



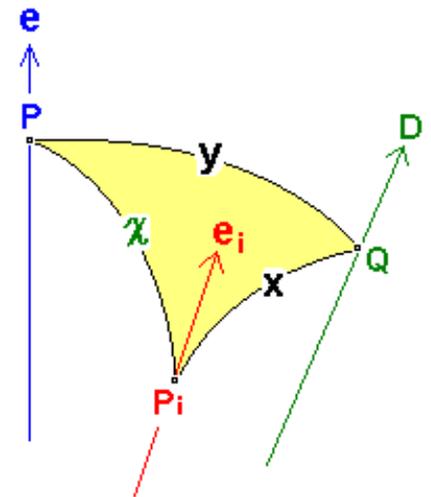
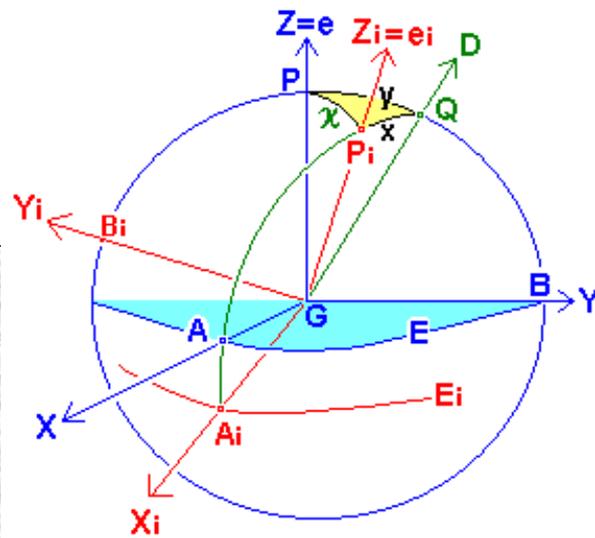
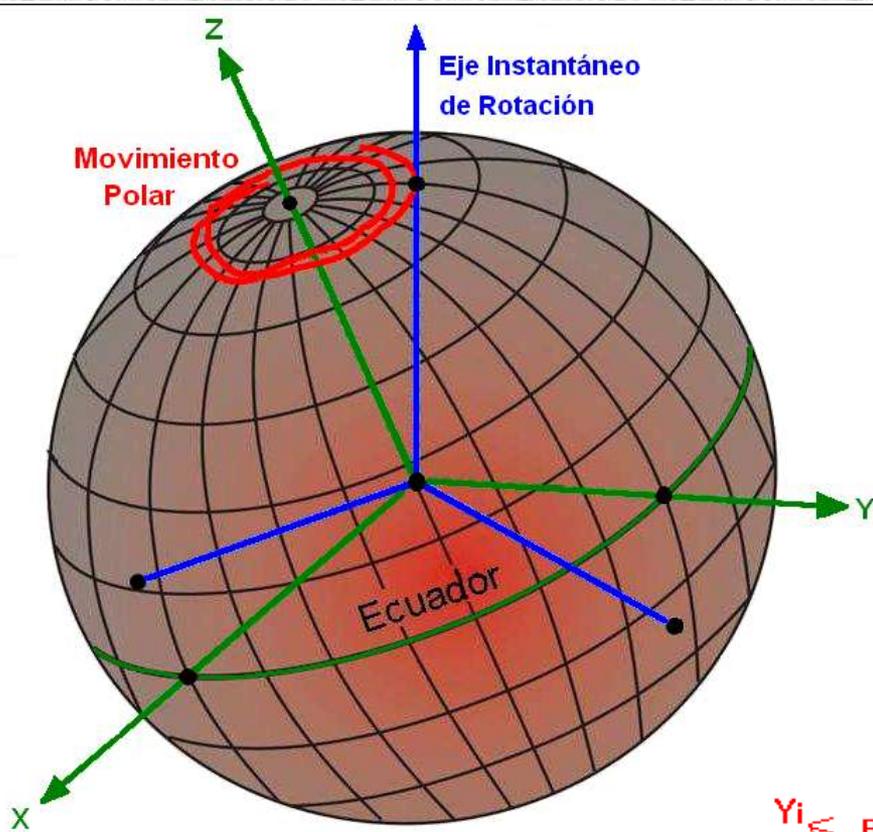
Universidad Nacional de San Juan



# **Análisis SLR de las variaciones seculares, periódicas y accidentales del Movimiento del Polo**



A.M. Pacheco; R. Podestá; L. Weidong; J. Quinteros; H. Alvis Rojas; S. Adarvez; A. Navarro & D. Calvo

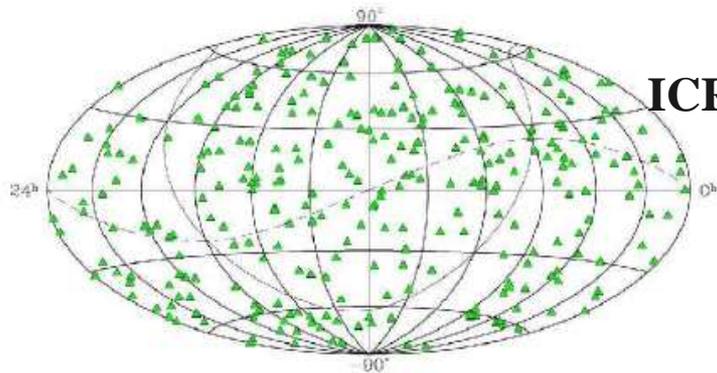


$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos x & 0 & \sin x \\ \sin x \cos y & -\cos y & -\cos x \sin y \\ -\sin x \sin y & -\sin y & \cos x \cos y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X_i \\ \Delta Y_i \\ \Delta Z_i \end{bmatrix}$$

$$(\varphi - \varphi_i) = -(x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i)$$

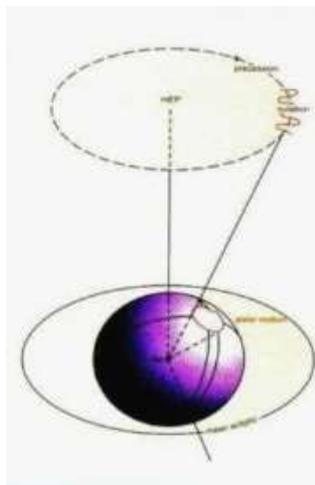
$$(\lambda + \lambda_i) = -\tan \varphi_i (-x \sin \lambda_i + y \cos \lambda_i)$$

# Parámetros de orientación de la Tierra



posiciones de cuasares

ICRF



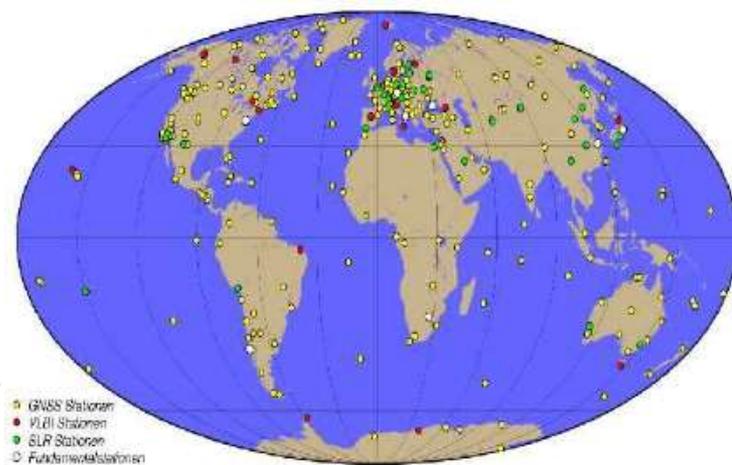
precesión  
nutación

movimiento polar

UT1-UTC

EOP

ITRF



posiciones y velocidades de pp.rr.  
series de tiempo  
lineas de base

# Astrometría Extrameridiana



DANJON ASTROLABE

# Ubicación de las estaciones del ILS

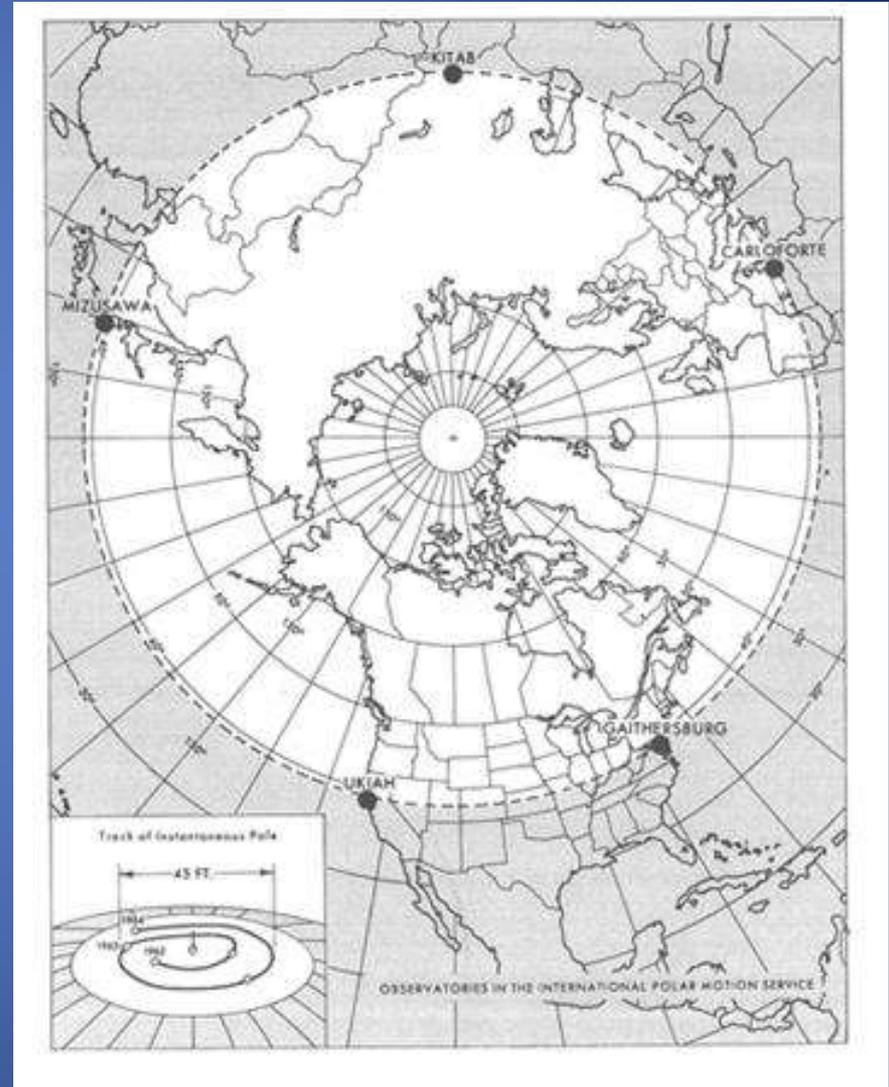
Año 1899 → latitud  $39^{\circ}08'$   
observatorios y estaciones  
ubicadas en Estados Unidos  
(Gaithersburg, Cincinnati y  
Ukiah), Japón (Mizusawa),  
Rusia (Tschardjui) e Italia  
(Carloforte).

Observatorio Astronómico  
Félix Aguilar (OAFa)



proyecto internacional

**MERIT**



**OBSERVATORIO  
ASTRONÓMICO  
“FÉLIX AGUILAR”  
SAN JUAN**



**NATIONAL  
ASTRONOMICAL  
OBSERVATORIES  
OF CHINA**

# PHOTOELECTRIC ASTROLABE PAII 15 años de Cooperación Internacional



*Automated Photoelectric Astrolabe Telescope PAII (1992 -2007) → IPMS*

# Primera estación SLR en Argentina:

## SAN JUAN ILRS 7406

- Convenio Internacional entre nuestra Universidad y el Observatorio Nacional de la Academia China de Ciencias
- Oficialmente comenzó a funcionar el 22 de febrero de 2006 y el ILRS le otorgó el código 7406



**Edificio Walter T. Manrique**

# Actuales Técnicas de medición de las coordenadas del Polo



# Diferencias y similitudes entre las técnicas

Parámetros y Correcciones en las ecuaciones de observación		VLBI	GNSS	DORIS	SLR	LLR	Radar
ICRF	Posiciones de Cuásares $e^Q$	X					
	Nutación $\Delta\varepsilon, \Delta\psi$	X	(X)		(X)	X	
	UT1 ABSOLUTO	X					
	LOD	X	X	X	X	X	
	Movimiento Polar $x_p, y_p$	X	X	X	X	X	
ITRF	Coordenadas Estación $r_A, r_B, \dot{r}_A, \dot{r}_B$	X	X	X	X	X	(X)
	Geocentro		X	X	X		X
	Campo Gravitatorio		X	X	X	(X)	X
	Órbitas de Satélites $r_S$		X	X	X		X
Atmósfera	Tropósfera $p_{trop}$	X	X	X	X	X	X
	Ionósfera $p_{ion}$	X	X	X			X
	Relojes $\delta_t, p_{bias}$	X	X		(X)		
	Relatividad $p_{rel}$	X	X		X		

Rot. de la Tierra

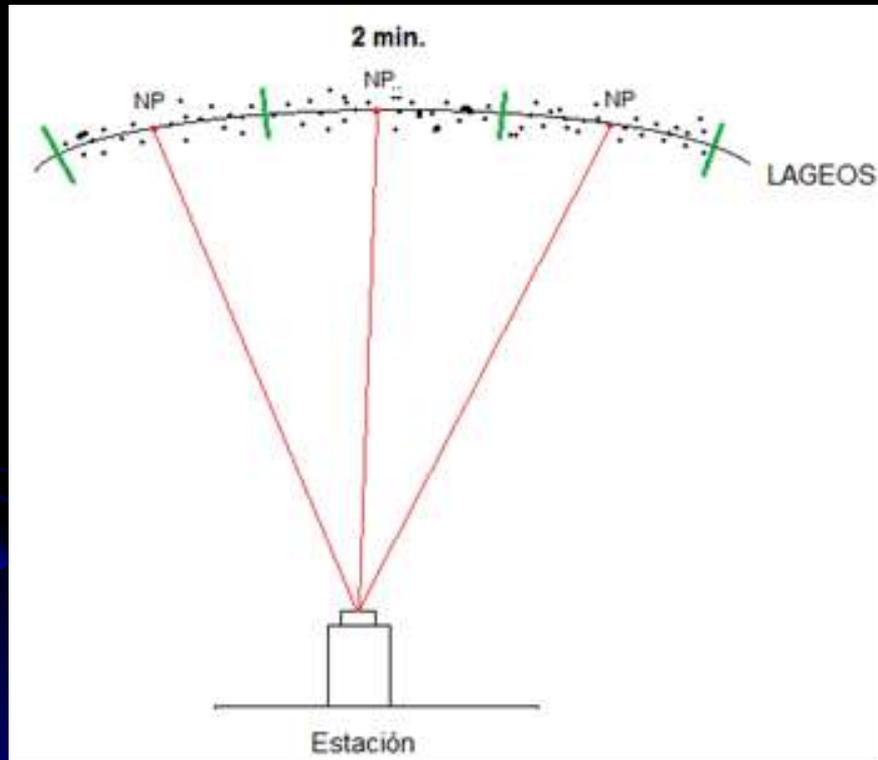
Campo Grav.

LAGEOS es el acrónimo para  
"LAser GEOdynamics Satellite"



# Descripción del observable SLR

Los observables o datos primarios de una estación láser son los Puntos Normales (NP).



Puntos Normales que se definen como la distancia media Estación - Satélite determinada para un arco de órbita en un intervalo de tiempo específico que varía según el satélite observado.

El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el software NAOC SLR, usando la workstation del centro de cómputos del NAOC National Astronomical Observatory of China

# Software NAOC SLR

**Determinación  
precisa de órbitas y  
estimación de  
parámetros a través  
de observaciones  
satelitales**



- Campo gravitatorio terrestre
- La masa de la Tierra ( $GM$ ) y coeficientes Geopotenciales
- Posiciones ITRF de las estaciones terrestres
- Movimiento polar ( $X_p, Y_p$ )
- Estudios de la rotación terrestre ( $DUT1$ )
- Relatividad general

**Earth Orientation Parameters “EOPs” ( $X_p, Y_p, DUT1$ )**

**Coordenadas Geodésicas de las Estaciones Sudamericanas**

# Modelo de Gauss - Markoff

$$o + v = f(x) \quad \text{ecuación de observación.}$$

$$A^T P A \Delta x = A^T P l$$

$$o + v = f(x_0) + A \Delta x \quad A: \text{Matriz Jacobiana}$$

$$x = x_0 + \Delta x$$

$$v = A \Delta x - l \quad \text{ecuación de los residuos}$$

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{v^T P v}{n - u} \quad \begin{array}{l} \text{errores medios} \\ \text{de los} \\ \text{parámetros} \end{array}$$

$$v^T P v \rightarrow \min \quad \begin{array}{l} \text{principio de mínimos} \\ \text{cuadrados} \end{array}$$

$$Q_{xx} = \hat{\sigma}_o^2 N^{-1}$$

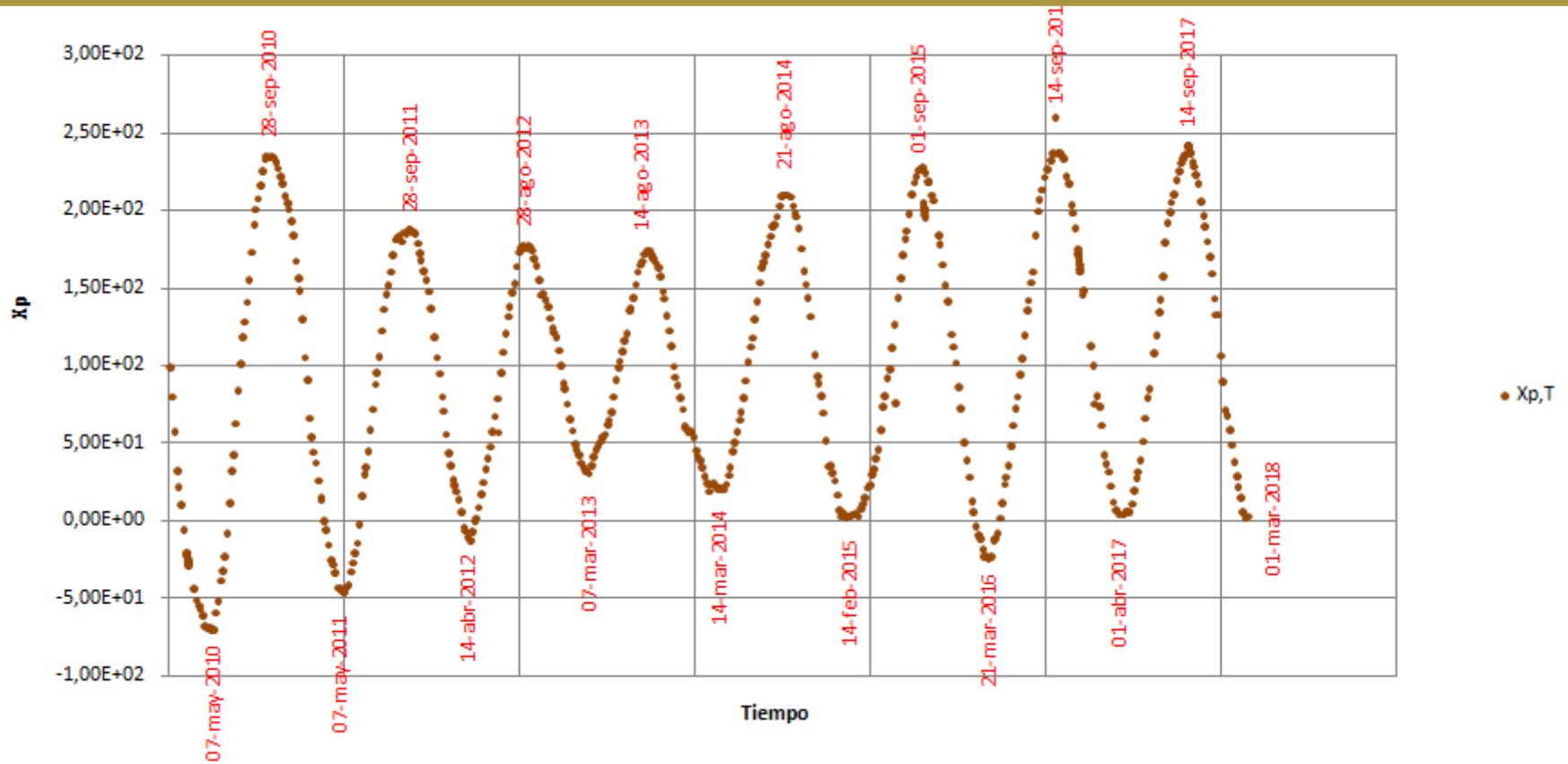
matriz covarianza de los parámetros estimados

# Estaciones SLR

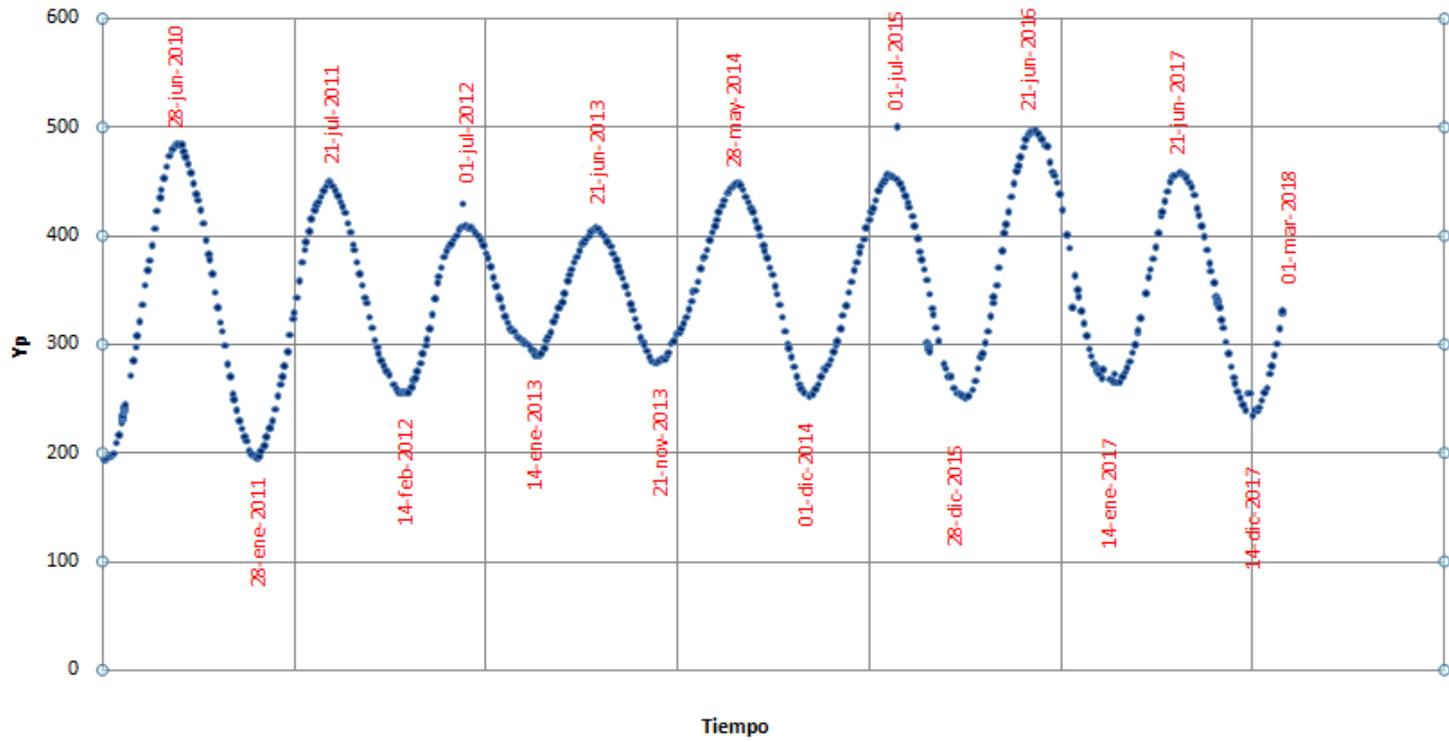
- 7090 A 50107M001 L 7090 115 20 48.3 -29 2 47.4 242.0
- 7119 A 40445M004 L 7119 203 44 35.0 20 42 23.4 3057.0
- 7237 A 21611S001 L 7237 125 26 36.4 43 47 25.8 274.9
- 7308 A 21704S002 L 7308 139 29 20.8 35 42 36.3 123.2
- 7405 A 41719M001 L 7405 286 58 28.8 -36 50 34.7 170.0
- 7406 A 41508S003 L 7406 291 22 36.6 -31 30 31.0 728.0
- 7821 A 21605S010 L 7821 121 11 11.8 31 5 45.9 100.4
- 7825 A 50119S003 L 7825 149 0 35.6 -35 18 58.1 805.7
- 7839 A 11001S002 L 7839 15 29 36.2 47 4 1.7 540.1
- 7941 A 12734S008 L 7941 16 42 16.7 40 38 55.2 537.7



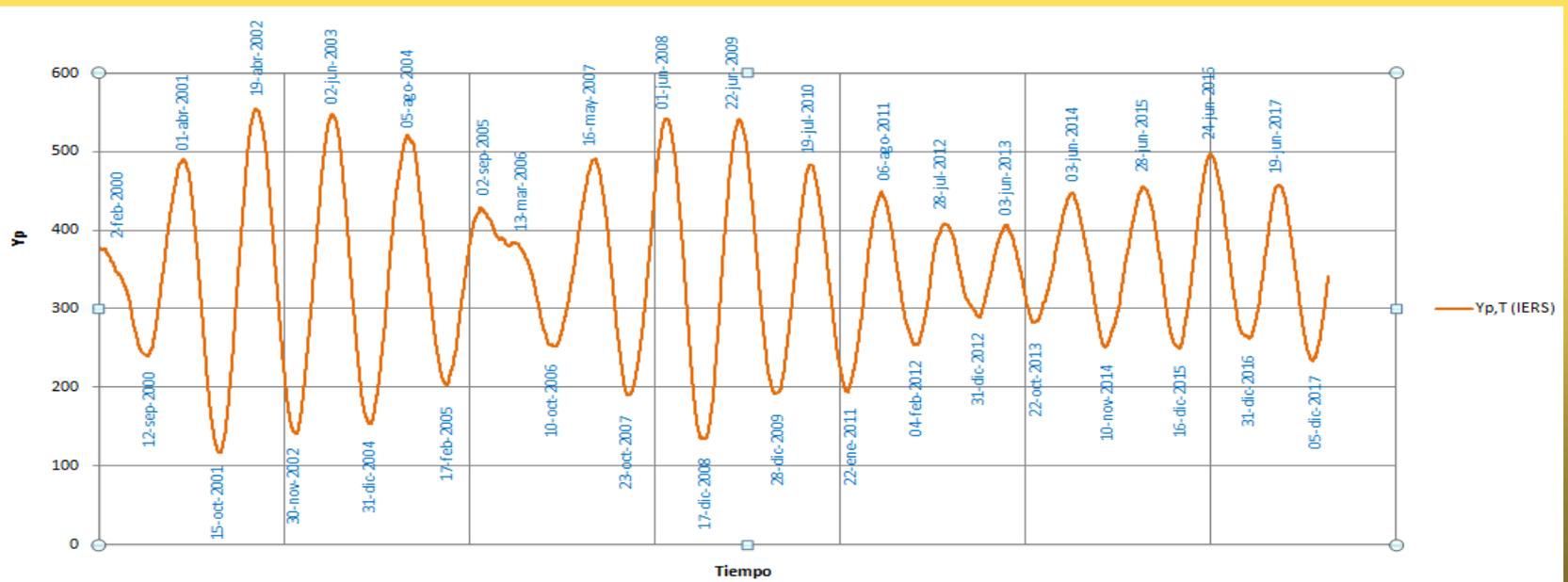
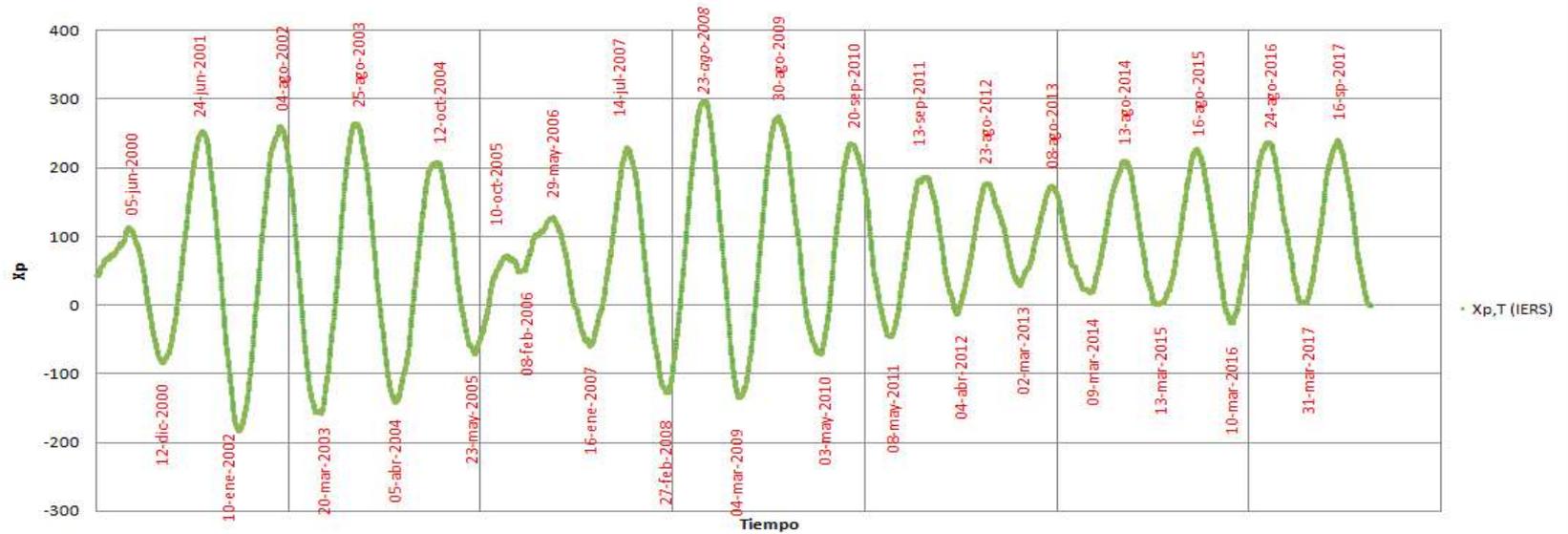
# Xp, T



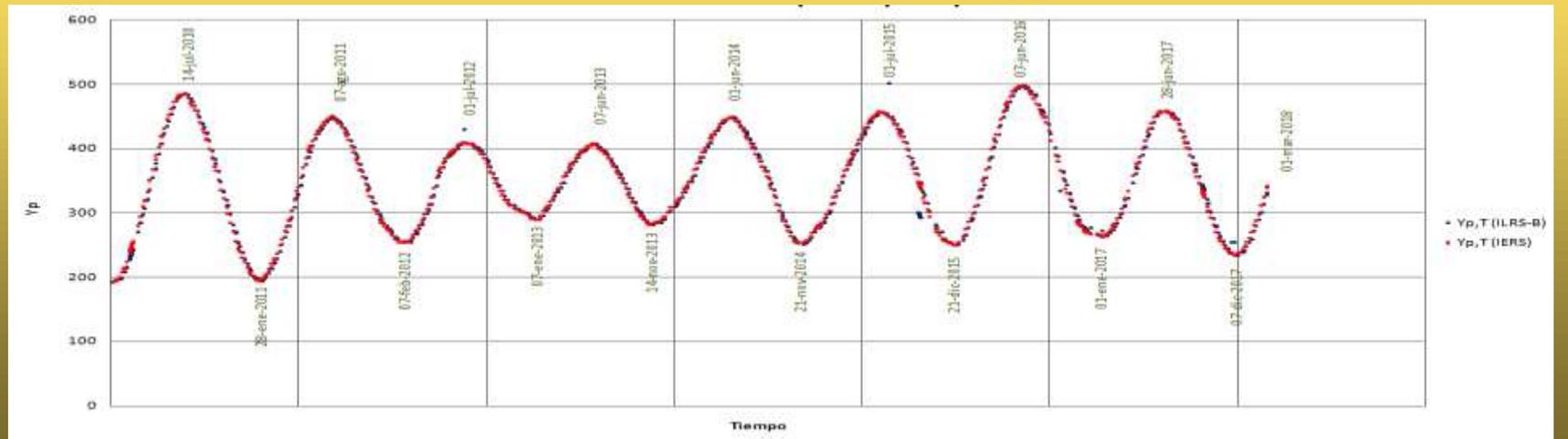
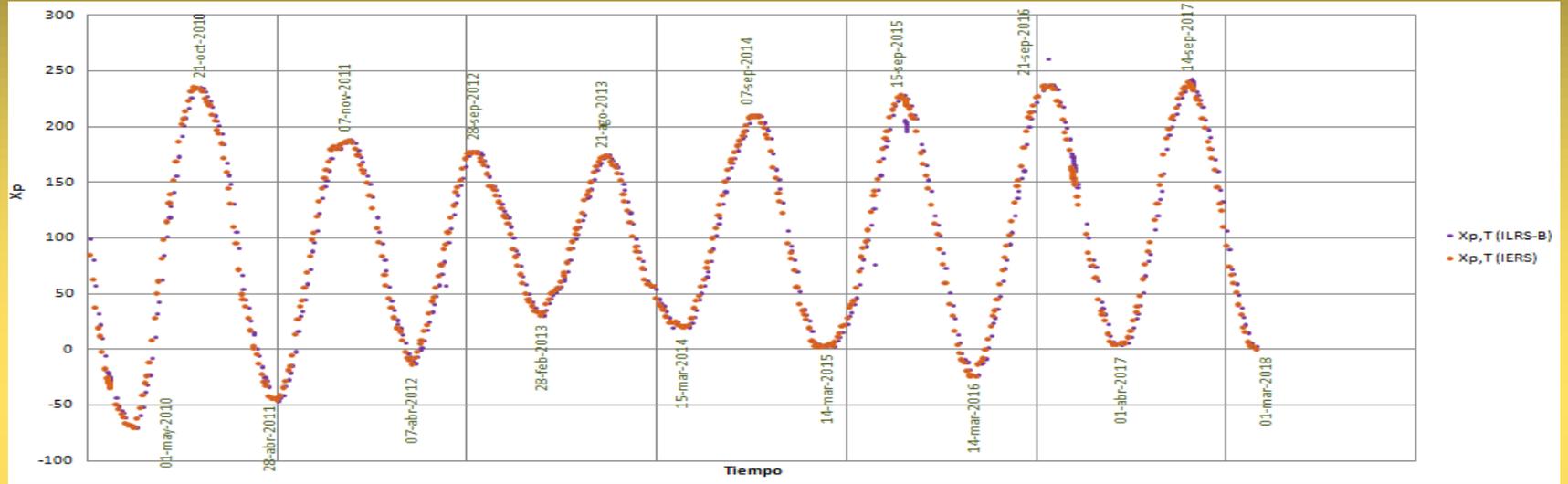
# Yp, T



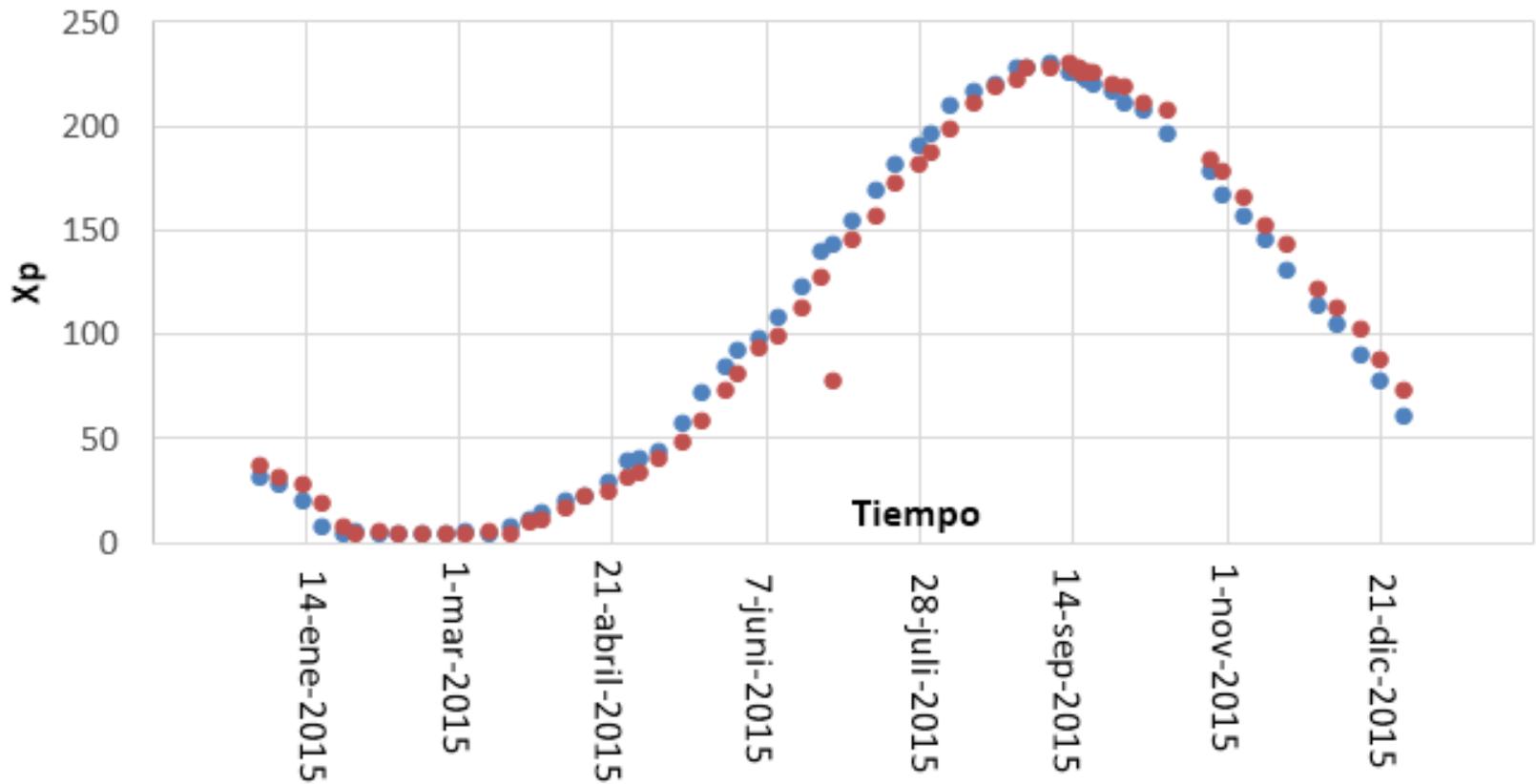
# IERS



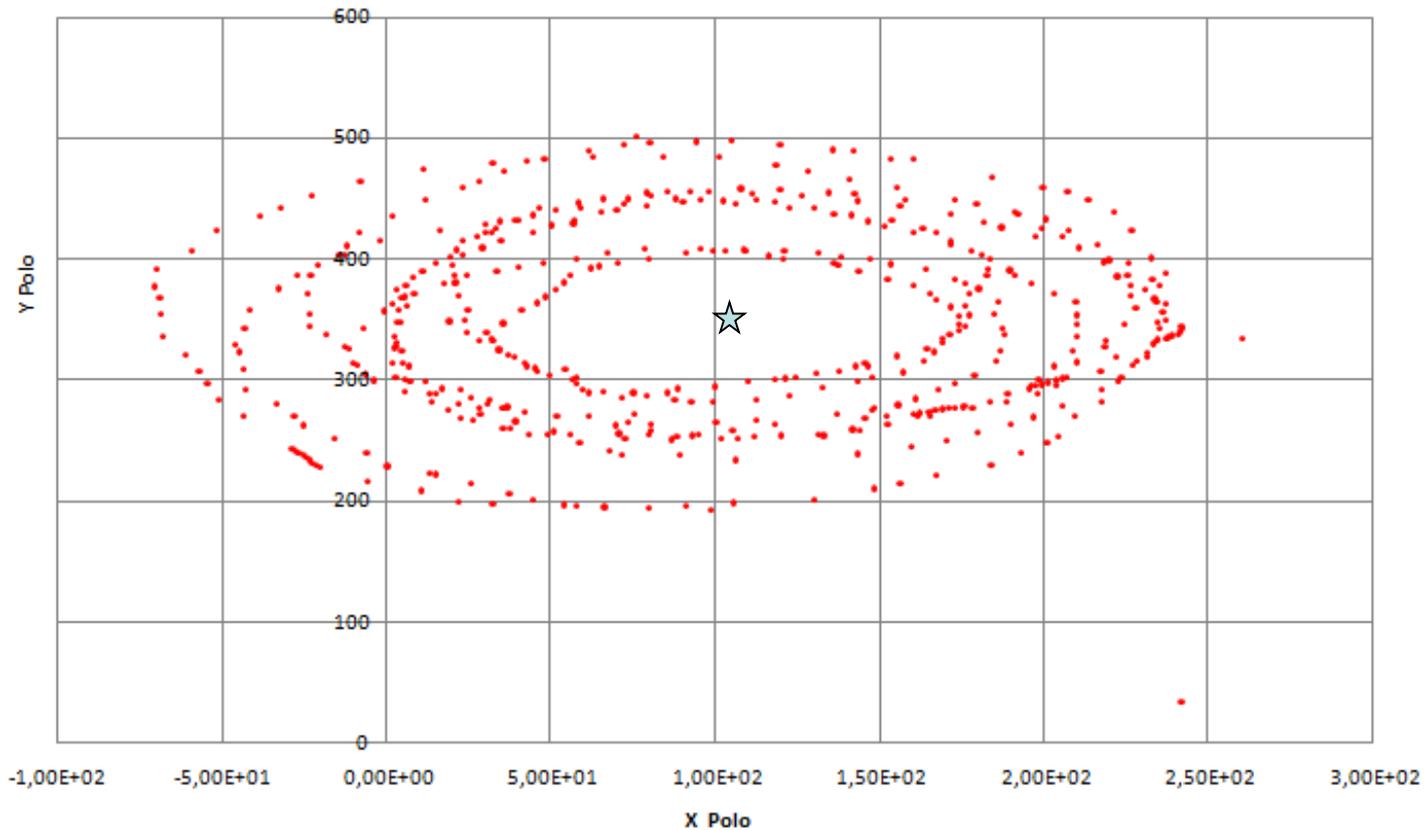
# IERS vs SLR



# Xp (IERS vs SLR) 2015



## Poloide



$$S=M*\alpha^{\rho}$$

$$M=\frac{a*(1-e^2)}{\Delta^3}$$

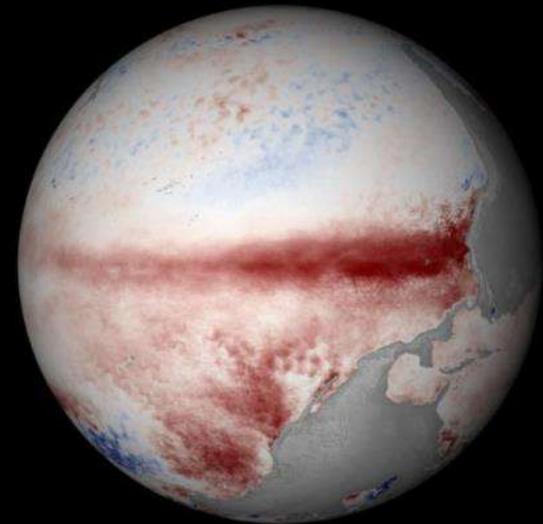
$$\Delta=\sqrt{1-e^2*\text{sen}^2 B}$$

El valor mínimo aproximado de distancia Polo Medio – Polo Instantáneo es de 6m, mientras que el valor máximo es de 14m.

# Diferencias IERS vs SLR

fecha			diferencias(msa)		Fenomenos Encontrados
dia	mes	año	x	y	
14	Enero	2010	-17.575649	0.2801871	Terremoto E.E.U.U magnitud 6.1
21	Enero	2010	-20.484861	1.2088096	Terremoto Mexico magnitud 5.9
14	junio	2010	15.898322	8.6339571	Terremotos: Mexico Tijuana magnitud 5.7
28	junio	2010	16.21196	5.0968603	Terremotos:Chile magnitud 5.8;Japon magnitud 5.9;Islas Salomon magnitud 5.8
1	julio	2010	18.012265	2.7877279	Terremotos:Indonesia magnitud 5.8
7	julio	2010	18.135933	2.8763119	Terremotos:Papúa Nueva Guinea magnitud 5.8
1	enero	2011	18.389582	0.3696742	Terremotos:Argentina magnitud 7.0
1	julio	2012	15.393748	7.0669822	Terremotos:Birmania India magnitud 5.6
1	julio	2015	66.501301	-52.799277	Comienzos del Fenómeno del Niño
14	julio	2016	20.808669	-13.73336	Terremoto Nueva Zelanda magnitud (6.3)
14	septiembre	2016	-24.010255	32.314101	Terremotos: Colombia magnitudes (6.1) (4.0) (4.8) (4.7) - Islas Salomón magnitud (6.0)
1	diciembre	2016	-18.532522	-9.4216528	Terremoto Peru magnitud (6.2)
7	julio	2017	17.343244	-3.1918024	Depresion Tropical Cuatro - Mexico
7	diciembre	2017	-23.334316	-20.639466	Terremotos: Polonia magnitud (4.7) - Pakistan magnitud (5.3) - China magnitud (5.1)

Fenómeno del Niño

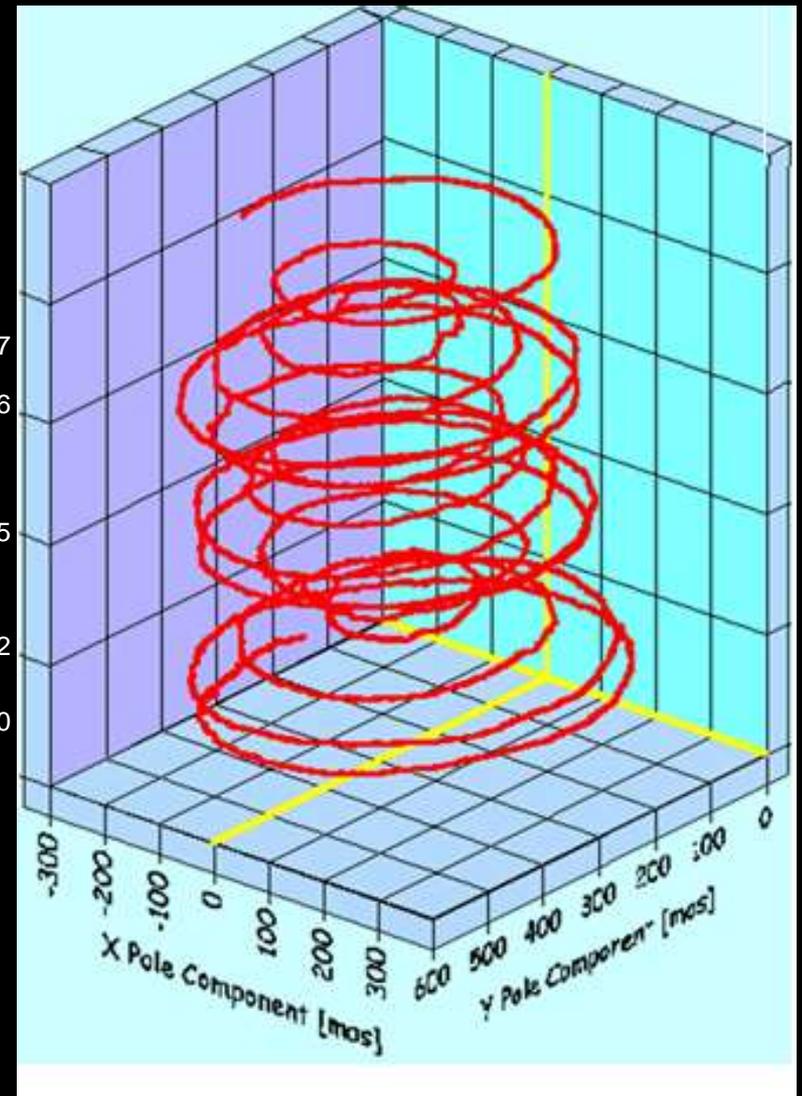


# CONCLUSIONES

- Las diferencias numéricas entre las curvas IERS y SLR, han permitido encontrar correspondencias entre variaciones máximas con fechas coincidentes con la existencia de algún fenómeno natural que puede ser el causante de dichas alteraciones, siendo la mas destacada la que corresponde al **fenómeno del Niño**.
- También se encontraron significativas diferencias en las curvas, con eventos sísmicos en el planeta de magnitudes de aproximadamente orden 6 o mayores.
- Se observó el desplazamiento del Polo Medio a lo largo de ocho años hacia el Oeste, determinación que concuerda con toda la bibliografía consultada. Una causa de este fenómeno, desplazamiento secular del Polo Medio, podría deberse al retraso continuo en la Rotación terrestre procedente de la fricción de las mareas contra el fondo marino.
- Durante la búsqueda de las diferencias máximas de coordenadas (IERS vs SLR), se pudo notar que en los meses de julio y diciembre periódicamente se encuentran las mayores discrepancias. Variaciones estacionales

# CONCLUSIONES

- La Poloide del IERS, obtenida para un intervalo de tiempo de 18 años, muestra amplitudes máximas y mínimas que se repiten en periodos que van de 4 a 6 años. Estas variaciones parecen estar correlacionadas con las fluctuaciones que sufre la rotación terrestre para los mismos periodos de tiempo encontrados. Las fluctuaciones son aceleraciones aleatorias irregulares positivas y negativas. Estos cambios irregulares en la velocidad de rotación estarían vinculados con procesos físicos que ocurren en el interior de la Tierra (desplazamiento de masas en su interior consecuencia de que la Tierra es un sólido deformable) actualmente son imposibles de predecir.



*Algunas causas del movimiento del polo son claras, pero estas no explican la trayectoria observada por completo. Por esta razón, es imprescindible observar y continuar los trabajos de investigación en este campo que está muy lejos de estar resuelto*



**MUCHAS GRACIAS**