

# Sistemas de Referencia Terrestres



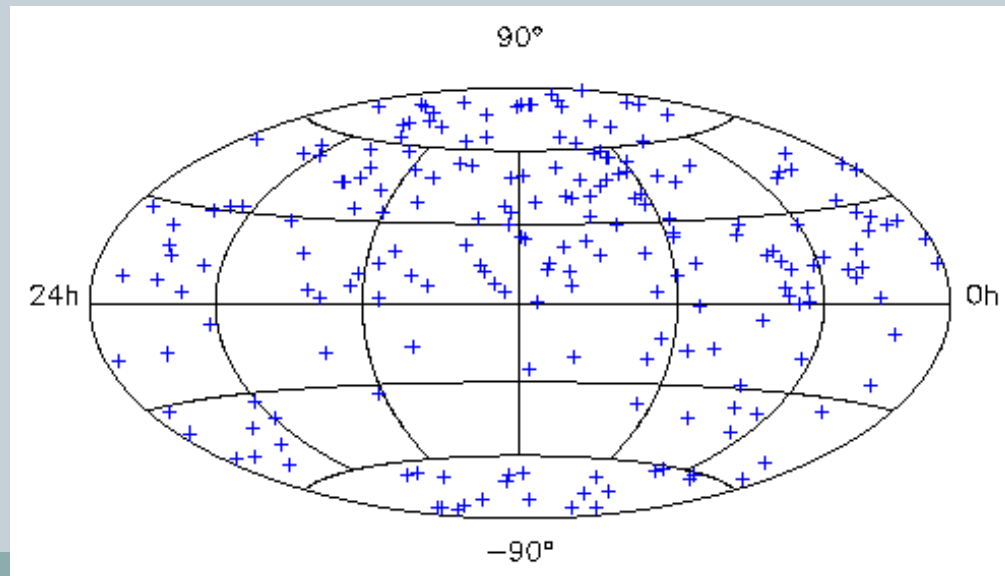
**MARIA EUGENIA GOMEZ**

**Email: [megomez@fcaglp.unlp.edu.ar](mailto:megomez@fcaglp.unlp.edu.ar)**

# Repaso Sistema Celeste



- EL ICRS está materializado por coordenadas precisas de radiofuentes extragalácticas observadas con VLBI. EL IERS, la IAU y el IVS se encargan de su mantenimiento.
- ICRF compuesto por 608 coordenadas J2000.0 de radiofuentes, de las cuales solo 212 materializan el marco; 294 son candidatos por no tener observaciones suficientes para materializar el marco y 102 tienen posiciones tan variables que solo sirven a los fines de densificación en el **visible**.



# Lista de objetos



- (1) ICRF Designations, constructed from J2000.0 coordinates with the format ICRF JHHMMSS.s+DDMMSS or ICRF JHHMMSS.s-DDMMSS. They follow the recommendations of the IAU Task Group on Designations.
- (2) IERS Designations, previously constructed from B1950 coordinates. The complete format, including acronym and epoch in addition to the coordinates, is IERS BHHMM+DDd or IERS BHHMM-DDd
- (3) c: Category of the source: [D]efining, [C]andidate, [O]ther  
 X: Structure index at X band  
 S: Structure index at S band  
 H: Asterisk indicates that the source serves to link the Hipparcos stellar reference frame to the ICRS.
- (4) Number of pairs of delay and delay rate observations.

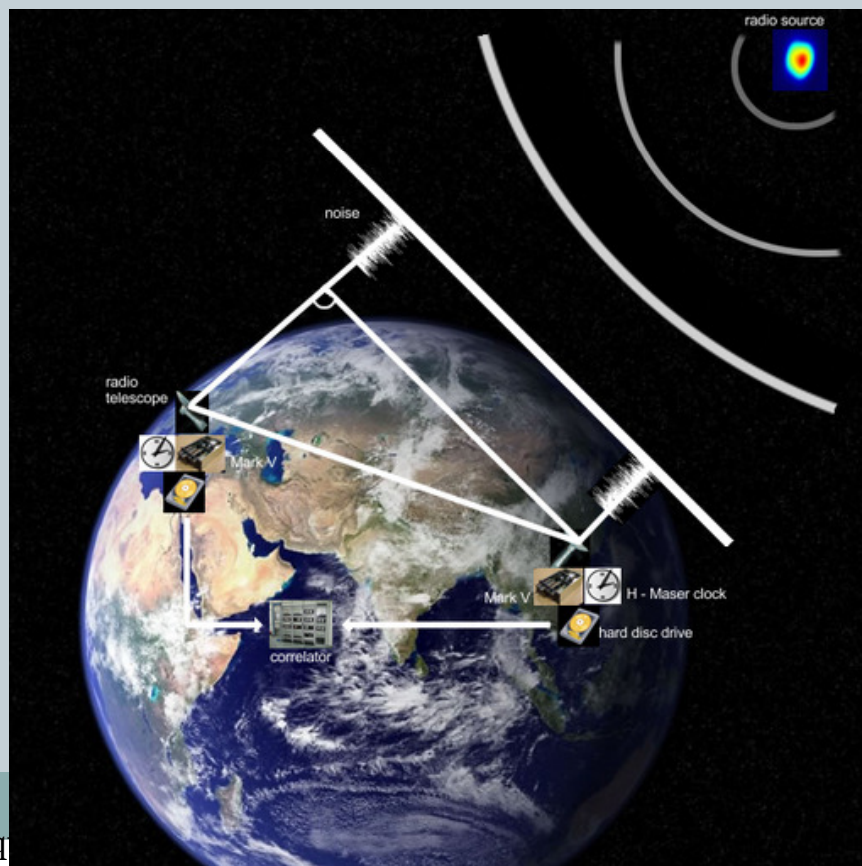
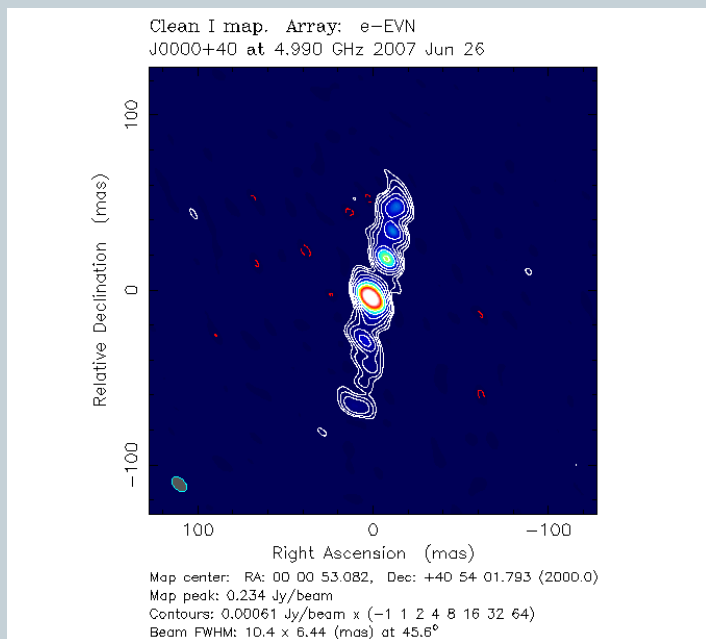
Coordinates of the 212 defining sources in ICRF

ICRF Designation (1)	IERS Des. (2)	Inf. (3)	Right Ascension J2000.0	Declination J2000.0	Uncertainty R.A.	Corr. RA-Dc	Mean MJD	First MJD	Last MJD	Nb sess.	Nb del. (4)	
		X S H	h m s	o ' "	s "		of observation span					
ICRF J000557.1+382015	0003+380		0 5 57.175409	38 20 15.14857	0.000041	0.000051	-.041	49087.0	48720.9	49554.8	2	41
ICRF J001031.0+105829	0007+106		0 10 31.005888	10 58 29.50412	0.000032	0.000068	.540	47938.9	47288.7	49690.0	10	74
ICRF J001033.9+172418	0007+171		0 10 33.990619	17 24 18.76135	0.000021	0.000035	-.402	48730.8	47931.6	49662.8	19	57
ICRF J001331.1+405137	0010+405	2 1	0 13 31.130213	40 51 37.14407	0.000026	0.000034	-.038	49549.6	48434.7	49820.5	7	219
ICRF J001708.4+813508	0014+813		0 17 8.474953	81 35 8.13633	0.000121	0.000026	.012	49505.2	47023.7	49924.8	78	1453
ICRF J004204.5+232001	0039+230		0 42 4.545183	23 20 1.06129	0.000036	0.000060	.090	48898.1	48328.5	49533.8	3	44
ICRF J004959.4-573827	0047-579		0 49 59.473091	-57 38 27.33992	0.000047	0.000053	.298	48697.0	47626.5	49407.6	13	46
ICRF J011205.8+224438	0109+224	*	1 12 5.824718	22 44 38.78619	0.000027	0.000049	.082	48733.1	48434.7	49736.9	7	97
ICRF J012642.7+255901	0123+257		1 26 42.792631	25 59 1.30079	0.000030	0.000054	.167	48856.4	48328.5	49659.8	4	71
ICRF J013305.7-520003	0131-522		1 33 5.762585	-52 0 3.94693	0.000049	0.000081	.399	49039.1	48162.4	49895.6	6	30
ICRF J013658.5+475128	0133+475	2 2	1 36 58.504810	47 51 28.10006	0.000026	0.000027	.021	48628.0	45138.8	49750.8	100	2106

<http://hpiers.obspm.fr/webiers/icrf/icrf.html>



Luego del proceso de correlación cruzada, la distancia entre ambas estaciones puede determinarse con exactitud de milímetros. Esto permite determinar cambios producidos por mareas, o tectónica con gran exactitud. En Astrometría se utiliza la técnica para medir direcciones a los astros y otros estudios.



<http://www.expres-eu.org/PHOTOS/CSO.png>

<http://www.gfz-potsdam.de/en/section/space-geodetic-techniq>

# Sistema Celeste → Sistema Terrestre



**Del ICRS al ITRS (Modelo IAU 1980)**

$$[\text{ITRS}] = R_y(-x)R_x(-y)R_z(\text{GAST})\text{NP}[\text{J2000.0}]$$

(x,y) coordenadas del polo

GAST: tiempo sidéreo aparente en Greenwich

NP: nutación-precesión

- concepción dinámica del problema
- algunos efectos no están debidamente separados. Por ejemplo, en la rotación por GAST están incluidas la rotación terrestre, la precesión y la nutación.
- No tiene en consideración efectos de alta frecuencia.
- El origen,  $\gamma$ , se mueve sobre el ecuador.
- Asume que ICRS es casi coincidente con J2000.0

## Consolidación del marco de referencia internacional (ITRF) - Concepto de geodesia 4D.

\* Los sistemas referencia terrestre y celeste, y los parámetros que los relacionan (matrices de rotación) son realizados y mantenidos por el **IERS**.



International Earth Rotation and Reference Systems Service



38493849803099389398411238903478346  
278828... 2028171828... 7265314869  
... 72276278264  
... 648... 31... 3... 2

[IERS HOME](#)

[ORGANIZATION](#)

[DATA / PRODUCTS](#)

[PUBLICATIONS](#)

[SCIENCE BACKGROUND](#)

[NEWS / MEETINGS](#)

### DATA / PRODUCTS

- Earth orientation data
- Conventions
- ICRF
- ICRS
- ITRF
- ITRS
- Geophysical fluids data

- IERS Components
- FAQs

### [DATA / PRODUCTS](#)

## IERS Data and Products

### ICRF / ICRS

The International Celestial Reference Frame (ICRF) consists of equatorial coordinates of extragalactic radio sources observed with VLBI, realizing an ideal reference system, the International Celestial Reference System (ICRS).

[ICRF](#) [ICRS](#)

### ITRF / ITRS

The International Terrestrial Reference Frame (ITRF) is a set of points with their 3-dimensional cartesian coordinates which realize an ideal reference system, the International Terrestrial Reference System (ITRS).

[ITRF](#) [ITRS](#)

### Geophysical Fluids Data

Global geophysical fluids data provide information related to Earth rotation and geocenter motion that are caused by mass transports in the global geophysical fluids (atmosphere, oceans, hydrology, tides, mantle, core).

[more..](#)

<http://www.iers.org/MainDisp.csl?pid=34-8>



[http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=Co4&lang=en#eop\\_sel](http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/index.php?index=Co4&lang=en#eop_sel)

- a) Por qué es necesario vincular las coordenadas de un sistema fijo a la Tierra, con las coordenadas en
- b) ¿Indique a qué corresponde la serie de parámetros C04?

# Marcos de referencia terrestres



- Marcos locales
- Marcos globales

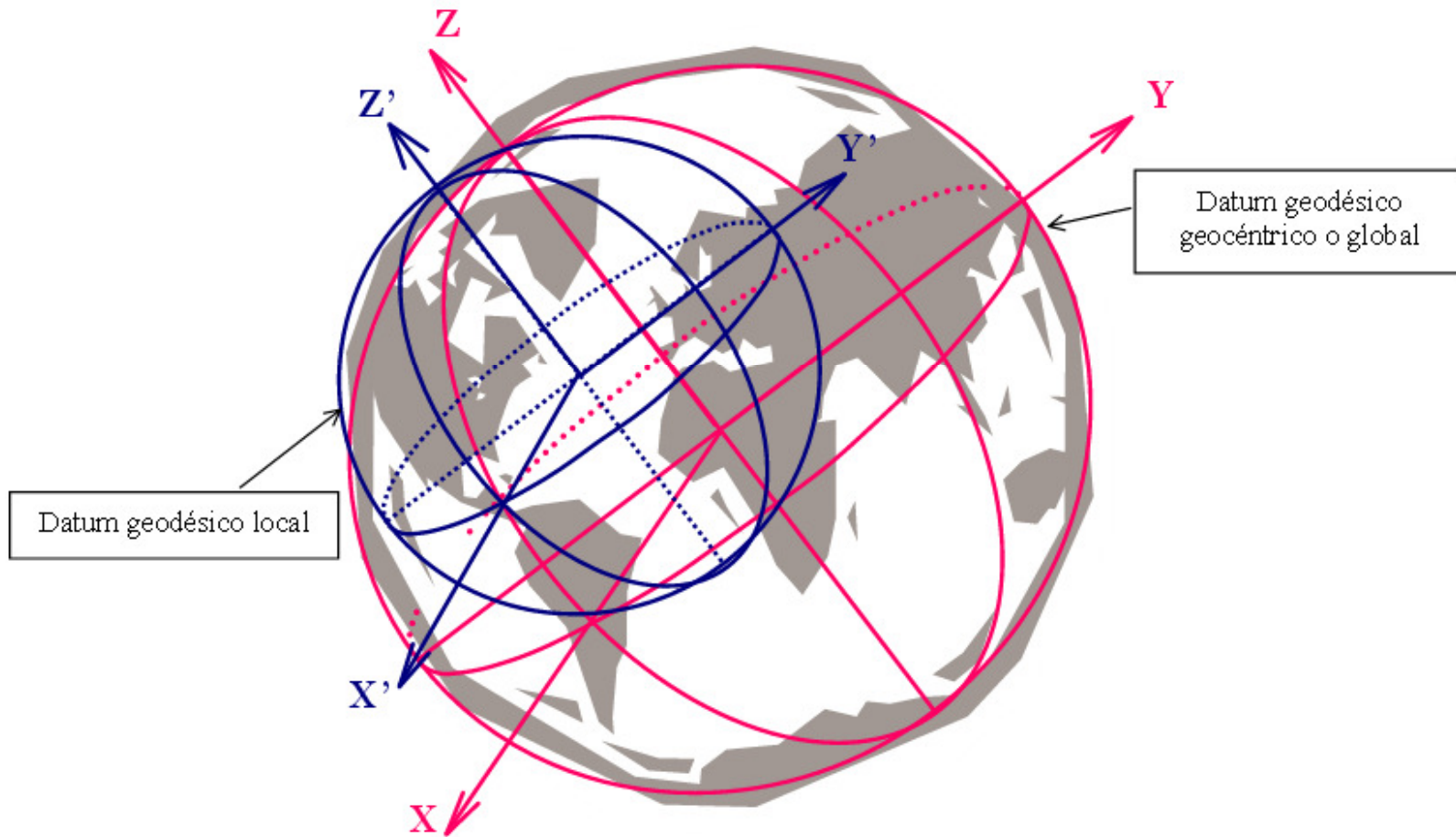
*Marcos locales:* Campo Inchauspe, SAD69, PSAD56

Apoyados, en la muchos casos, sobre el Elipsoide de Hayford (int. de 1924).

Requieren la definición de un punto de origen o datum local. Se apoyan en un elipsoide de parámetros globales de manera que ajuste de la mejor manera posible a nivel local.

<http://monde-geospatial.com/what-are-geodetic-datums/>





<http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/4b831c00469f7616afeebf923ecdf8fe/adopcion.pdf?MOD=AJPERES>



Era un punto en el cual se suponía que elipsoide y geoide coincidían o bien era conocida la ondulación geoidal junto con la desviación de la vertical en el punto de origen.

La determinación de la altura (s.n.m.m) de un punto era independiente de la determinación de sus coordenadas locales, latitud y longitud.

Existen parámetros que vinculan sistemas locales con globales



**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	$\Delta a(m)$	$\Delta f \times 10^4$		Cycle Number	Pub. Date	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta Z(m)$
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

Correcciones en el sentido WGS84-local

# Definición actual de un sistema de referencia terrestre moderno

ITRS: constituye un set de convenciones conjuntamente con el modelado necesario para la definición del origen, escala, orientación y **evolución temporal (4D)**.

- ✓ Origen: centro de masas de la Tierra incluyendo a los océanos y la atmosfera
- ✓ Escala: el metro (SI) es la unidad de medida. Consistente con las resoluciones IAU y IUGG (1991). Obtenida mediante modelos relativísticos.
- ✓ Orientación: eje Z próximo al eje instantáneo de rotación
- ✓ La evolución temporal de la orientación se garantiza mediante una condición de NNR (no net rotation) con respecto a movimientos tectónicos horizontales sobre toda la tierra.

ITRF: representa la realización del ITRS. Esta constituido por las coordenadas y velocidades de un conjunto de estaciones las que involucran distintas técnicas de observación (GPS, Doris, VLBI, SLR, LLR)

Cada realización del ITRS se denota como ITRF<sub>yy</sub> (donde yy, indica el año correspondiente a las ultimas observaciones).

# Sitios de Co-locación y utilidad de las técnicas de observación



En varios de los sitios que conforman el ITRF conviven mas de una técnica de observación (sitios de co-locación). La utilidad es la combinación de observaciones y chequeo de las distintas técnicas.

Estas ultimas tienen diferentes funciones. Por ej, en la ultima realización ITRF2008, se tiene:

Determinación del geocentro: SLR

Escala: SLR, VLBI

Orientación: VLBI, SLR, DORIS.

Todas las técnicas contribuyen en general a la orientación. DORIS y GPS han contribuido por mucho tiempo en la determinación del geocentro (McCarthy & Petit, 2004).

El Marco de Referencia Terrestre del IERS  
**ITRF (IERS Terrestrial Reference Frame)**

**\*WGS72 – WGS84 – ITRF89 - ITRF90 – ITRF91 - ITRF92 – ITRF93 – ITRF94-ITRF95-ITRF97- ITRF2000-ITRF2005– ITRF2008–ITRF2014**

**\*ITRF97**

-Soluciones: 4 VLBI, 5 SLR, 6 GPS (**IGS**), 1 combinada

-**Coordenadas y Velocidades** de 550 estaciones de observación en 325 lugares

**\*ITRF2000**

-Soluciones: 3 VLBI, 7 SLR, 6 GPS, 2 DORIS, 1 LLR.

-**Soluciones regionales (ej. SIRGAS, EUREF)**

-Coordenadas y Velocidades para estaciones (aprox 800) en 477 lugares

**\*ITRF2005**

-Actualización de ITRF2000.

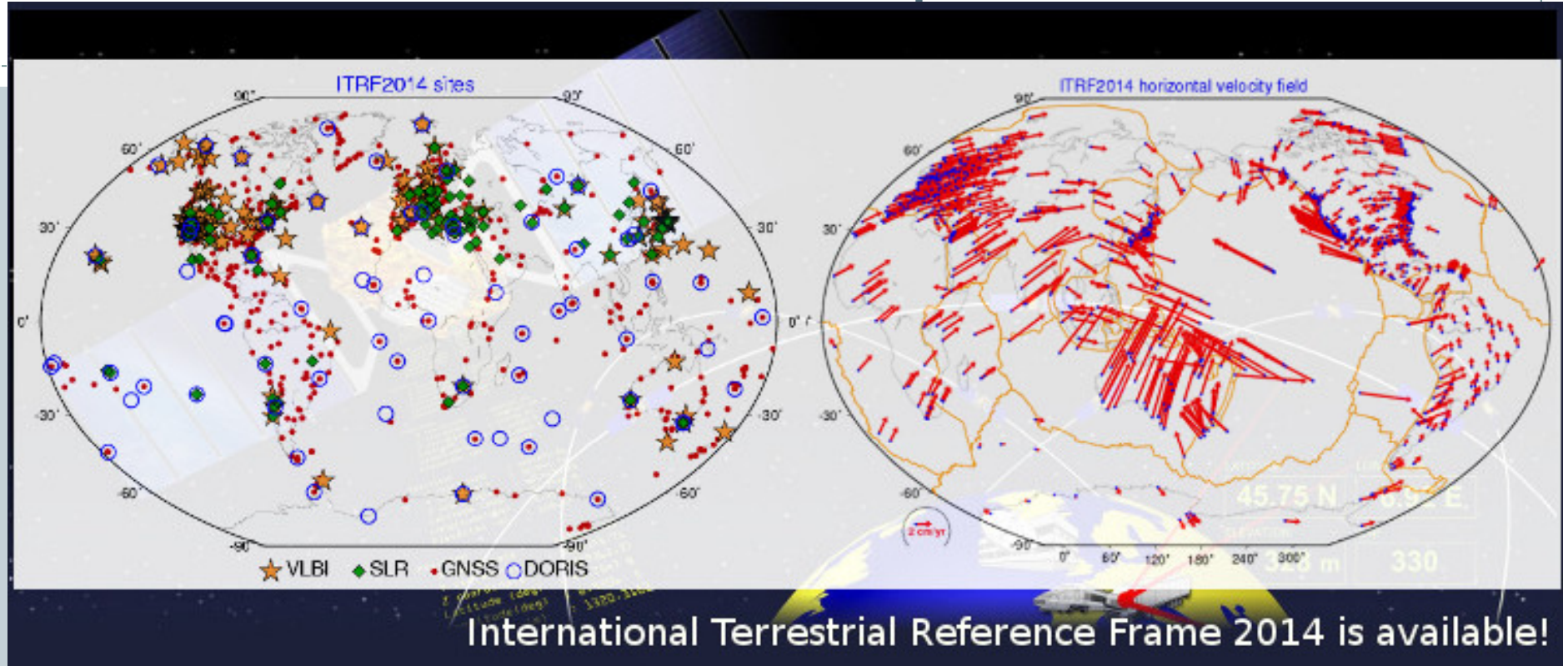
-La solución se basa en prácticamente los mismos lugares pero incluye nuevas estaciones como mareógrafos y puntos de control

**\*ITRF2008 / ITRF2014**

-Actualización de ITRF2005

-579 sitios / 920 estaciones

# ITRF2014



- Origen: cero traslación y rotación en época 2010.0 en relación a la solución del ILRS de largo periodo
- Escala: definida por soluciones VLBI y SLR
- Orientación: cero rotaciones y cero traslaciones en época 2010.0 con respecto a OTRF2008



ITRF2014 STATION POSITIONS AT EPOCH 2010.0 AND VELOCITIES  
GNSS STATIONS

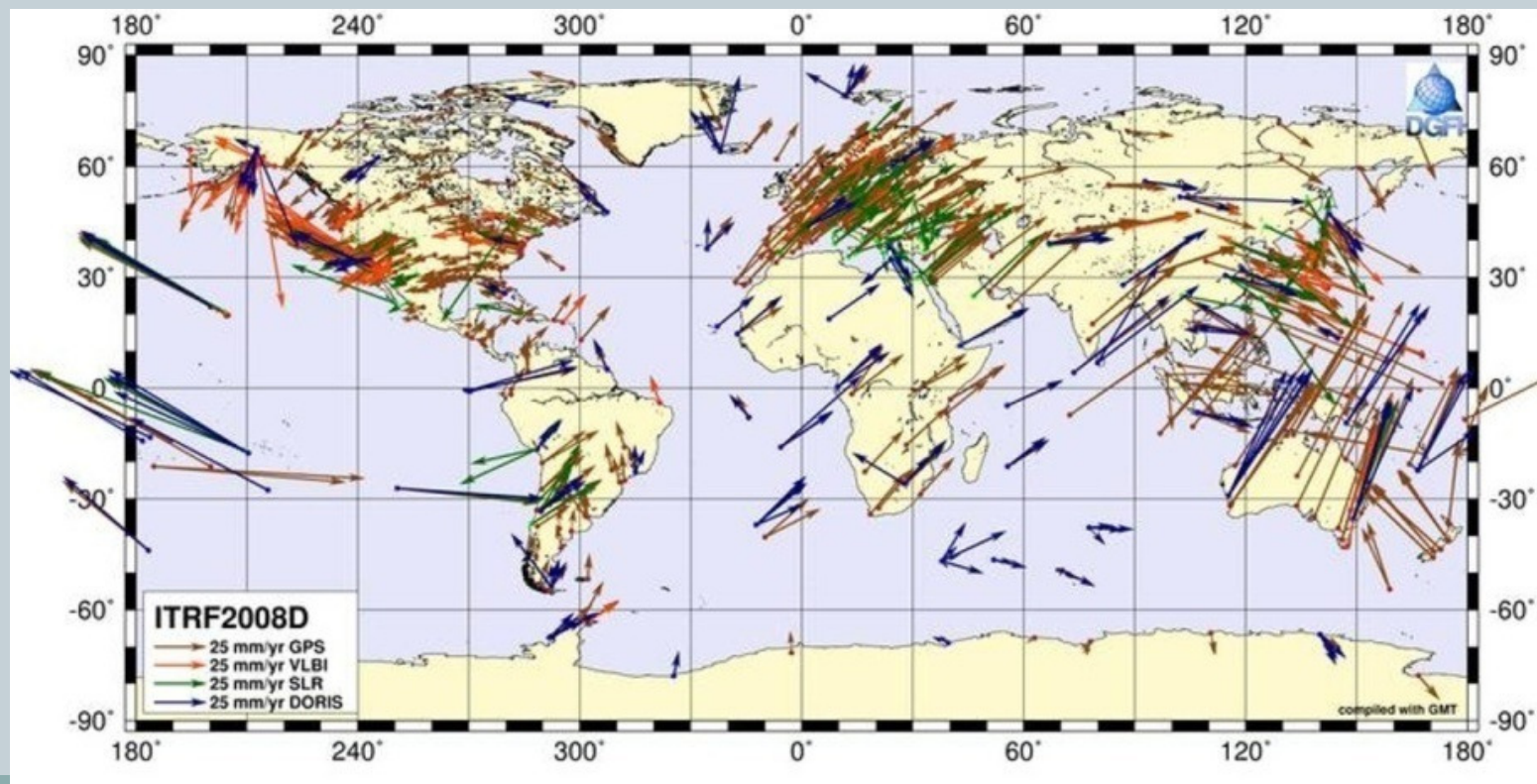
DOMES NB.	SITE NAME	TECH. ID.	X/Vx	Y/Vy	Z/Vz	Sigmas			SOLN	DATA_START	DATA_END
			-----m/m/y-----								
10001S006	Paris	GNSS OPMT	4202777.3053	171368.0862	4778660.2517	0.0006	0.0006	0.0005			
10001S006			<u>-0.01305</u>	<u>0.01758</u>	<u>0.01031</u>	<u>.00003</u>	<u>.00004</u>	<u>.00004</u>			
10002M006	Grasse (OCA)	GNSS GRAS	4581690.8267	556114.9242	4389360.8453	0.0006	0.0006	0.0006	1	00:000:00000	96:277:00000
10002M006			-0.01377	0.01886	0.01142	.00003	.00004	.00003			
10002M006	Grasse (OCA)	GNSS GRAS	4581690.8289	556114.9237	4389360.8441	0.0006	0.0006	0.0005	2	96:277:00000	03:113:00000
10002M006			-0.01377	0.01886	0.01142	.00003	.00004	.00003			
10002M006	Grasse (OCA)	GNSS GRAS	4581690.8331	556114.9264	4389360.8486	0.0006	0.0006	0.0005	3	03:113:00000	04:295:32400
10002M006			-0.01377	0.01887	0.01142	.00003	.00004	.00003			
10002M006	Grasse (OCA)	GNSS GRAS	4581690.8306	556114.9301	4389360.8511	0.0006	0.0006	0.0005	4	04:295:32400	00:000:00000
10002M006			-0.01377	0.01887	0.01142	.00003	.00004	.00003			
10003M004	Toulouse	GNSS TOUL	4627845.9706	119629.4279	4372999.8745	0.0006	0.0006	0.0006	1	00:000:00000	00:356:00000
10003M004			-0.01148	0.01933	0.01202	.00003	.00004	.00003			
10003M004	Toulouse	GNSS TOUL	4627845.9669	119629.4225	4372999.8807	0.0010	0.0006	0.0009	2	00:356:00000	00:000:00000
10003M004			-0.01148	0.01933	0.01202	.00003	.00004	.00003			
10003M009	Toulouse	GNSS TLSE	4627851.7726	119640.1115	4372993.6101	0.0006	0.0006	0.0005	1	00:000:00000	10:055:51900
10003M009			-0.01148	0.01933	0.01202	.00003	.00004	.00003			

579 sitios, de los cuales 461 se ubican en el HN y 118 en el HS





- Velocidades según las distintas técnicas de observación



# Orden según su cobertura



# SIRGAS

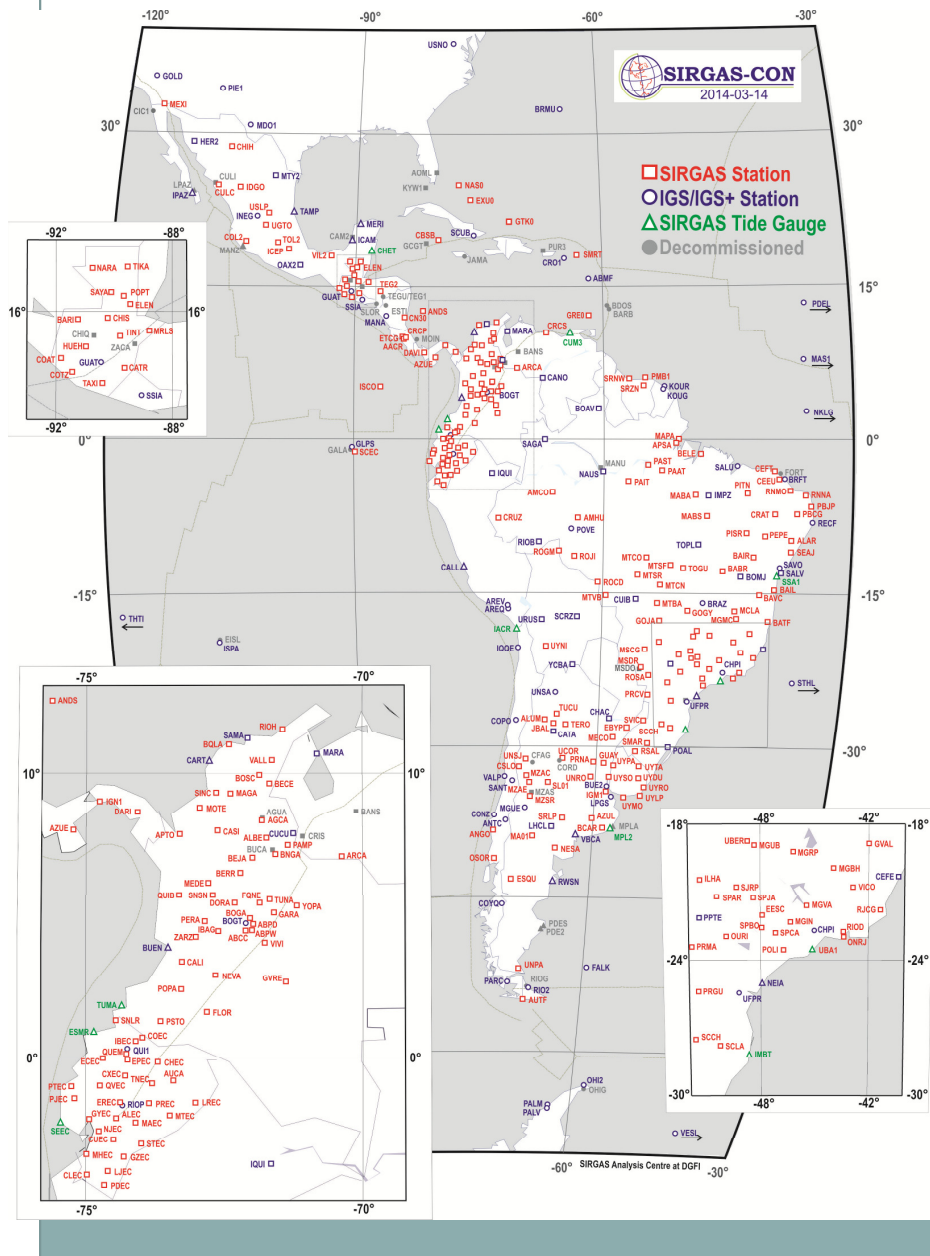


“**SIRGAS** es el **Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas**. Su definición es idéntica a la del **ITRS** y su realización es una densificación regional del **ITRF**.”

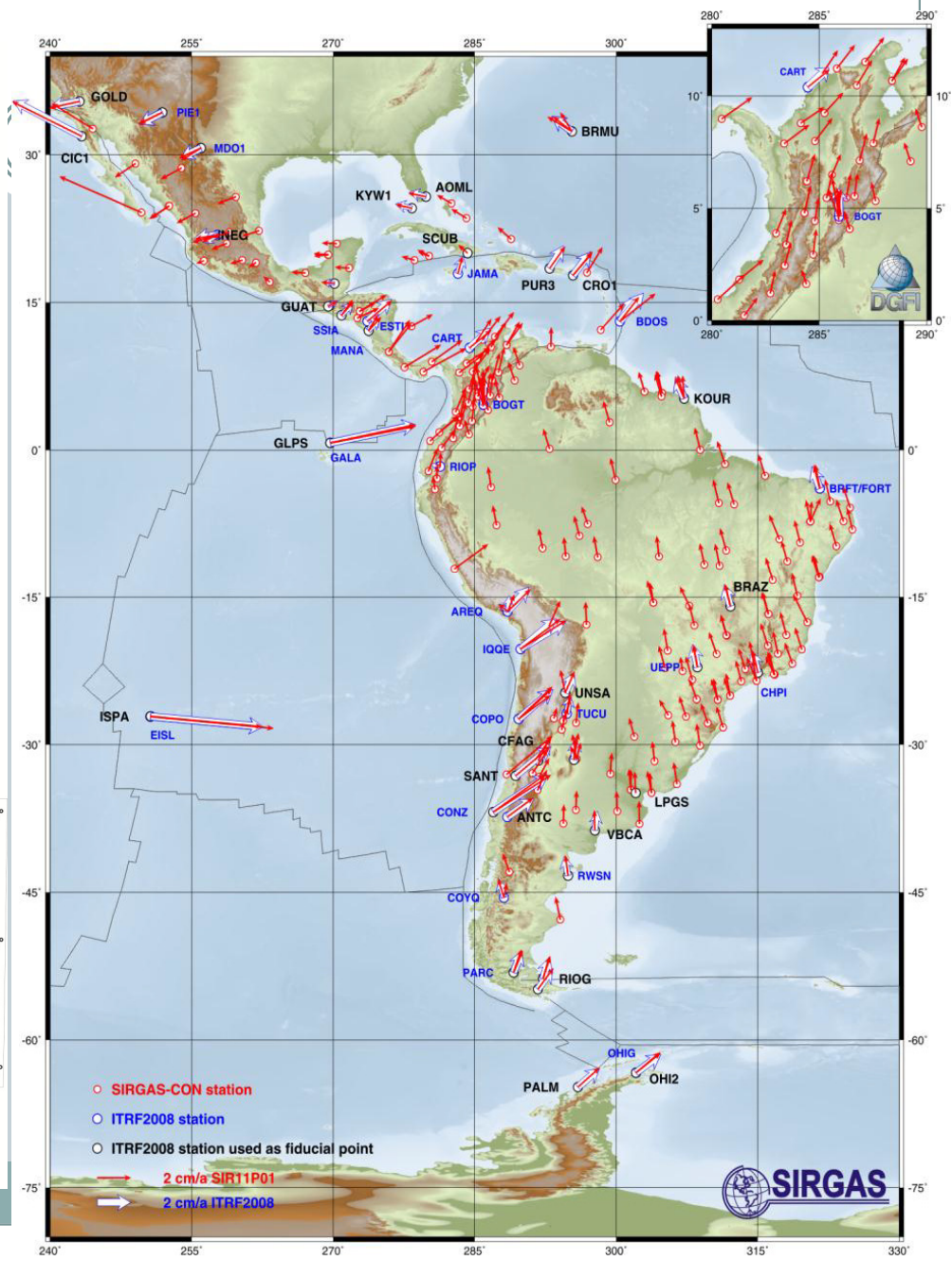
“Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un **modelo continuo de velocidades** que cubre todo el continente.”

Brinda soluciones semanales, anuales y multianuales. Dentro de las últimas: SIR11P01, densifica a ITRF2008, época 2005.0.

# SIRGAS-CON



# SIR11Po1



# Marcos de referencia Nacionales

	<a href="#">POSGAR07: Posiciones geodésicas argentinas 2007</a>		178
<b>Argentina</b>	<a href="#">CON*: RAMSAC: Red argentina de monitoreo satelital continuo</a>	ITRF2005, época 2006.6	45
<b>Bolivia</b>	<b>MARGEN: Marco Geodésico Nacional</b>		125
	<a href="#">CON*: Red de estaciones GPS continuas</a>	SIRGAS95, época 1995.4	7
<b>Brasil</b>	<a href="#">SIRGAS2000</a>		1903
	<a href="#">CON*: RBMC: Red brasileira de monitoramento continuo</a>	SIRGAS2000, época 2000.4	118
<b>Chile</b>	<a href="#">SIRGAS-CHILE</a>		269
	<a href="#">CON*: Red de estaciones activas fijas</a>	SIRGAS2000, época 2002.0	9
<b>Colombia</b>	<a href="#">MAGNA-SIRGAS: Marco geocéntrico nacional de referencia</a>		70
	<a href="#">CON*: MAGNA-ECO: MAGNA estaciones continuas</a>	SIRGAS95, época 1995.4	47
<b>Ecuador</b>	<b>Red básica GPS</b>		135
	<a href="#">CON*: REGME: Red GNSS de monitoreo continuo de Ecuador</a>	SIRGAS95, época 1995.4	39
<b>México</b>	<a href="#">RGNP: Red geodésica nacional pasiva</a>		
	<a href="#">CON*: RGNA: Red geodésica nacional activa</a>	ITRF2008, época 2010.0	19
<b>Panamá</b>	<a href="#">Marco Geodésico Nacional</a>		17
	<a href="#">CON*: Estaciones GPS permanentes</a>	SIRGAS2000, época 2000.0	4
<b>Perú</b>	<a href="#">PERU96: Sistema Geodésico Nacional</a>		47
	<a href="#">CON*: REGPMOC: Red geodésica peruana de monitoreo continuo</a>	SIRGAS95, época 1995.4	7
<b>Uruguay</b>	<b>SIRGAS-ROU98</b>		17
	<a href="#">CON*: REGNA-ROU: Red geodésica nacional activa</a>	SIRGAS95, época 1995.4	21
<b>Venezuela</b>	<a href="#">SIRGAS-REGVEN: Red geocéntrica venezolana</a>		156
	<a href="#">CON*: REMOS: Red de estaciones de monitoreo satelital GPS</a>	SIRGAS95, época 1995.4	3

# Posgar y sus realizaciones



POSGAR (Posiciones Geodésicas de Argentina)

Posgar 94: marco lo más cercano posible a WGS84.

Constaba de 127 puntos. El cálculo de la red fue realizado en la FCAGLP. Y la ejecución de las mediciones coordinados por el IGN

Posgar98 (no adoptado oficialmente), vinculado a SIRGAS 1995.4. Precisión de 1-2cm (similar al anterior). La mayor diferencia con respecto a POSGAR94 se manifiesta en la altura.



# POSGAR07



*Aparece el concepto de velocidad*

Posgar 07

“Basado en **ITRF 05 Época 2006.632** constituye la materialización sobre el territorio nacional del más moderno sistema de referencia a nivel mundial **compatible** con el **marco regional SIRGAS** (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y responde a los más estrictos estándares de precisión y ajuste en vigencia.

“POSGAR 07 incorpora las más importantes redes geodésicas en uso, con sus respectivos parámetros de transformación, a fin de facilitar una geo-referenciación unívoca en toda la República Argentina”

**POSGAR-RAMSAC**



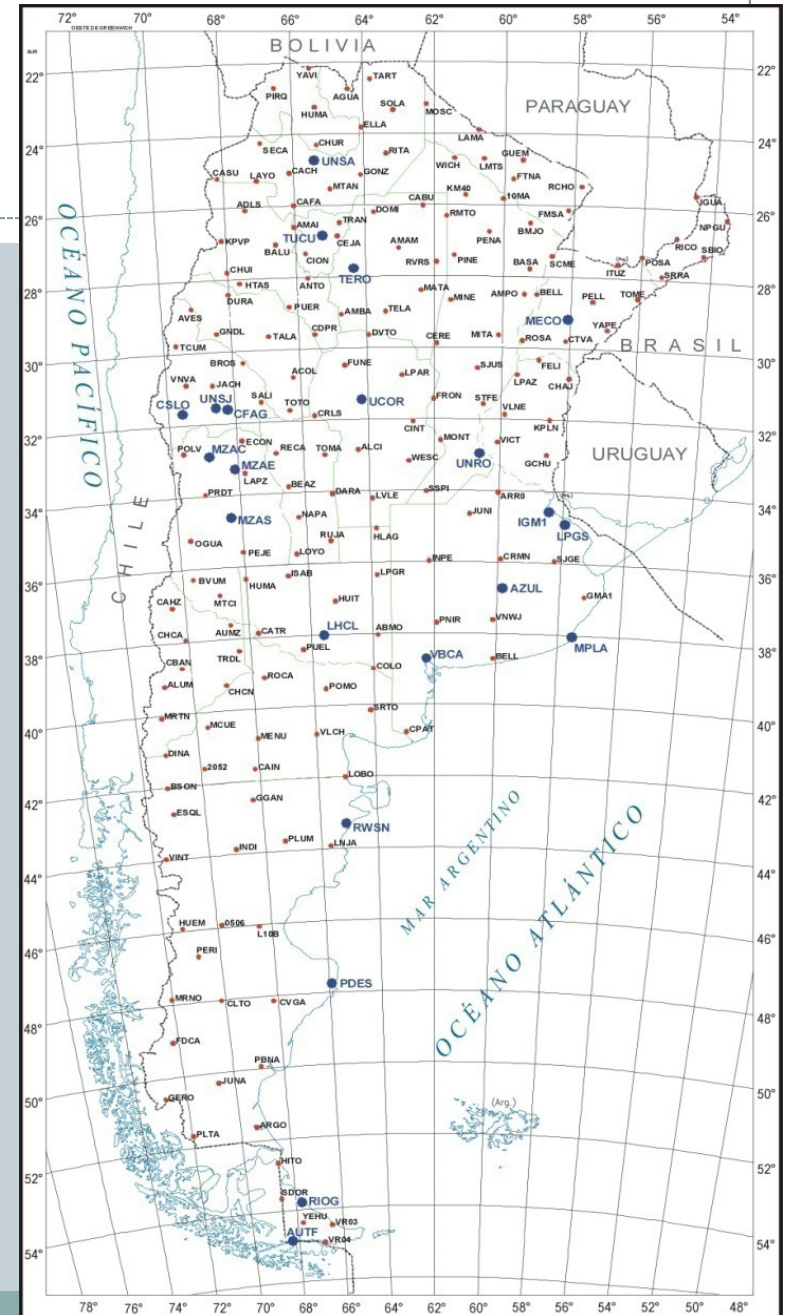
POSGAR07

(época 2006.632)

436 puntos, de los cuales:

\*178 son comunes con SIRGAS,

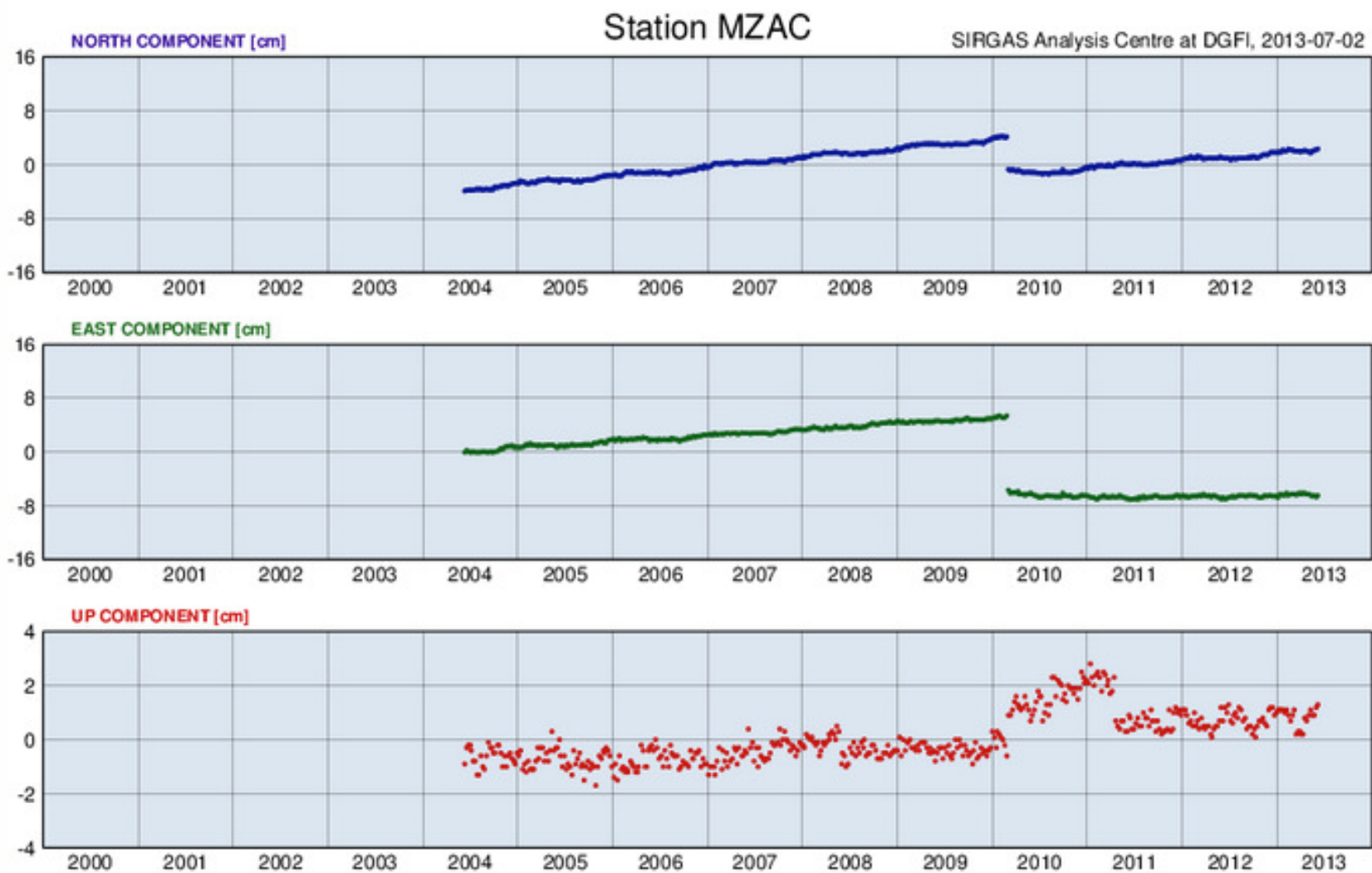
\*35 son estaciones permanentes  
comunes con SIRGAS



# Marcos de referencia Nacionales

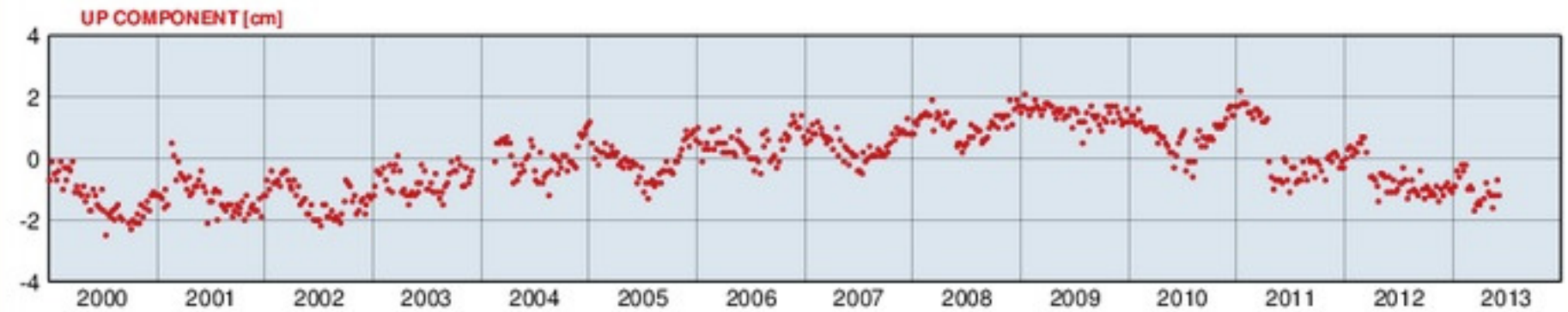
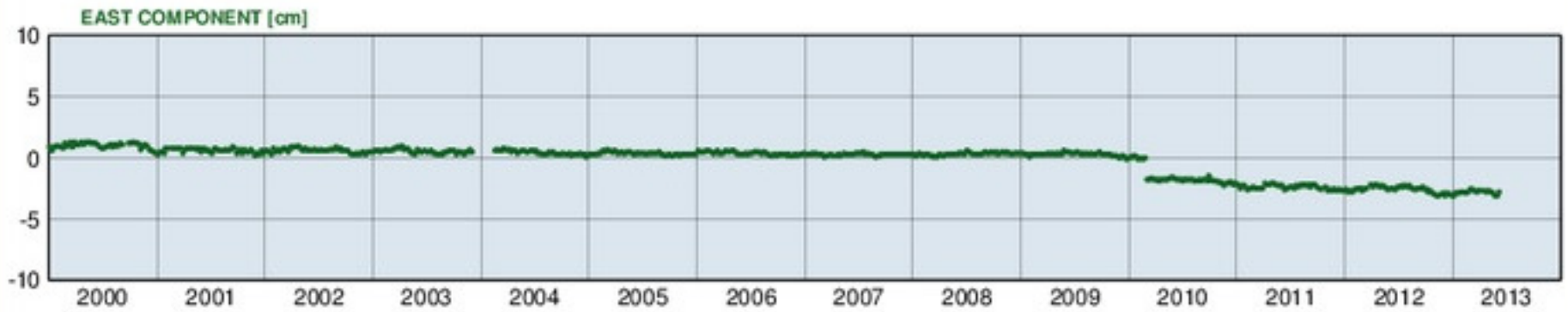
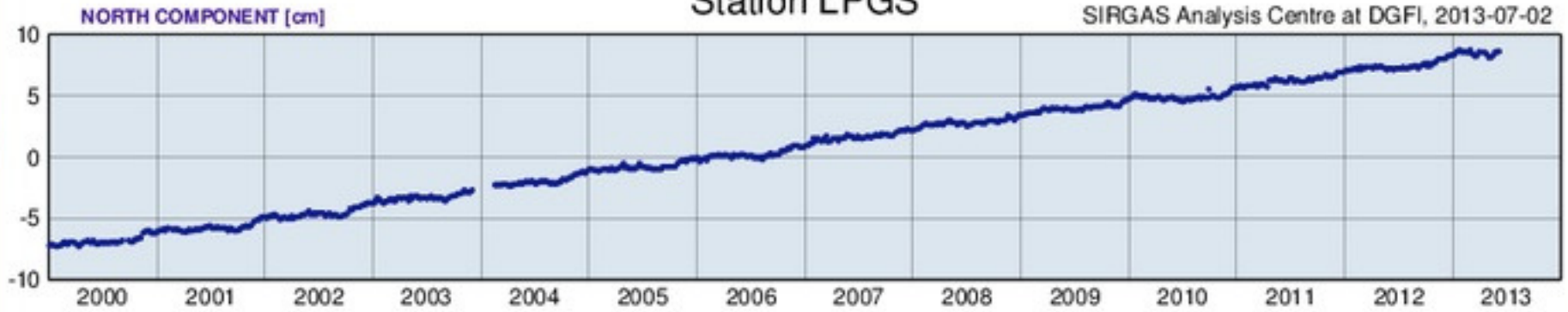
	<a href="#">POSGAR07: Posiciones geodésicas argentinas 2007</a>		178
<b>Argentina</b>	<a href="#">CON*: RAMSAC: Red argentina de monitoreo satelital continuo</a>	ITRF2005, época 2006.6	45
<b>Bolivia</b>	<b>MARGEN: Marco Geodésico Nacional</b>		125
	<a href="#">CON*: Red de estaciones GPS continuas</a>	SIRGAS95, época 1995.4	7
<b>Brasil</b>	<a href="#">SIRGAS2000</a>		1903
	<a href="#">CON*: RBMC: Red brasileira de monitoramento continuo</a>	SIRGAS2000, época 2000.4	118
<b>Chile</b>	<a href="#">SIRGAS-CHILE</a>		269
	<a href="#">CON*: Red de estaciones activas fijas</a>	SIRGAS2000, época 2002.0	9
<b>Colombia</b>	<a href="#">MAGNA-SIRGAS: Marco geocéntrico nacional de referencia</a>		70
	<a href="#">CON*: MAGNA-ECO: MAGNA estaciones continuas</a>	SIRGAS95, época 1995.4	47
<b>Ecuador</b>	<b>Red básica GPS</b>		135
	<a href="#">CON*: REGME: Red GNSS de monitoreo continuo de Ecuador</a>	SIRGAS95, época 1995.4	39
<b>México</b>	<a href="#">RGNP: Red geodésica nacional pasiva</a>		
	<a href="#">CON*: RGNA: Red geodésica nacional activa</a>	ITRF2008, época 2010.0	19
<b>Panamá</b>	<a href="#">Marco Geodésico Nacional</a>		17
	<a href="#">CON*: Estaciones GPS permanentes</a>	SIRGAS2000, época 2000.0	4
<b>Perú</b>	<a href="#">PERU96: Sistema Geodésico Nacional</a>		47
	<a href="#">CON*: REGPMOC: Red geodésica peruana de monitoreo continuo</a>	SIRGAS95, época 1995.4	7
<b>Uruguay</b>	<b>SIRGAS-ROU98</b>		17
	<a href="#">CON*: REGNA-ROU: Red geodésica nacional activa</a>	SIRGAS95, época 1995.4	21
<b>Venezuela</b>	<a href="#">SIRGAS-REGVEN: Red geocéntrica venezolana</a>		156
	<a href="#">CON*: REMOS: Red de estaciones de monitoreo satelital GPS</a>	SIRGAS95, época 1995.4	3

Station: **MZAC 41503M001**  
Location: Mendoza, Argentina  
Networks: RAMSAC  
Agencies: IANIGLA-CONICET, IGN-AR

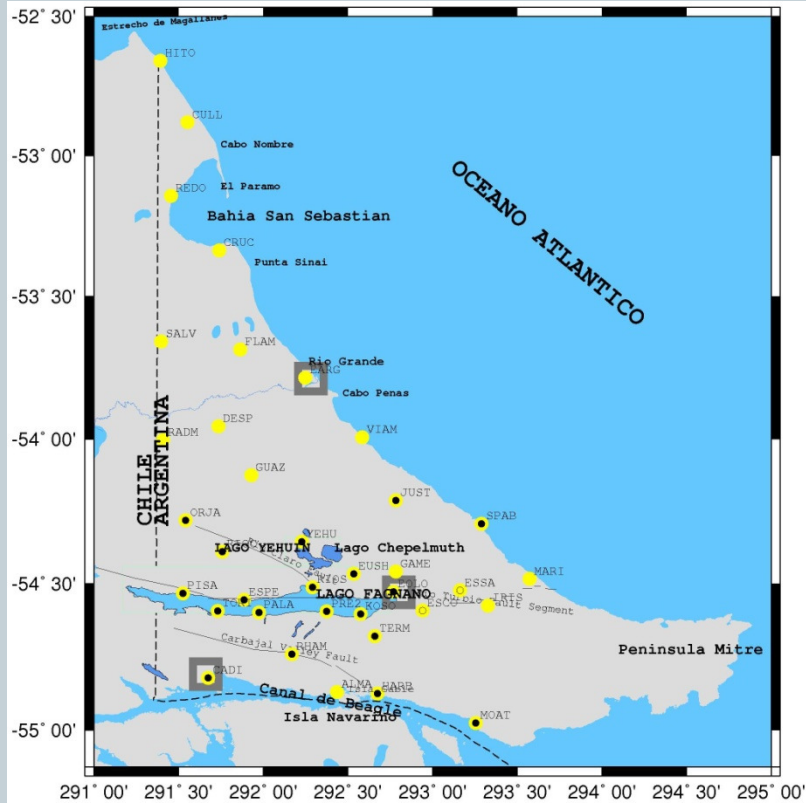


# Station LPGS

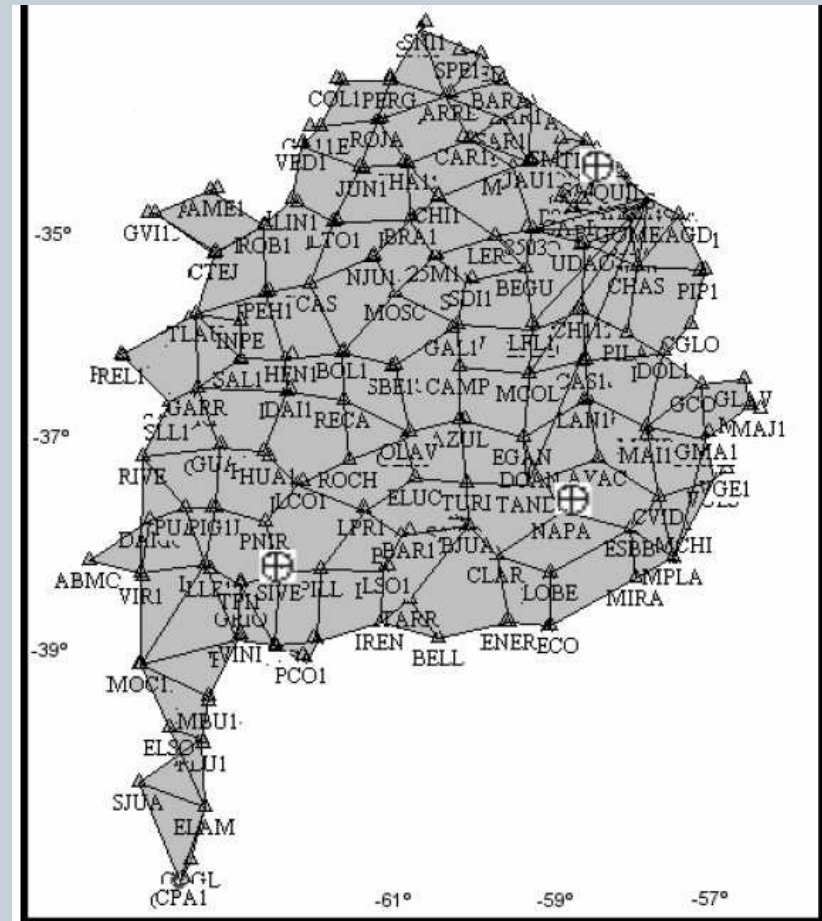
SIRGAS Analysis Centre at DGFI, 2013-07-02



# Redes Geodésicas Provinciales



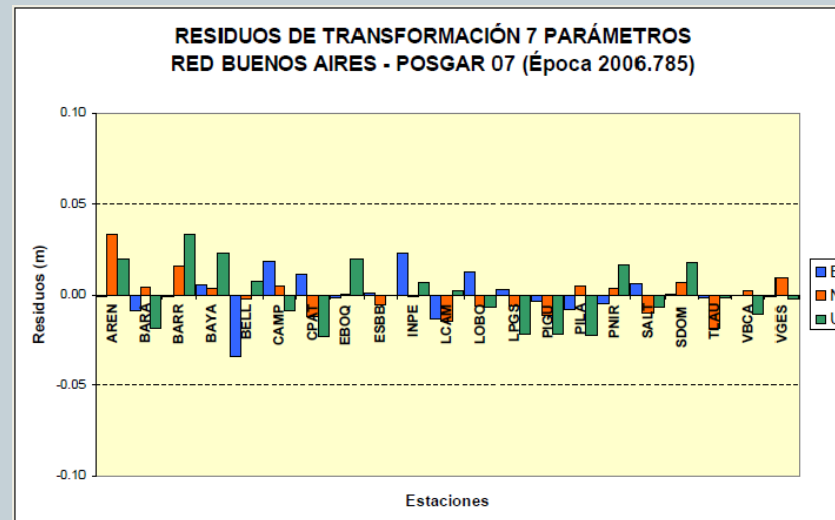
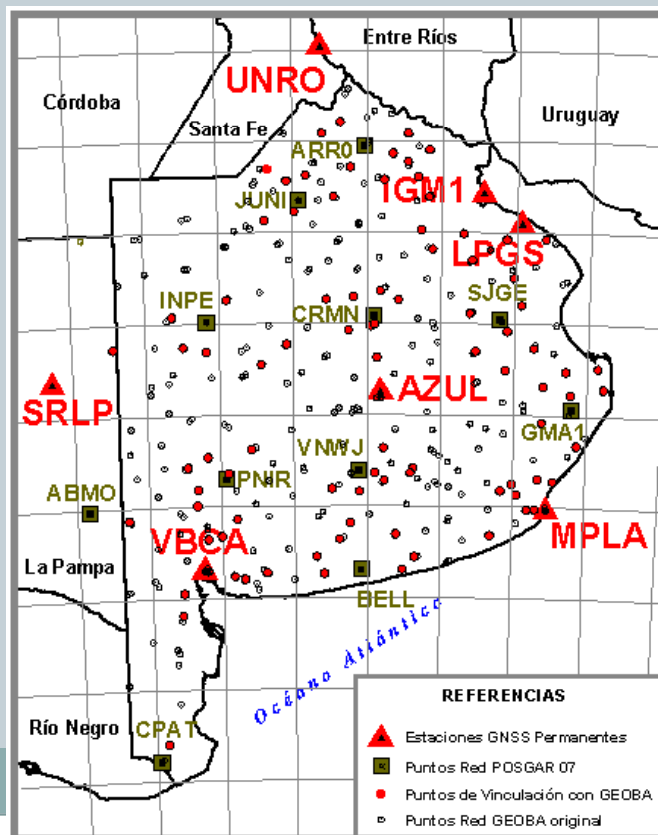
Tierra del Fuego



Buenos Aires

# Vinculación de las redes geodésicas provinciales con el marco de referencia nacional

A partir de puntos comunes entre las redes geodésicas provinciales y el marco de referencia Nacional se determinan parámetros de transformación (Helmert) los que permiten establecer el vínculo.



Fuente: IGM, 2009



## Posiciones Geodésicas Argentinas 2007

[Introducción](#) | [Red POSGAR 2007](#) | [Red PASMA](#) | [Redes Geodésicas Provinciales](#)



POSGAR 07 ha sido adoptado por disposición del Director del Instituto Geográfico Nacional el 15 de mayo de 2009 como el nuevo "Marco de Referencia Geodésico Nacional" y reemplaza al hasta entonces vigente POSGAR 94.

Basado en ITRF 05 Época 2006.632 constituye la materialización sobre el territorio nacional del más moderno sistema de referencia a nivel mundial compatible con el marco regional SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y responde a los más estrictos estándares de precisión y ajuste en vigencia.

Incorpora las más importantes redes geodésicas en uso asegurando parámetros de transformación entre las mismas y la nueva definición a fin de facilitar una georreferenciación unívoca en toda la República Argentina.

Utilizando como red de Orden cero al conjunto de estaciones permanentes GNSS de la Red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo) permite aprovechar íntegramente los datos de las mismas aplicados a la nueva realización y define



## Consolidación del marco de referencia internacional (ITRF) - Concepto de geodesia 4D.

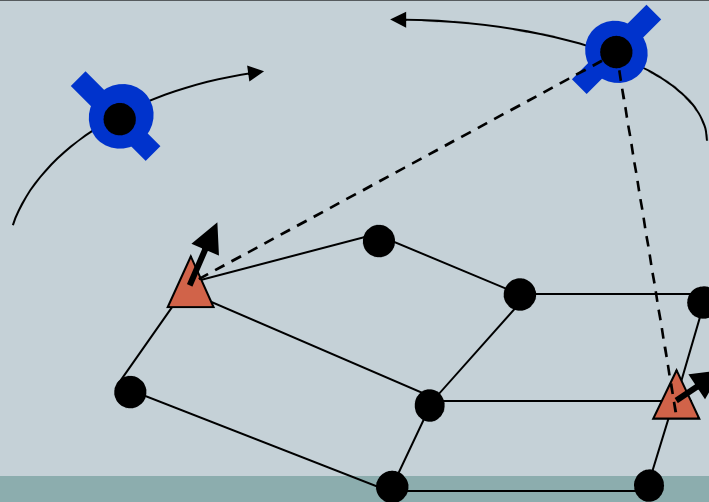
### Los Sistemas de Referencia en la práctica

\*Consideremos una red de estaciones observadas con GPS en la época  $T_{\text{obs}}$  (2016.45)

\*Para poder procesar correctamente y referir nuestros resultados se utilizan algunos puntos de coordenadas conocidas (ej. P2007, ép 2006.63):

\*Las órbitas de los satélites estarán expresadas en ITRF2014, época 2016.45 (ép de las obs). Las efemérides transmitidas se dan en WGS84 que es prácticamente ITRF y las precisas en ITRF.

**Las coordenadas de las estaciones deben estar en el mismo sistema de referencia (y época) que las posiciones de los satélites !!!**



Diferentes situaciones que dependerán del tamaño de la Red y las condiciones geodinámicas ...



## Consolidación del marco de referencia internacional (ITRF) - Concepto de geodesia 4D.

### Los Sistemas de Referencia en la práctica

#### Procedimiento para el cálculo de las nuevas coordenadas:

1\* Transformar las coordenadas de empalme al sistema de referencia y época de las órbitas (ITRF2014, 2016.45).

Publicadas

ITRF  $\equiv$  SIRGAS  $\equiv$  POSGAR2007 (\*\*\*)

$$X(\text{ITRF}, 2016.45) = X(\text{P2007}, 2006.63) + V_x (2016.45-2006.63)$$

2\* En estas condiciones realizar el procesamiento de la red y calcular las coordenadas de algún modelo ...

3\* Para obtener las coordenadas de los nuevos puntos en POSGAR07 (2006.63):

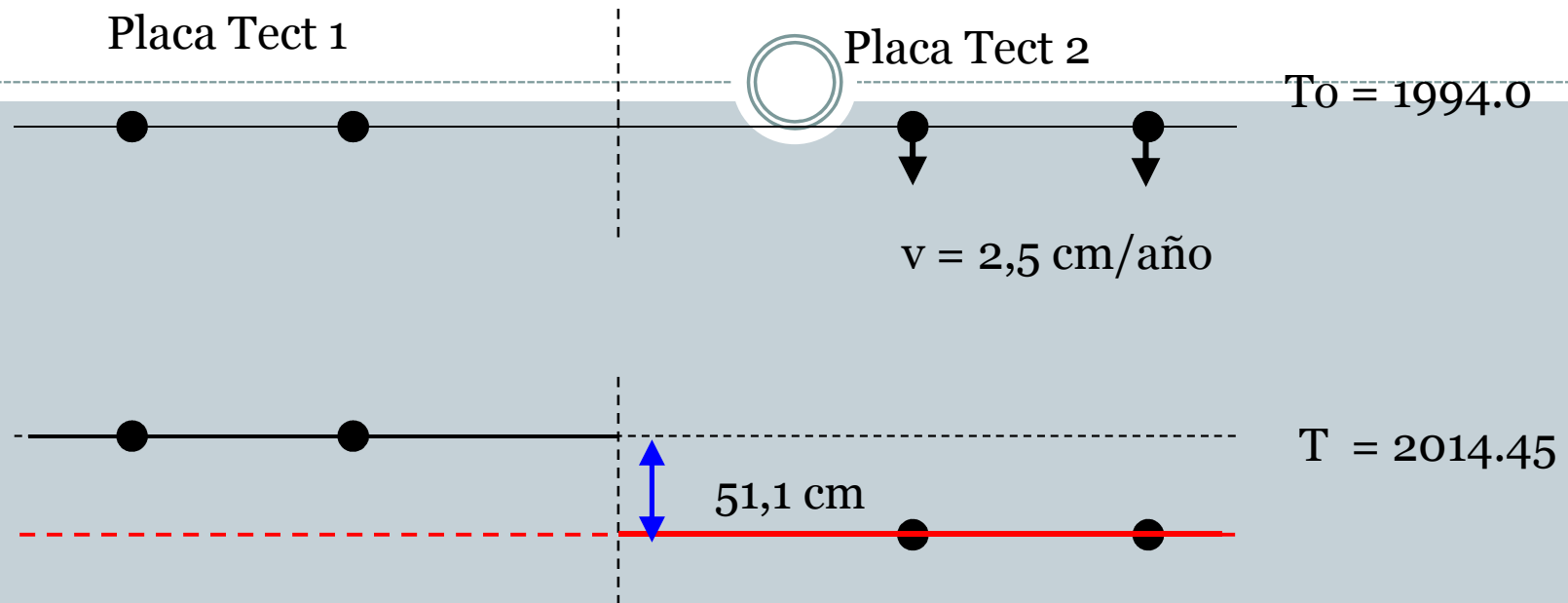
$$X(\text{POSGAR}, 2006.63) = X(\text{POSGAR}, 2014.45) - V_x \cdot (2016.45 - 2006.63)$$

**V** : existen **modelos de velocidades** a nivel global y regional que permiten estimar los valores de la velocidad en cada punto.

## Consolidación del marco de referencia internacional (ITRF) - Concepto de geodesia 4D.

### Los Sistemas de Referencia en la práctica

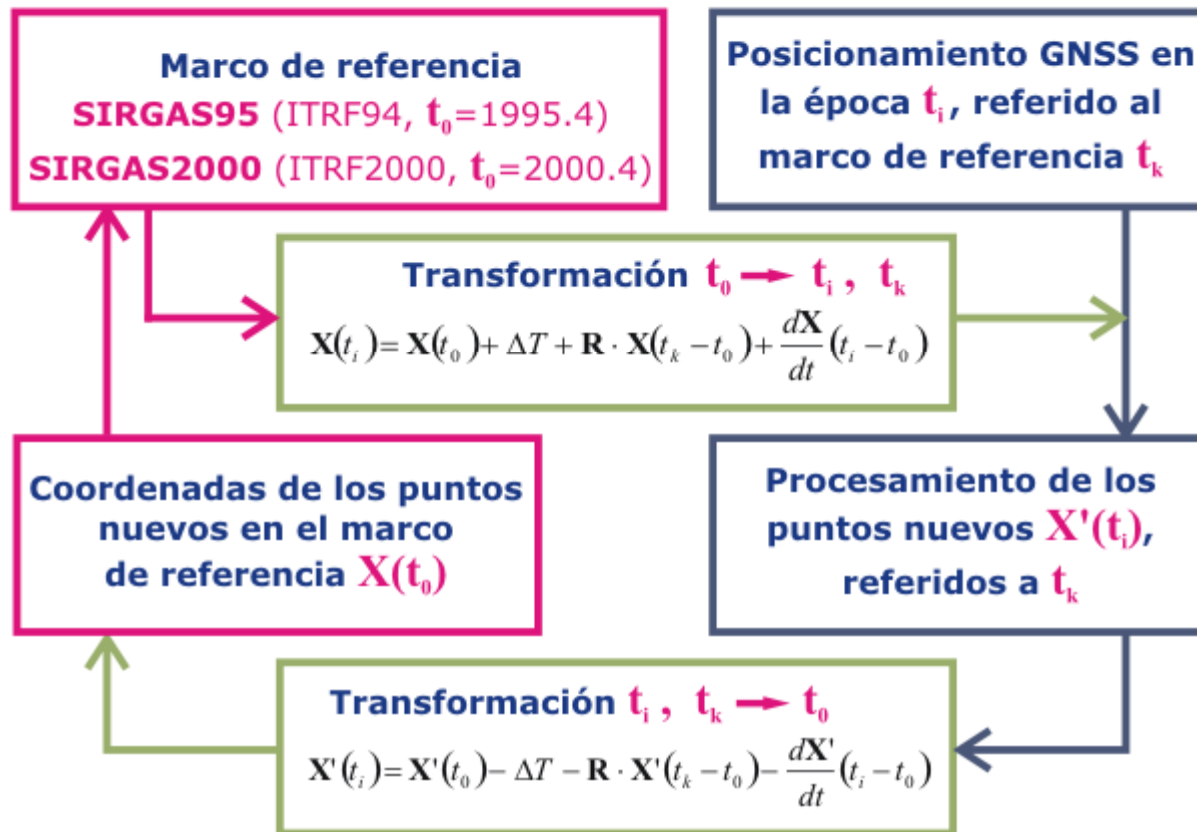
\*Un caso posible ...



**Si no consideramos correctamente las velocidades (al menos las relativas), la obra lineal sufrirá un desplazamiento !!!**

# Consolidación del marco de referencia internacional (ITRF) - Concepto de geodesia 4D.

## Modelos de velocidades



Procesamiento de datos GNSS incluyendo velocidades de las estaciones y parámetros de transformación entre diferentes marcos de referencia.

## Sistema de referencia cinemático

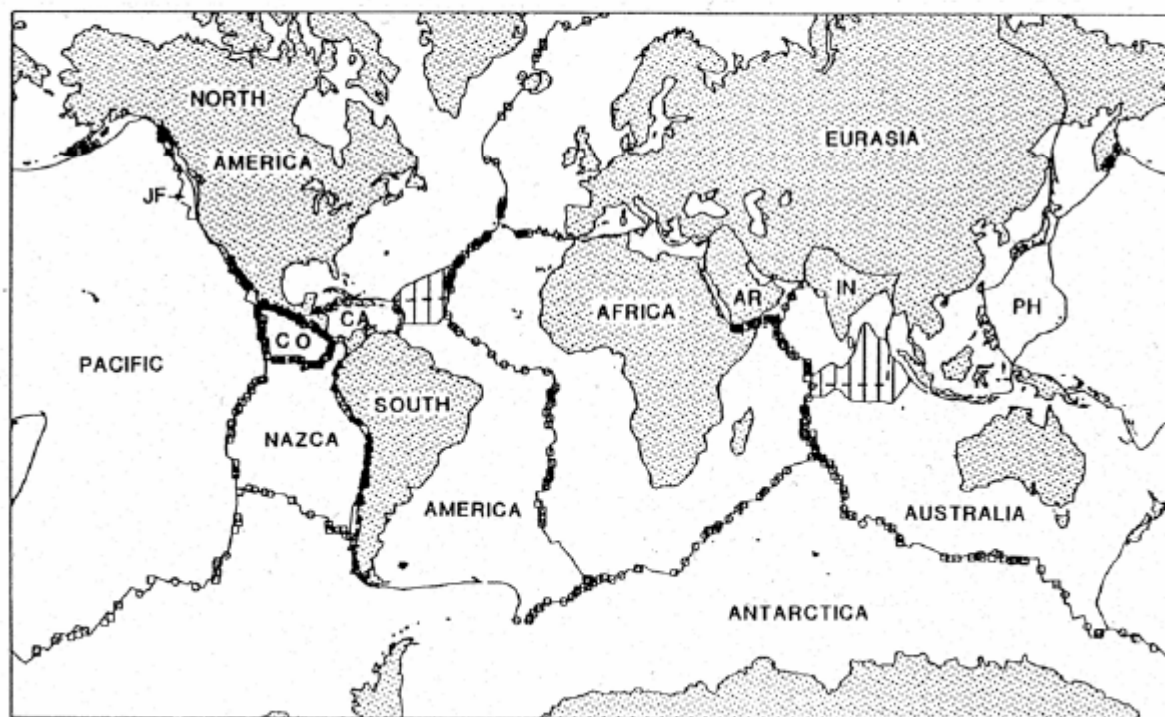
Problema:

- La aplicación de los métodos geodésicos espaciales exige sistemas de referencia consistentes para las coordenadas espaciales (p. ej. de las órbitas de los satélites) y para las coordenadas de las estaciones terrestres.
- Las órbitas precisas de los satélites GPS se calculan por el servicio IGS en el sistema ITRF actual (en la época de la observación).
- Las estaciones de la red ITRF tienen coordenadas fijadas en una época de referencia y velocidades (las estaciones se mueven).
- Para ser consistente con el sistema ITRF actual hay que tomar en cuenta el movimiento (las velocidades) de las estaciones terrestres.
- Normalmente se toma los modelos geofísicos del movimiento de las placas tectónicas como modelo de los movimientos de las estaciones.

## Modelos de velocidades

1)\* Existen modelos basados en información geológica y geofísica, como el NNR-Nuvel-1A (No Net Rotation Northwestern University VELOCITY Model, DeMets et al., 1994).

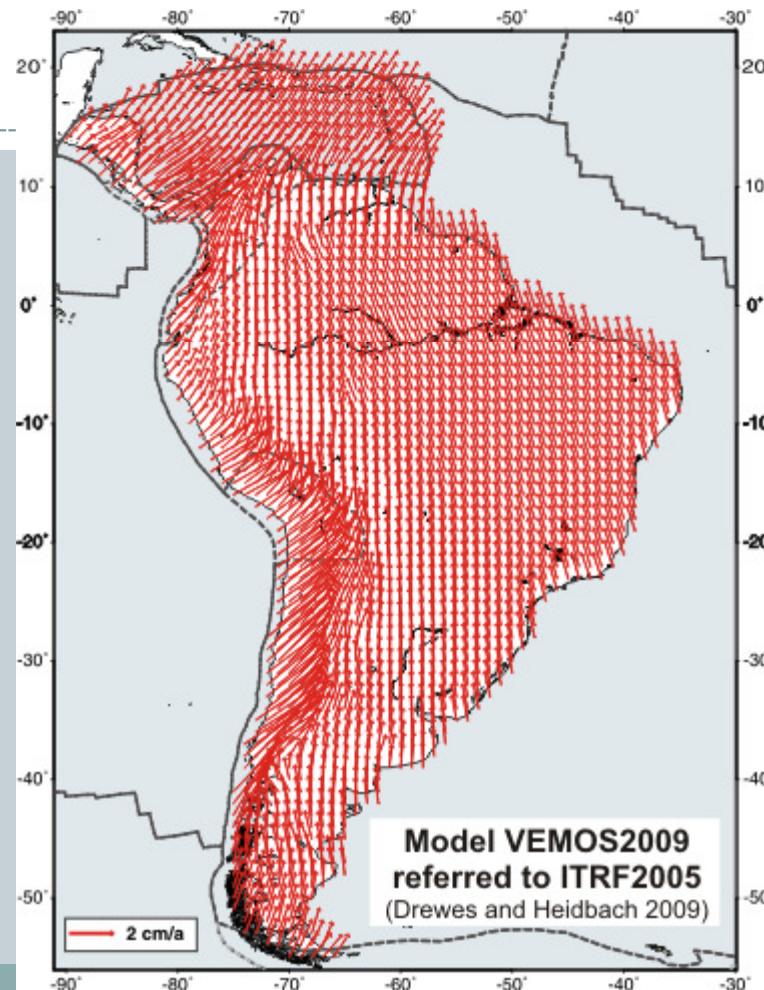
Observaciones del modelo de la tectónica de placas NUVEL-1 (DeMets et al. 1990)



(277 extensiones, 121 azimutes de fallas, 724 azimutes de movimientos = 1122 en total)

## Modelos de velocidades

2)\* Otros modelos son de tipo Geodésico. Se basan en determinaciones actuales de velocidades a partir coordenadas calculadas con técnicas espaciales (VEMOS y APKIM 2000)



## Desventajas de los modelos geofísicos de la cinemática de placas para la geodesia

- Todos los datos provienen de los límites de las placas (deformaciones!)
- Las velocidades son los promedios de tiempos geológicos (representación para hoy?)
- Inestabilidades (terremotos)
- La distribución de los datos no es óptima

### **Consecuencia:**

Hay que establecer un modelo cinemático actual de las placas por observaciones geodésicas

# **Necesidad de un modelo geodésico de la cinemática de la corteza terrestre (movimiento de placas rígidas y deformaciones)**



Las estaciones principales de un marco de referencia tienen coordenadas para una época fija (ej. 2000,0), y sus velocidades (variaciones de las coordenadas con el tiempo).

Para transformar las coordenadas de estaciones nuevas, válidas para la época de observación, a la época del sistema de referencia, hay que conocer sus velocidades. Como no se midieron todavía, hay que determinarlas por un modelo cinemático.

Los modelos geofísicos no sirven, porque los movimientos de las placas son promedios de millones de años, y las zonas de deformación entre las placas rígidas no están incluidas.



## Un sistema cinemático geodésico debe incluir:



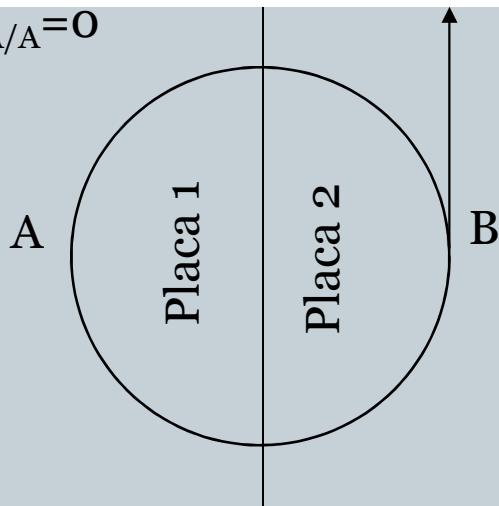
**Mediciones:** Los resultados de las observaciones de velocidades de estaciones por las diferentes técnicas espaciales (VLBI, SLR, GPS).

**Parámetros:** El movimiento de las placas rígidas y las deformaciones en las zonas limítrofes entre las placas rígidas.

**Condiciones:** Las velocidades de la corteza terrestre deben ser consistentes con la rotación terrestre, es decir, la suma (la integral) de todos los momentos (momento angular total) sobre toda la superficie terrestre debe ser cero (“no net rotation”, NNR)

# NNR

$$V_{A/A} = 0$$



$$V_{B/A}$$

$$R \times (V_{A/A} + V_{B/A}) \neq 0$$

$$M_A = R \times V_{B/NNR}$$

$$M_B = R \times V_{A/NNR}$$

$$V_{A/NNR} \neq 0$$

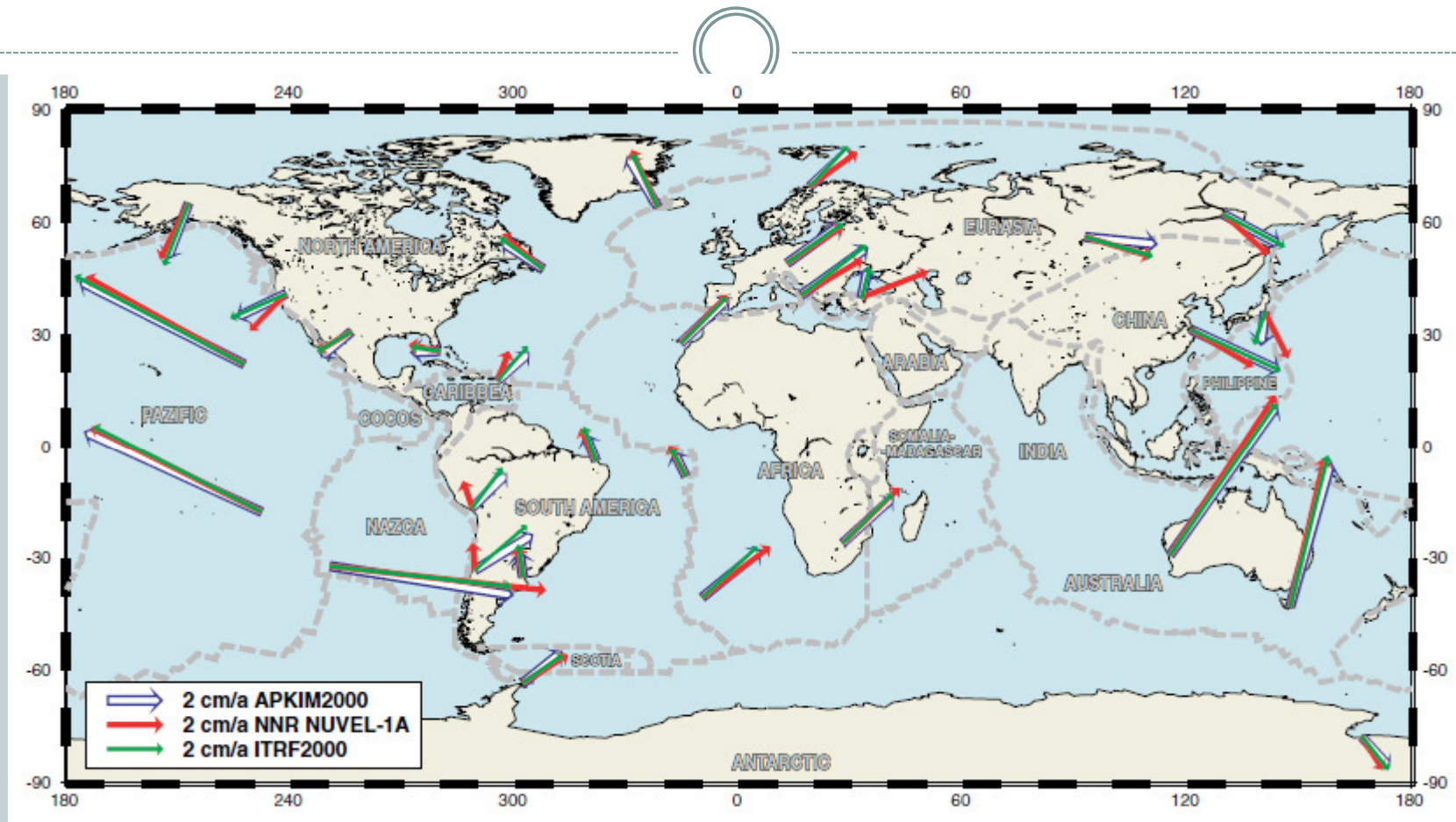
$$V_{B/NNR} \neq 0$$

$$\Sigma M = R \times (V_{B/NNR} + V_{A/NNR}) = 0$$

$$V_{B/NNR} = -V_{A/NNR}$$



$$V_{B/NNR} = V_{B/A}/2$$



Fuente: [http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/2001/DS\\_APKIM.pdf](http://dgfi2.dgfi.badw-muenchen.de/dgfi/DOC/2001/DS_APKIM.pdf)