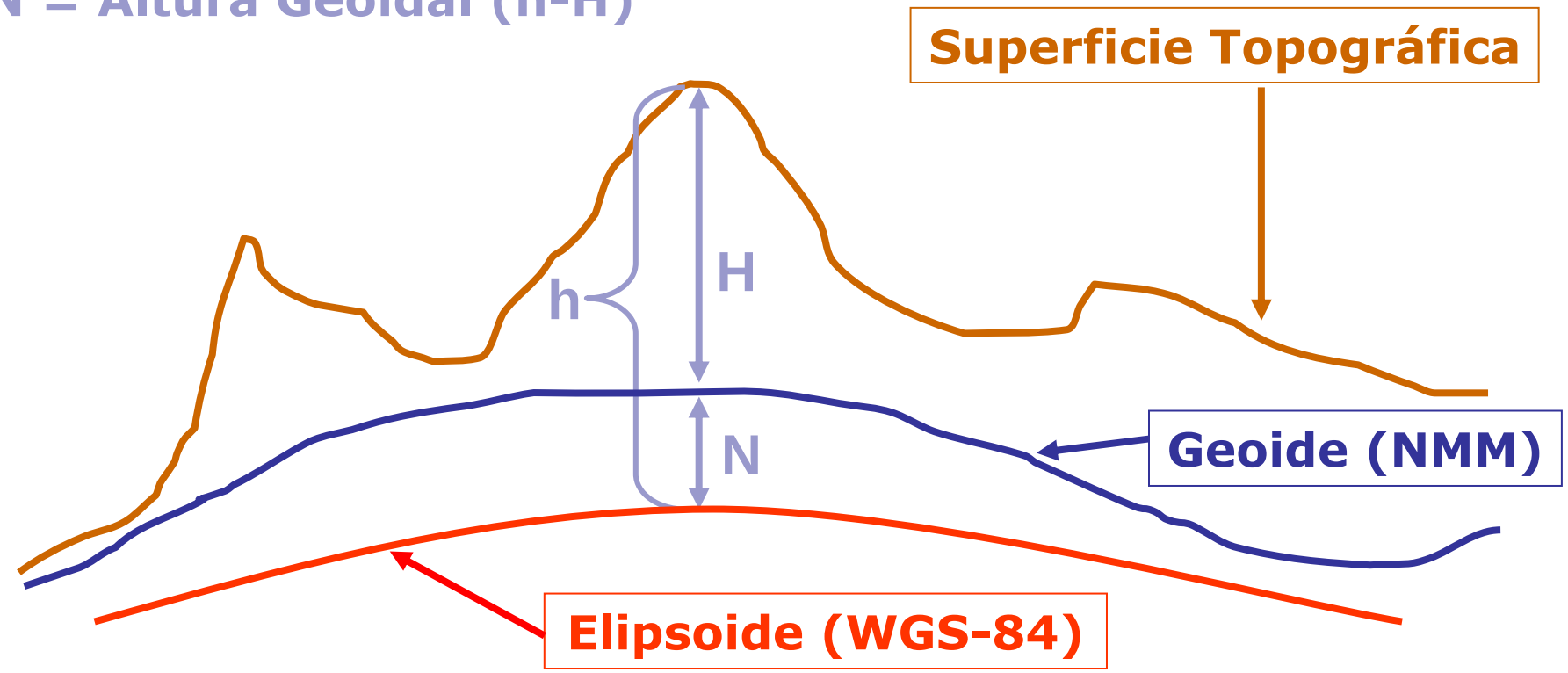
¿Nivelación GPS ?

SISTEMA DE REFERENCIA ALTIMÉTRICO

H = Altura Ortométrica (NMM) Cota

h = Altura Elipsoidal

N = Altura Geoidal (h-H)

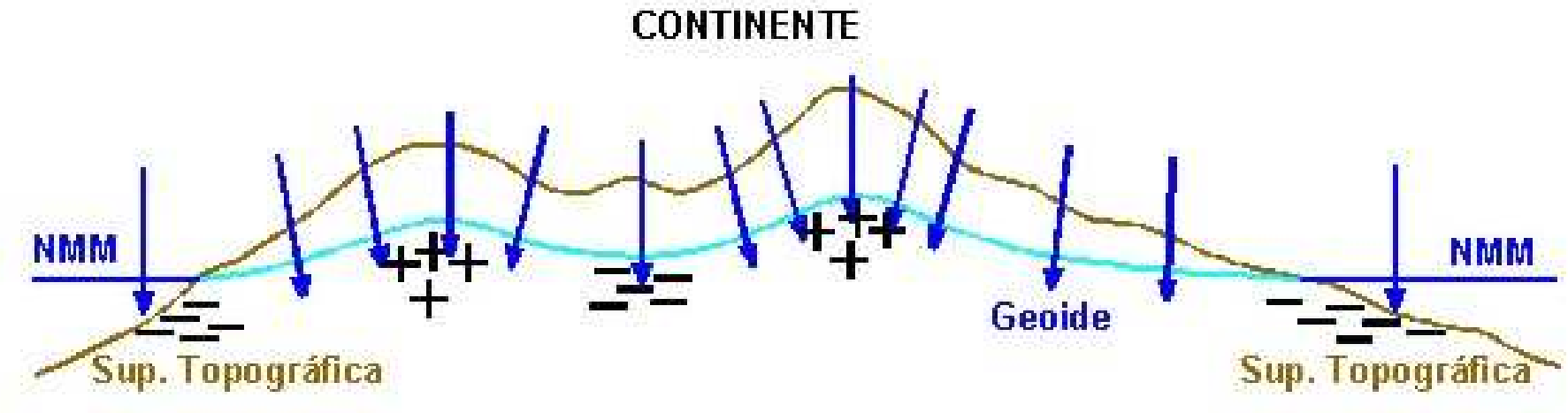


SUPERFICIES DE REFERENCIA ALTIMÉTRICAS

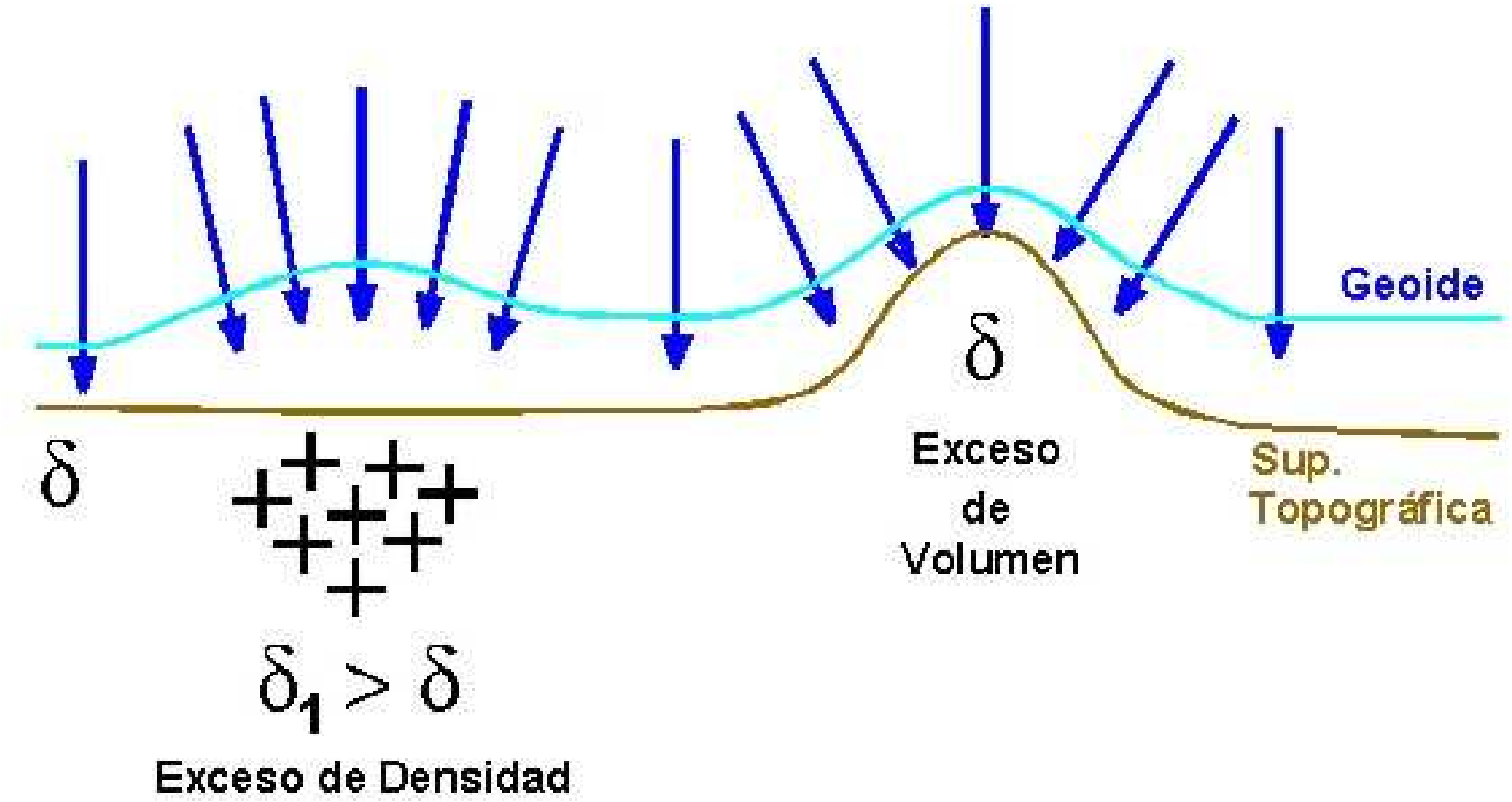
SUPERFICIES DE REFERENCIA ALTIMÉTRICA

- **GEOIDE (Cotas)**
- **ELIPSOIDE (Alturas)**

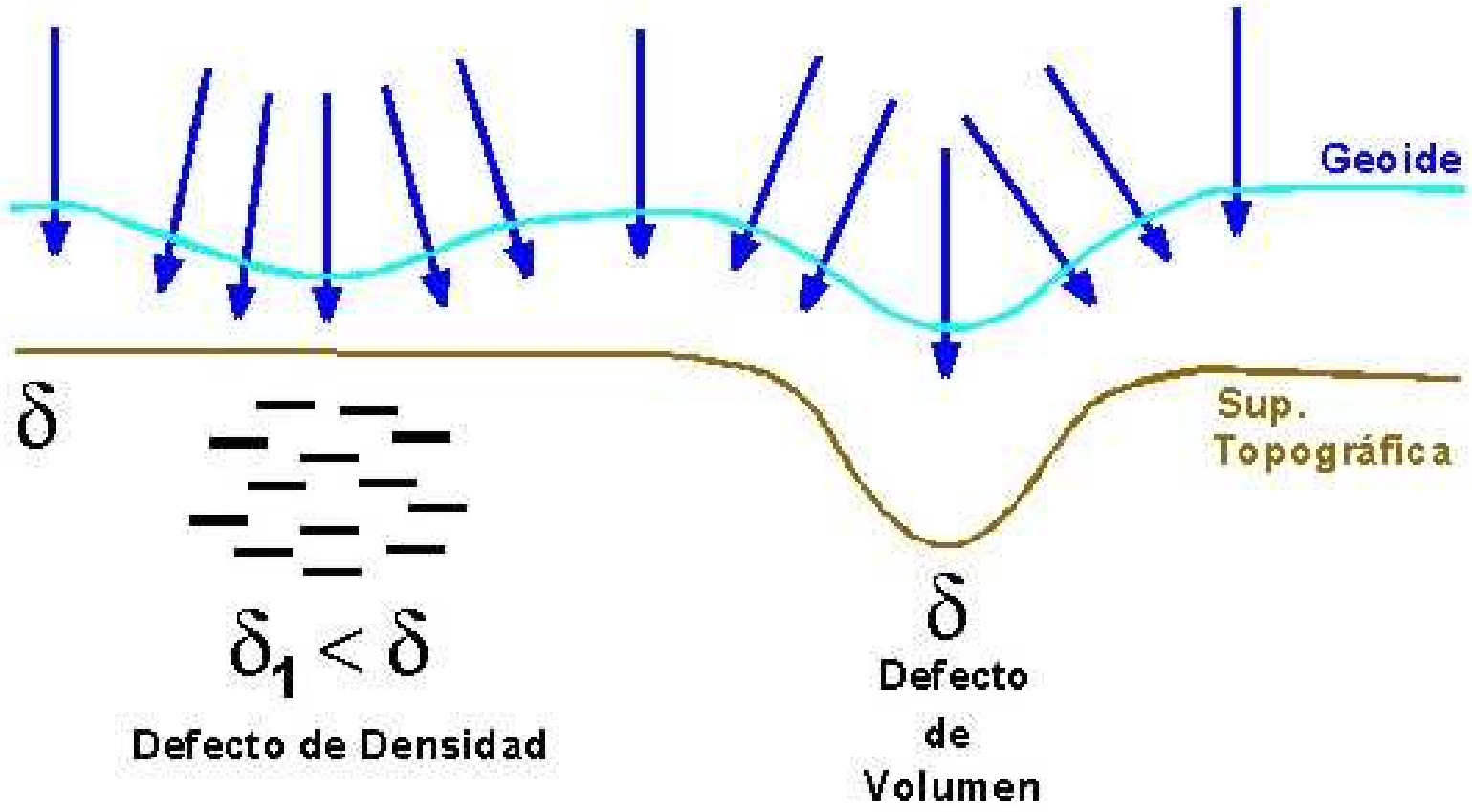
SUPERFICIE TOPOGRÁFICA Y GEOIDE



VERTICAL DEL LUGAR

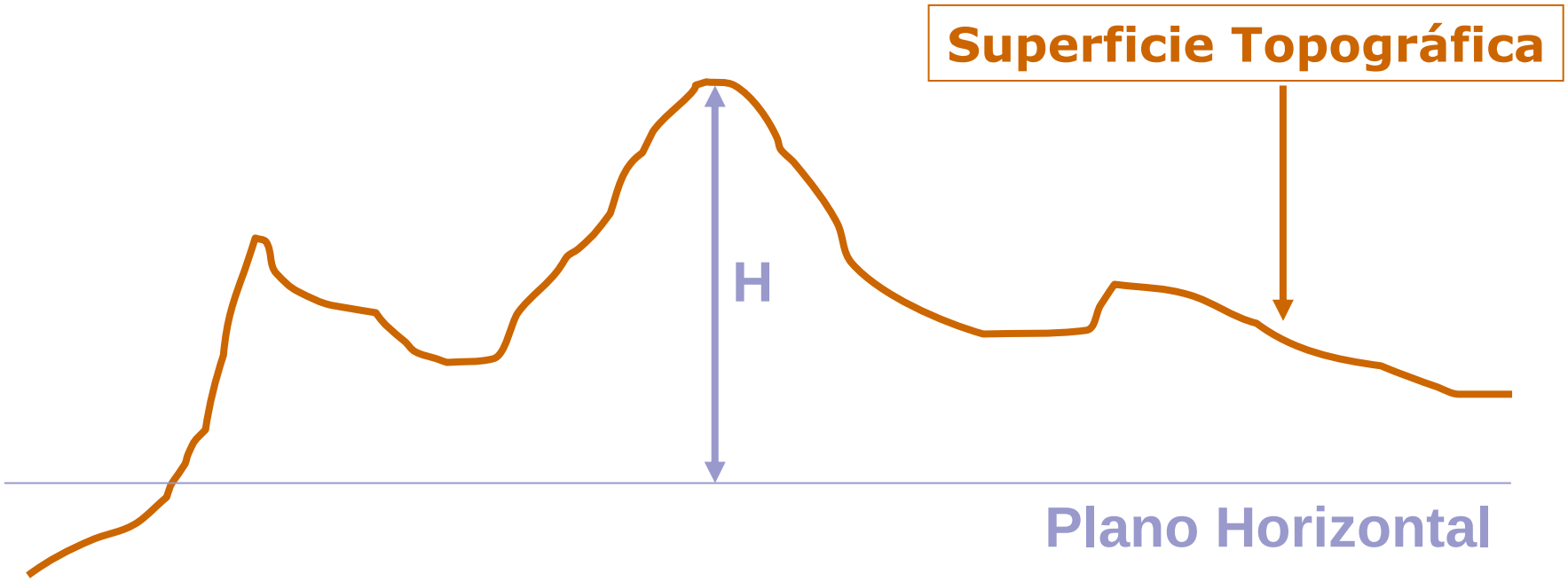


VERTICAL DEL LUGAR

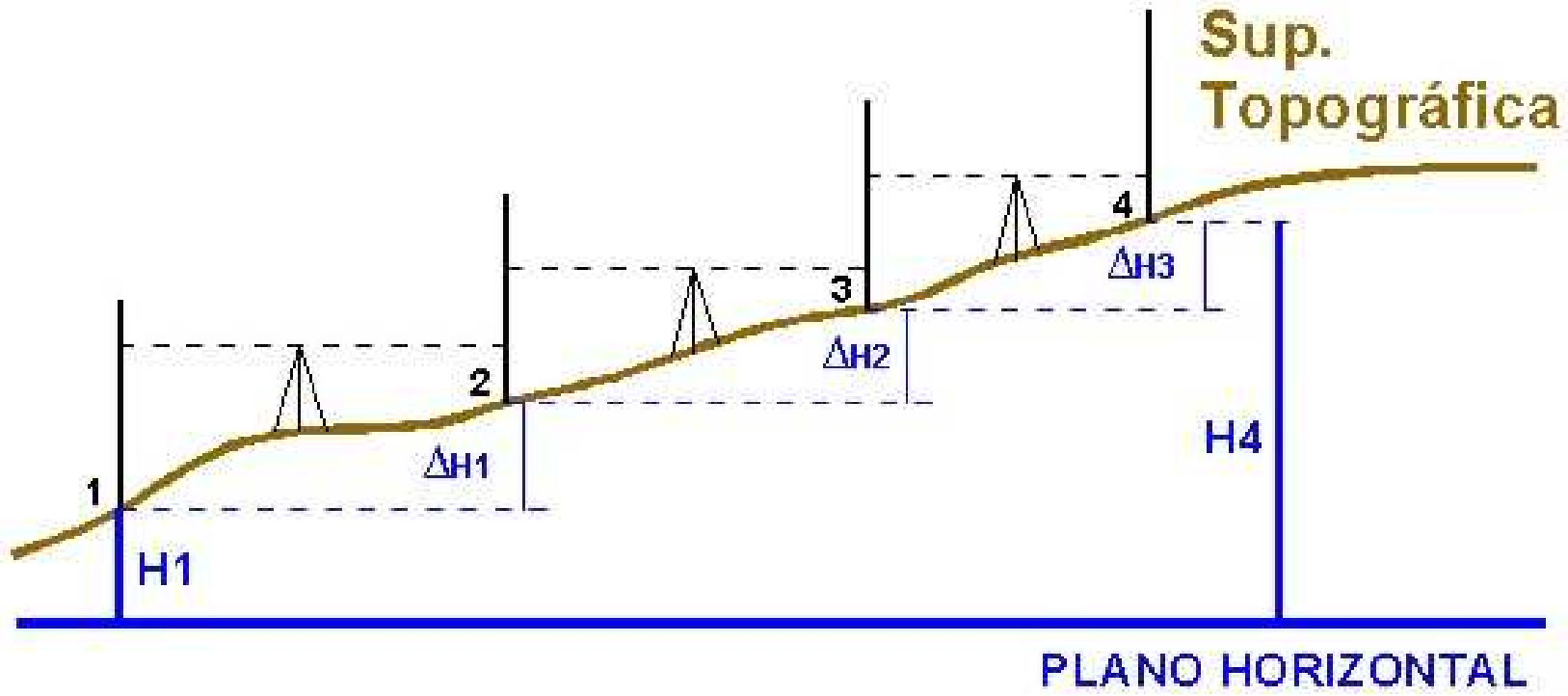


ALTURA GEOMÉTRICA

H = Altura Geométrica (NMM) Cota

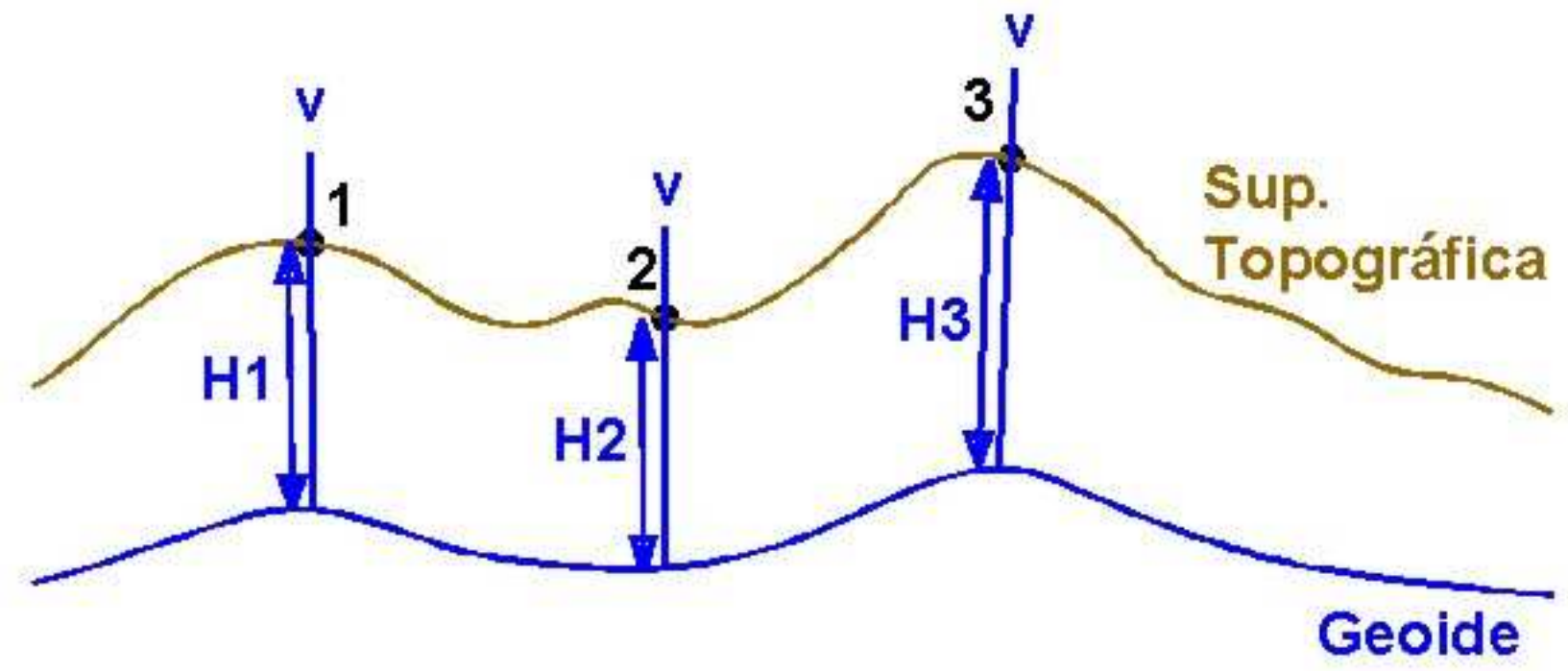


DESNIVEL GEOMÉTRICO

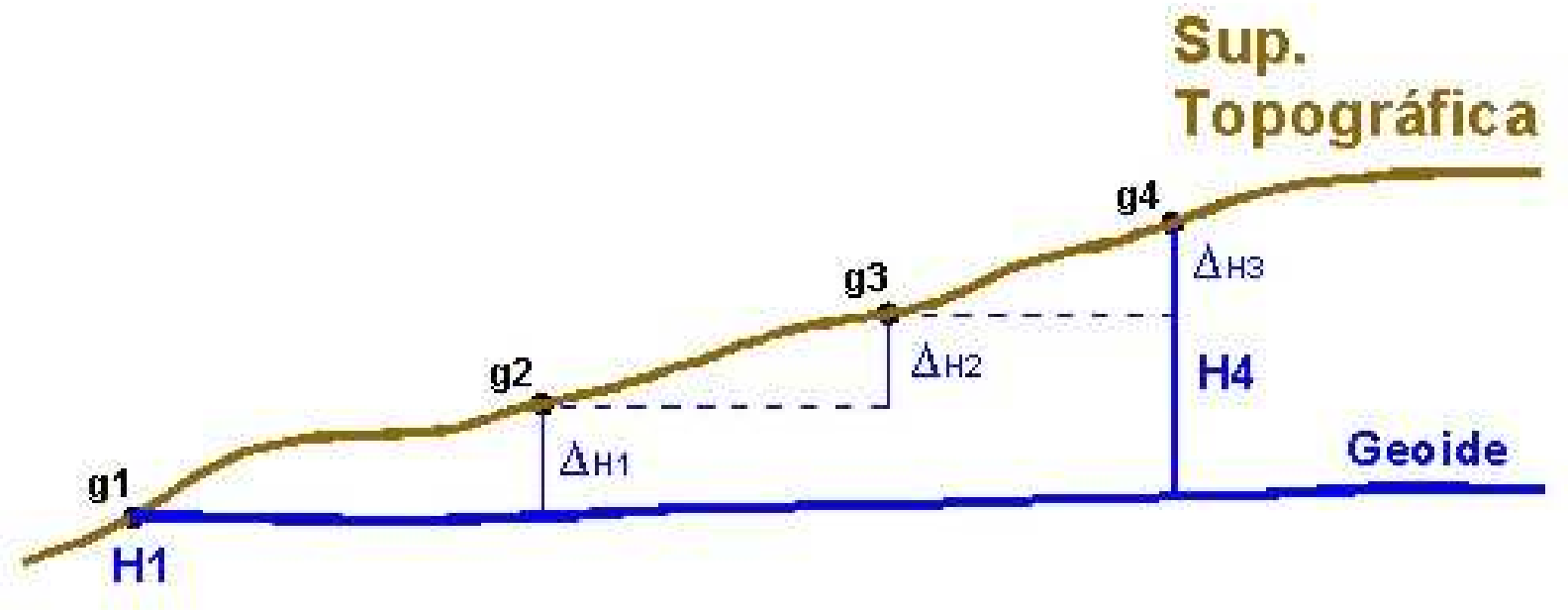


$$H4 = H1 + \Delta H1 + \Delta H2 + \Delta H3$$

COTA ORTOMÉTRICA



CÁLCULO DE LA COTA ORTOMÉTRICA

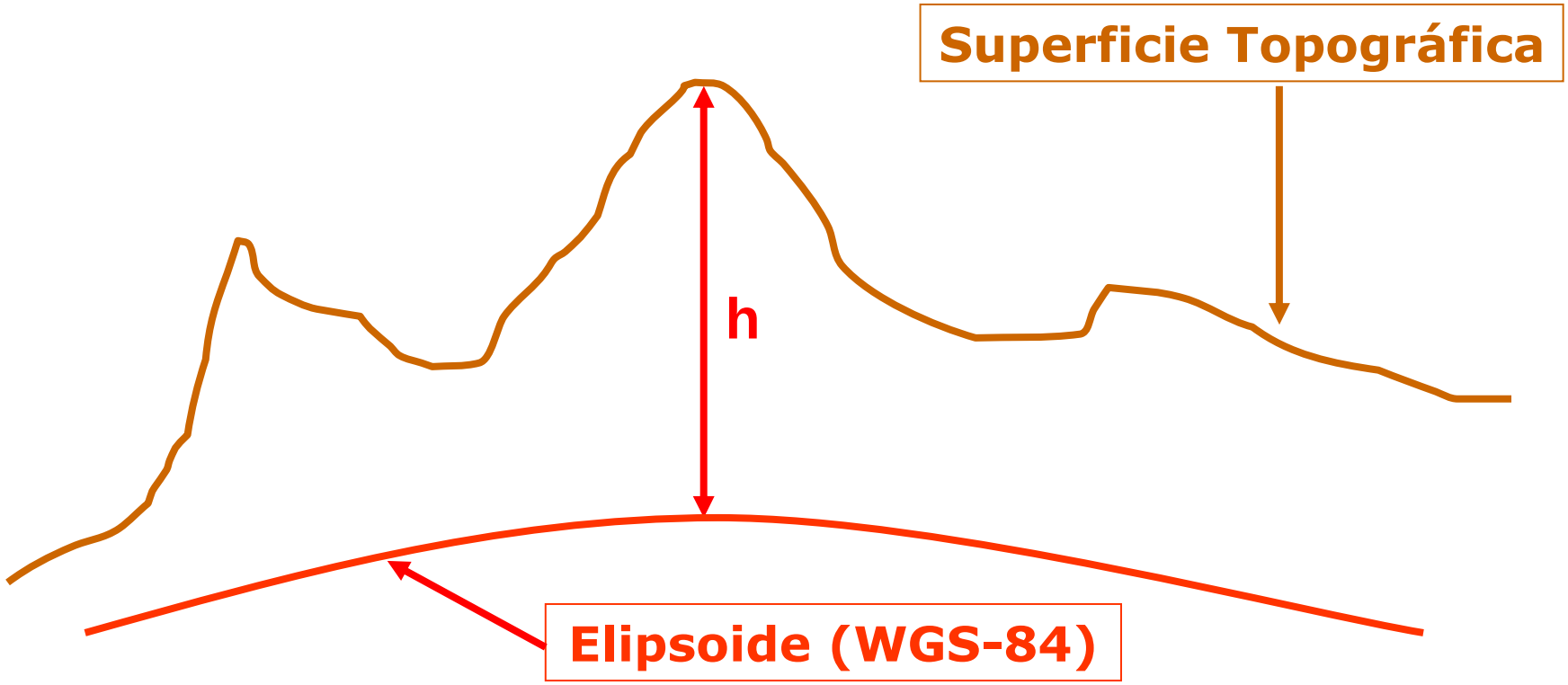


$$H4 = H1 + (\sum g_i \text{ prom} * \Delta H_i) / GM$$

$$GM = g4 + 0.3086 * (H4/2) - 0.1119 * H4$$

ALTURA ELIPSOIDAL

h = Altura Elipsoidal



ALTURAS

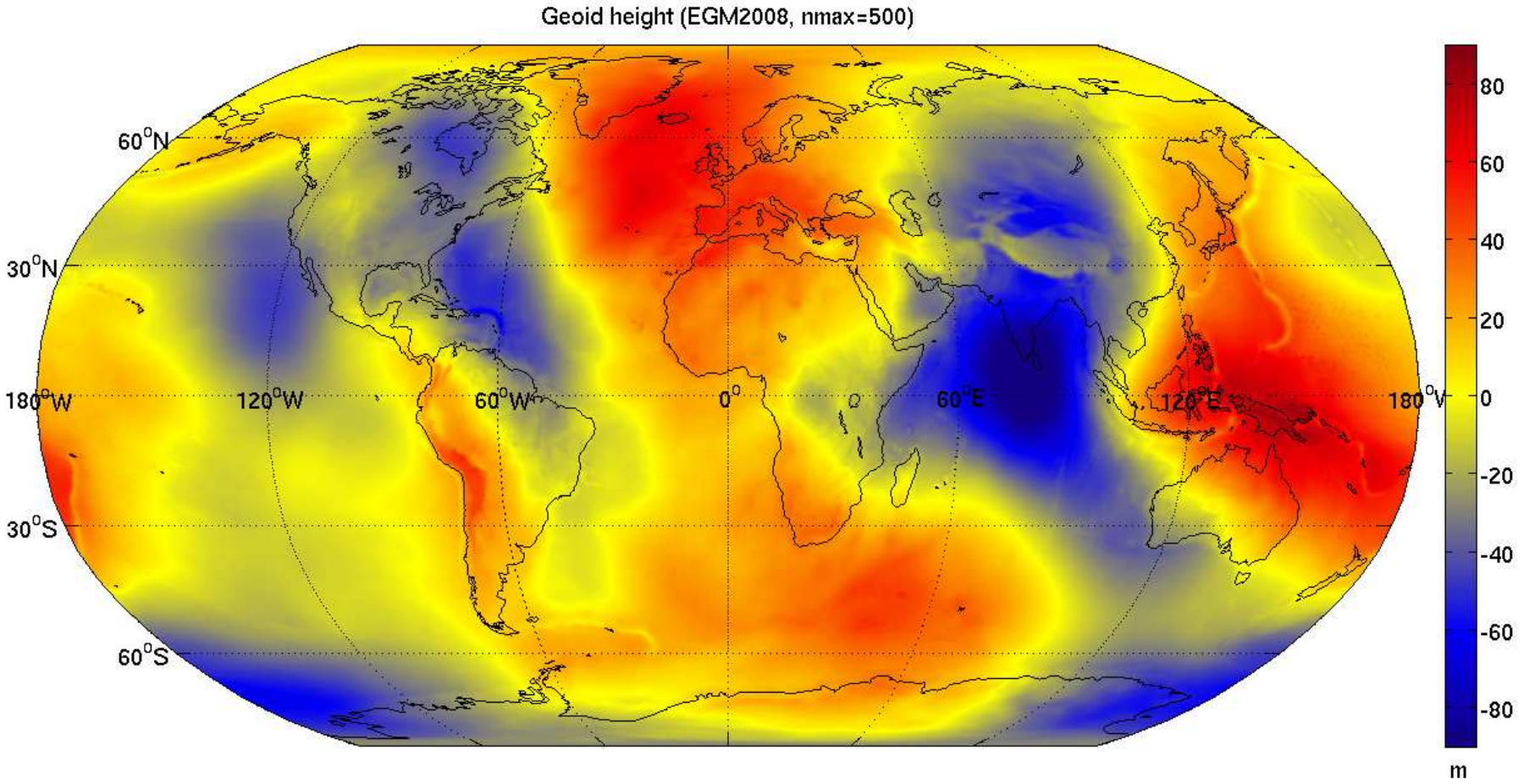
RESPECTO DEL GEOIDE ⇒ ORTOMÉTRICA

RESPECTO DEL ELIPSOIDE ⇒ ELIPSOIDAL

DIFERENCIA ENTRE
AMBAS ALTURAS ⇒ **ONDULACIÓN DEL GEOIDE (N)**

$$N = h - H$$

MODELO DE GEOIDE



SABEMOS QUE :

$$\mathbf{N = h - H}$$

SI MEDIMOS “h” EN PUNTOS DE “N” CONOCIDO :

$$\mathbf{H = h - N}$$

PRECISIÓN DE H = f (PRECISIÓN de h y N)

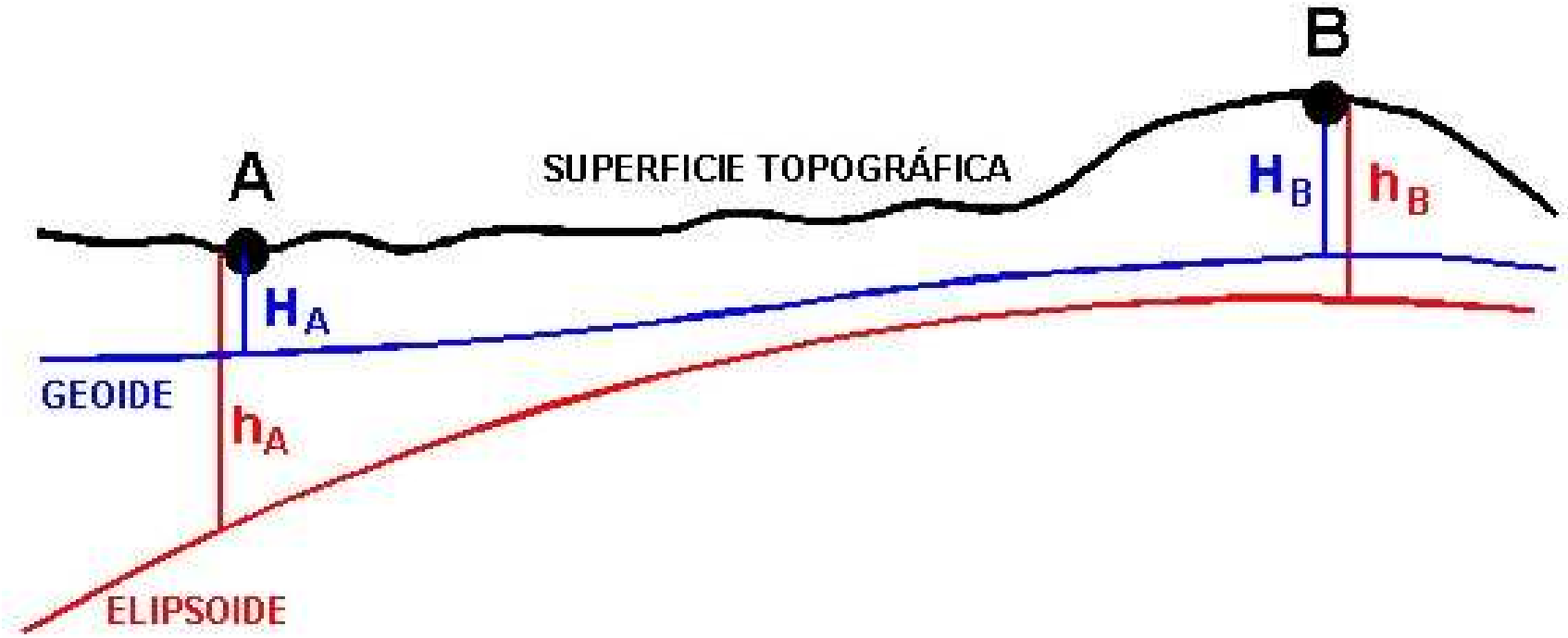
VERDADERO DESNIVEL $\Rightarrow$ DIFERENCIA DE ALTURAS ORTOMÉTRICAS

VERDADERO DESNIVEL $\neq$ DIFERENCIA DE ALTURAS ELIPSOIDALES

CAUSA

- EL GEOIDE ACOMPAÑA LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO
- EL ELIPSOIDE NO ACOMPAÑA LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO

DIFERENCIAS DE SUPERFICIES



$H_B - H_A > 0$ $h_B - h_A < 0$

¡¡Muchas Gracias!!

Agustín Raffo - araffo@ign.gob.ar
Hernán Guagni - hguagni@ign.gob.ar