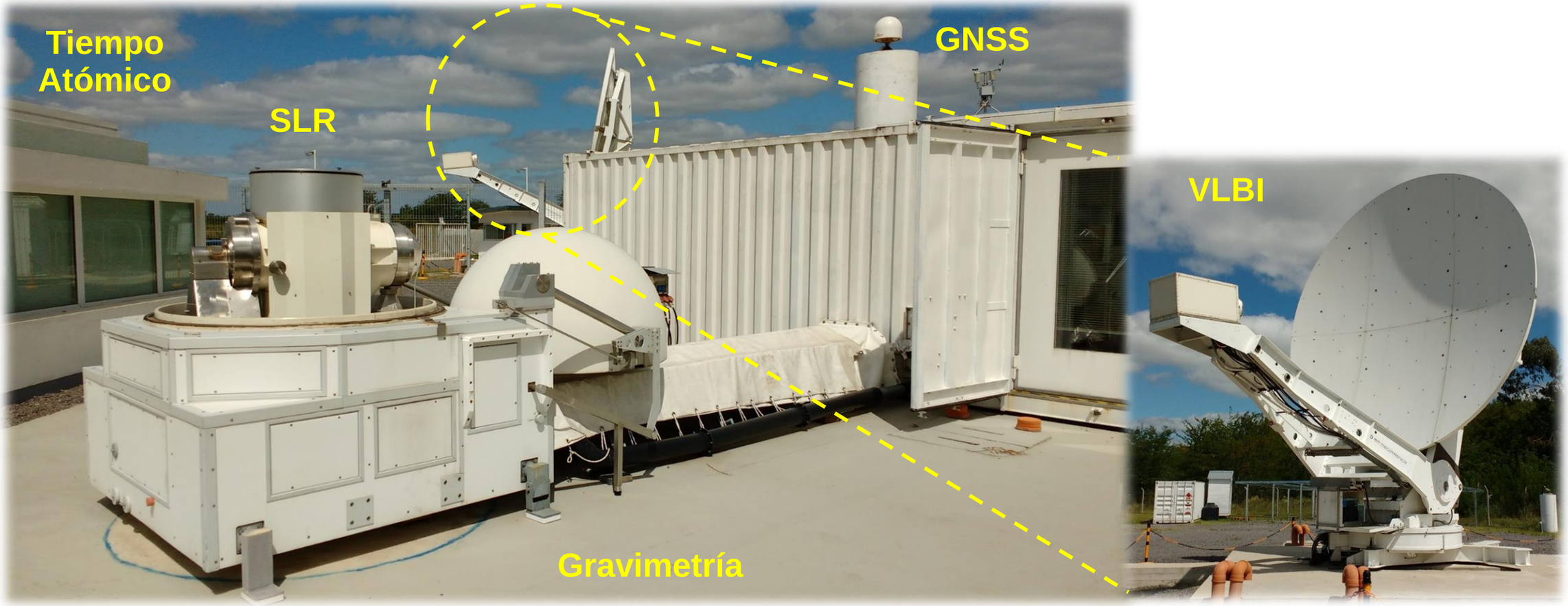
ESTABLECIMIENTO DE CENTROS DE PROCESAMIENTO PARA LAS TÉCNICAS DE VLBI Y SLR

S. CIMBARO, M. CARBONETTI,

R. ETCHEGOYEN, F. BARRERA

Observatorio Argentino-Alemán de Geodesia (AGGO)



Federal Agency for Cartography and Geodesy

CONICET

AGGO

- Inaugurado en julio del año 2015.
- Único observatorio de este tipo en América latina y el Caribe.

Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA)

En el año 2016, por Disposición 85/2016 del IGN se creó el Centro de Investigaciones Geodésicas Aplicadas (CIGA), con el propósito de procesar y analizar la información geodésica que provee el AGGO.

En 2017, el Instituto Geográfico Nacional (IGN) firmó un acuerdo junto con la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia alemana (BKG) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina (CONICET), con el fin de apoyar las observaciones del AGGO, donde se designó al CIGA como responsable del procesamiento y análisis de las observaciones geodésicas asociadas al AGGO.

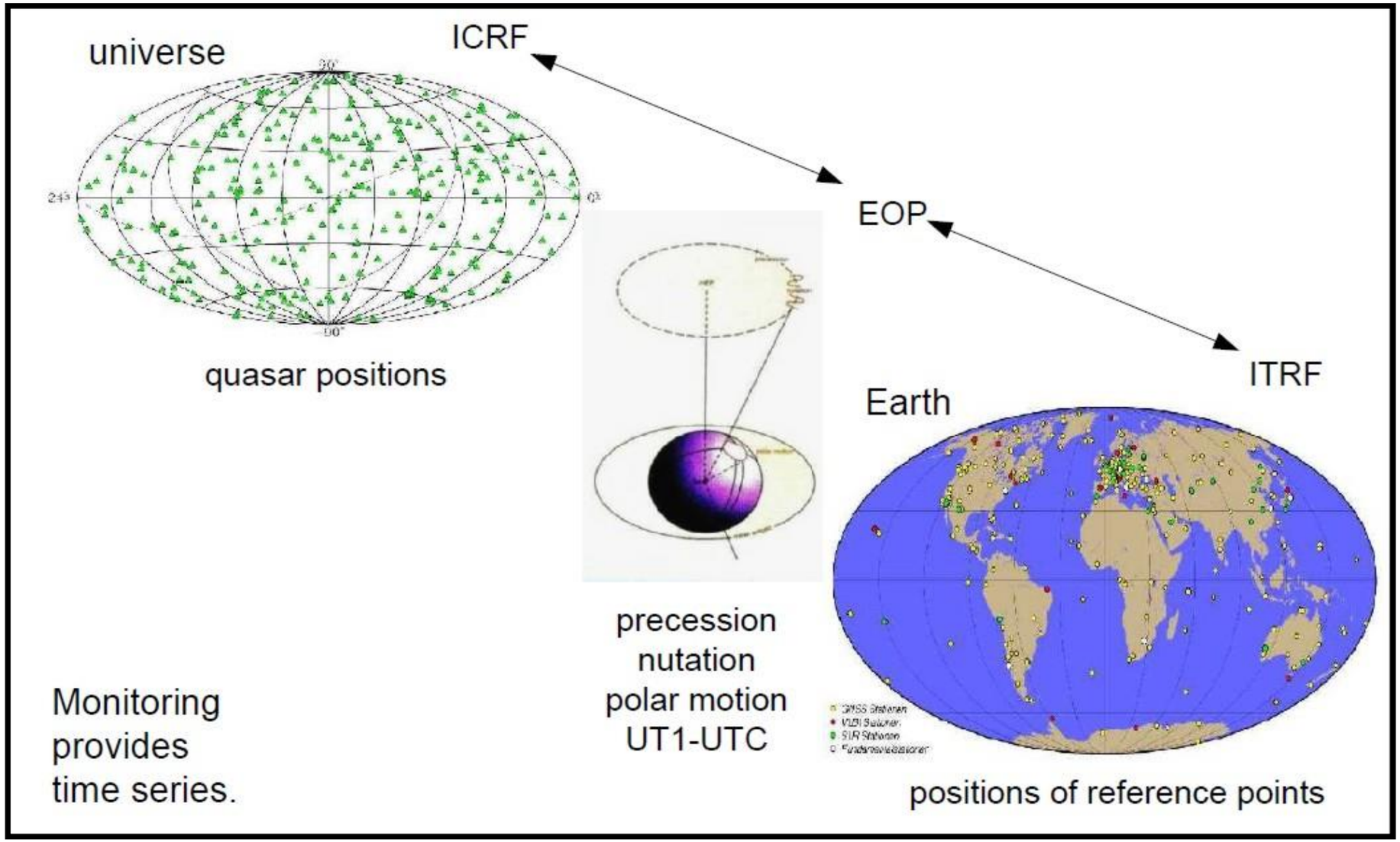
Federal Agency for Cartography and Geodesy

IGN Instituto Geográfico Nacional REPÚBLICA ARGENTINA

CONICET

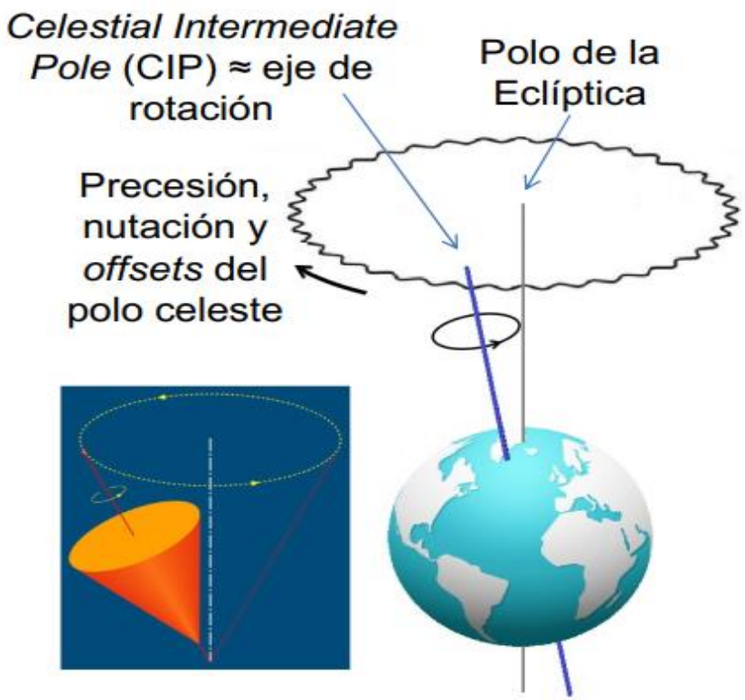
AGGO

Vínculo entre ICRF - ITRF

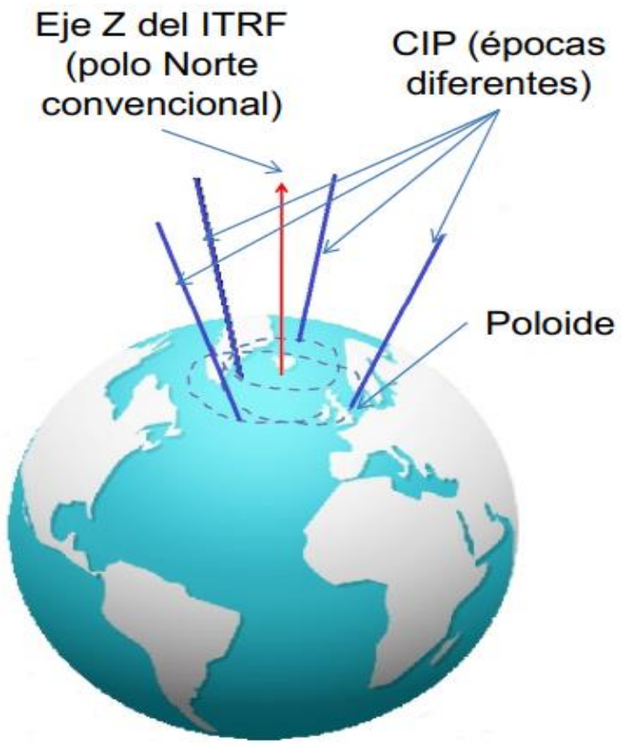


Parámetros de Orientación Terrestre

Rotación de la Tierra vista desde el sistema celeste



Rotación de la Tierra vista desde el sistema terrestre

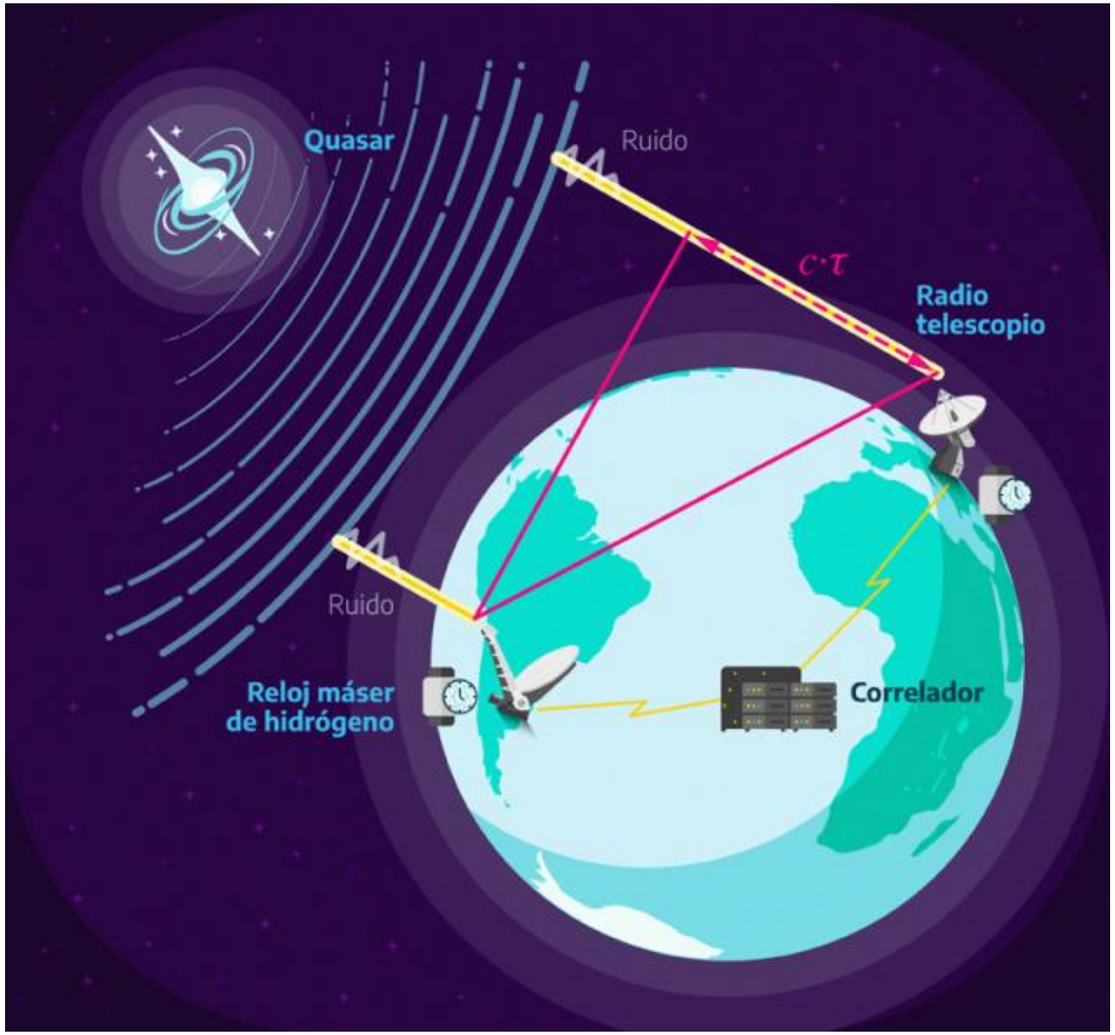


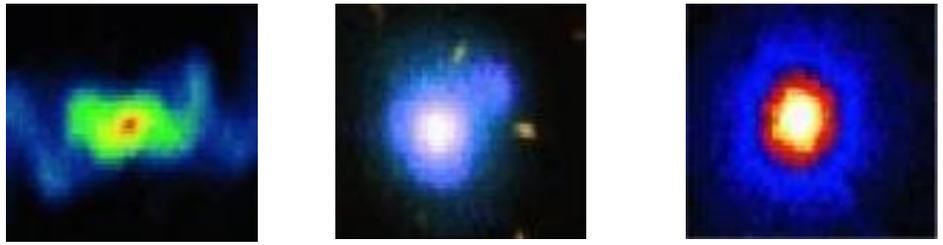
Irregularidades de la rotación

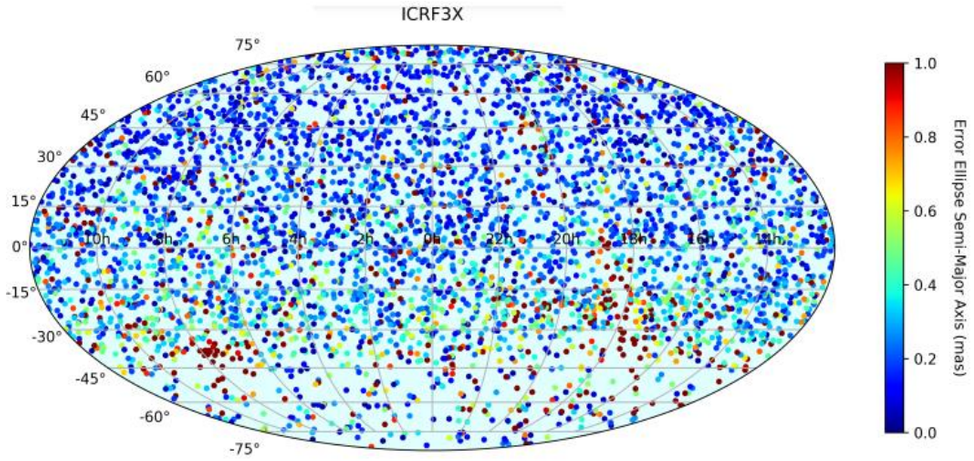
Aportes de las técnicas geodésicas espaciales

	GNSS	VLBI	SLR
Station coordinates + velocities	XG	XV	XS
Satellite orbits	X		X
Quasar coordinates		X	
Polar motion + rates	X	X	X
Universal Time (dUT)		X	
Length of Day (LOD)	X	X	X
Nutation (+ nutation rates)	*	X	*
Geocenter	*		X
Earth's gravity field	*		X
Troposphere	X	X	
Ionosphere	X	*	
Technique-specific parameters	xG	xV	xS

Principio de Funcionamiento de la Técnica VLBI







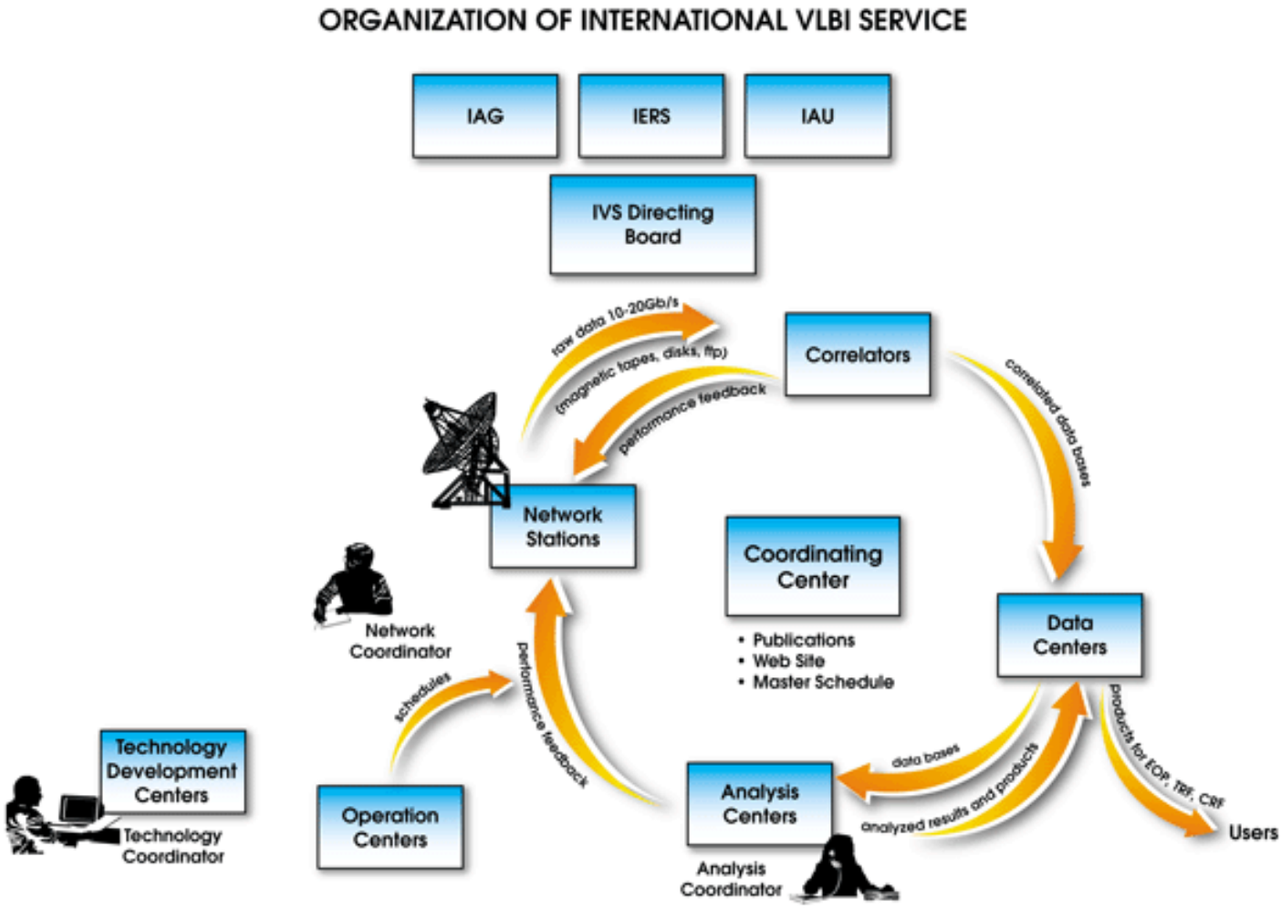
(1) Charlot, P., et al. (2020). The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry. *Astronomy & Astrophysics*, *644*, A159.

Contribución de la Técnica VLBI a la realización de los Marcos Celeste y Terrestre

(1) Geometría:
- Coordenadas y velocidades de las estaciones VLBI.
- Coordenadas de los cuásares.

(2) Rotación de la Tierra:
- Movimiento del Polo.
- Precesión/Nutación.
- Tiempo Universal (dUT).
- Longitud del Día (LOD).

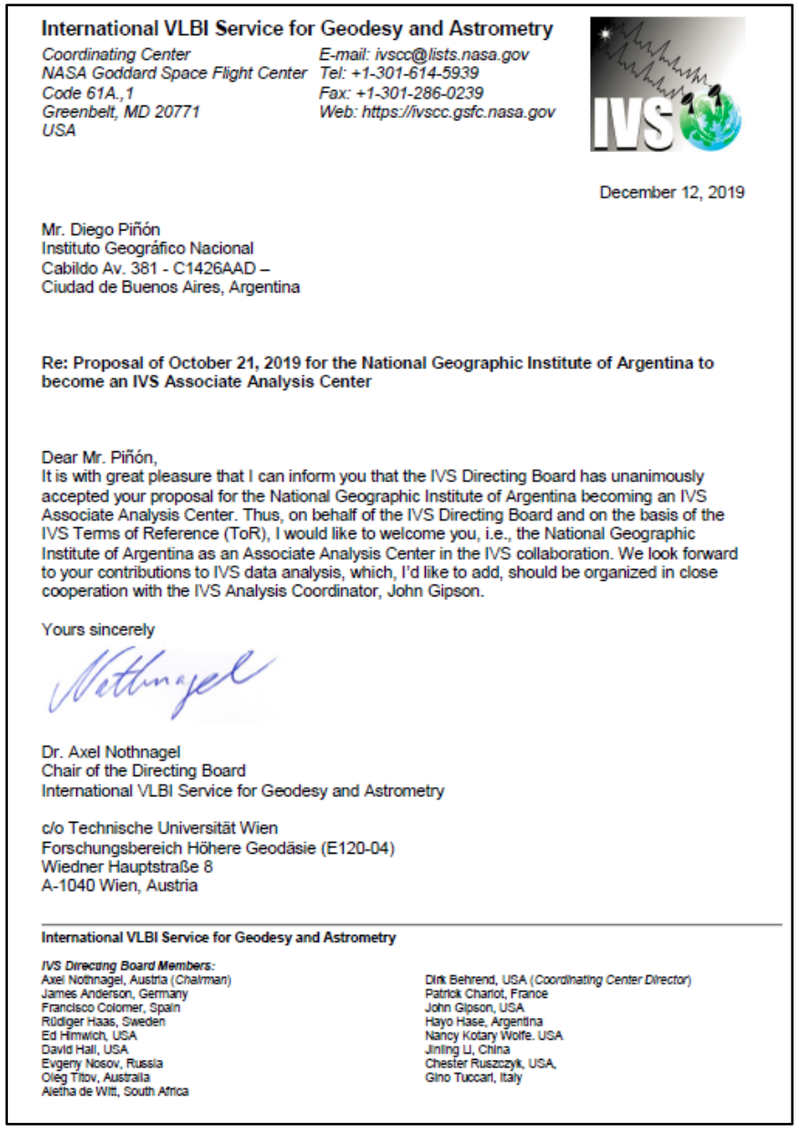
Funcionamiento del International VLBI Service (IVS)



- Centro de coordinación
- Red estaciones: Estaciones VLBI que adquieren el dato.
- Centros de operación: coordinan las actividades de la red de estaciones.
- Correladores: correlaciona las señales y provee un feedback a las estaciones.
- Centro de datos: distribuyen los productos a los usuarios y proveen un almacenamiento de todos los datos.
- Centros de análisis: Analizan los datos, entregando resultados y productos.
- Centros de desarrollo tecnológico: desarrollan nuevas tecnologías para VLBI.

FUENTE https://ivscc.gsfc.nasa.gov/

Centro de Análisis Asociado IGN



International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

Coordinating Center
NASA Goddard Space Flight Center
Code 61A.,1
Greenbelt, MD 20771
USA

E-mail: ivscc@lists.nasa.gov
Tel: +1-301-614-5939
Fax: +1-301-286-0239
Web: https://ivscc.gsfc.nasa.gov

December 12, 2019

Mr. Diego Piñón
Instituto Geográfico Nacional
Cabildo Av. 381 - C1426AAD –
Ciudad de Buenos Aires, Argentina

Re: Proposal of October 21, 2019 for the National Geographic Institute of Argentina to become an IVS Associate Analysis Center

Dear Mr. Piñón,
It is with great pleasure that I can inform you that the IVS Directing Board has unanimously accepted your proposal for the National Geographic Institute of Argentina becoming an IVS Associate Analysis Center. Thus, on behalf of the IVS Directing Board and on the basis of the IVS Terms of Reference (ToR), I would like to welcome you, i.e., the National Geographic Institute of Argentina as an Associate Analysis Center in the IVS collaboration. We look forward to your contributions to IVS data analysis, which, I'd like to add, should be organized in close cooperation with the IVS Analysis Coordinator, John Gipson.

Yours sincerely

Dr. Axel Nothnagel
Chair of the Directing Board
International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

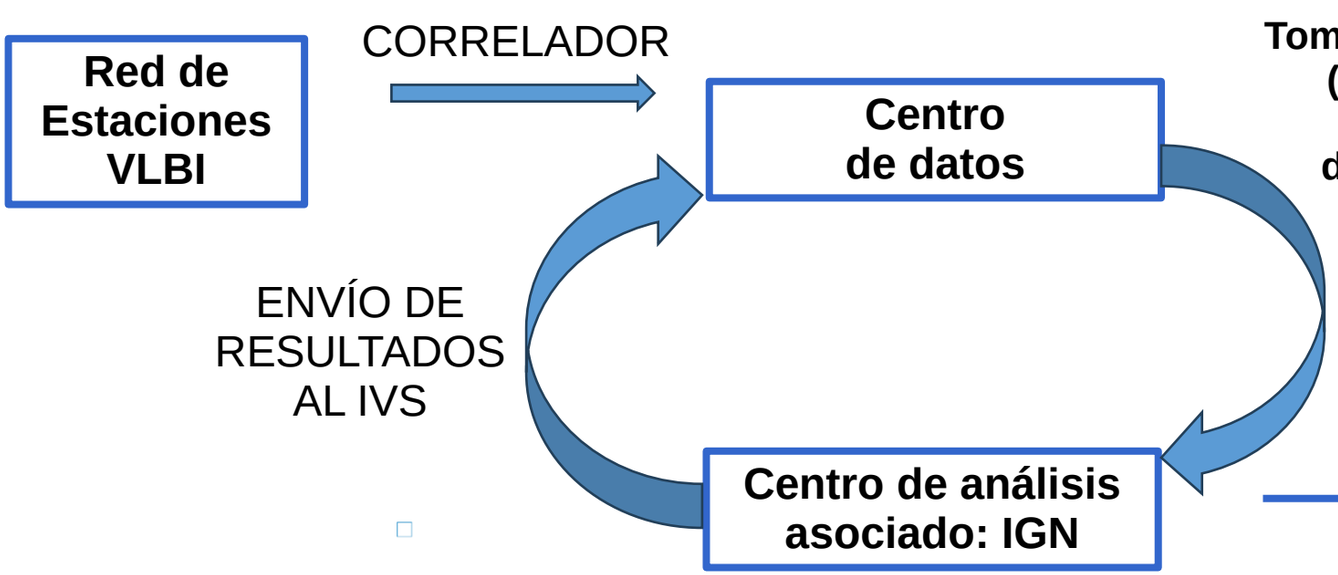
c/o Technische Universität Wien
Forschungsbereich Höhere Geodäsie (E120-04)
Wiedner Hauptstraße 8
A-1040 Wien, Austria

International VLBI Service for Geodesy and Astrometry

IVS Directing Board Members:
Axel Nothnagel, Austria (*Chairman*)
James Anderson, Germany
Francisco Colomer, Spain
Rüdiger Haas, Sweden
Ed Himwich, USA
David Hall, USA
Evgeny Nosov, Russia
Oleg Titov, Australia
Aletha de Witt, South Africa
Dirk Behrend, USA (*Coordinating Center Director*)
Patrick Charlot, France
John Gipson, USA
Hayo Hase, Argentina
Nancy Kotary Wolfe, USA
Jinling Li, China
Chester Ruszczyk, USA,
Gino Tuccari, Italy

Carta de aceptación de la Junta Directiva del **Servicio Internacional de VLBI para Geodesia y Astrometría**, donde acepta por unanimidad que el IGN de Argentina se transforme en un **Centro de Análisis Asociado del Servicio Internacional de VLBI**.

Centro de Análisis Asociado IGN



Tomamos los datos del CDDIS (Crustal Dynamics Data Information System) dependiente de la NASA

VGOSDB:
- **Retardos entre estaciones (Observable VLBI)**
- **Información de las sesiones**
- **Información de las estaciones**

Procesamiento

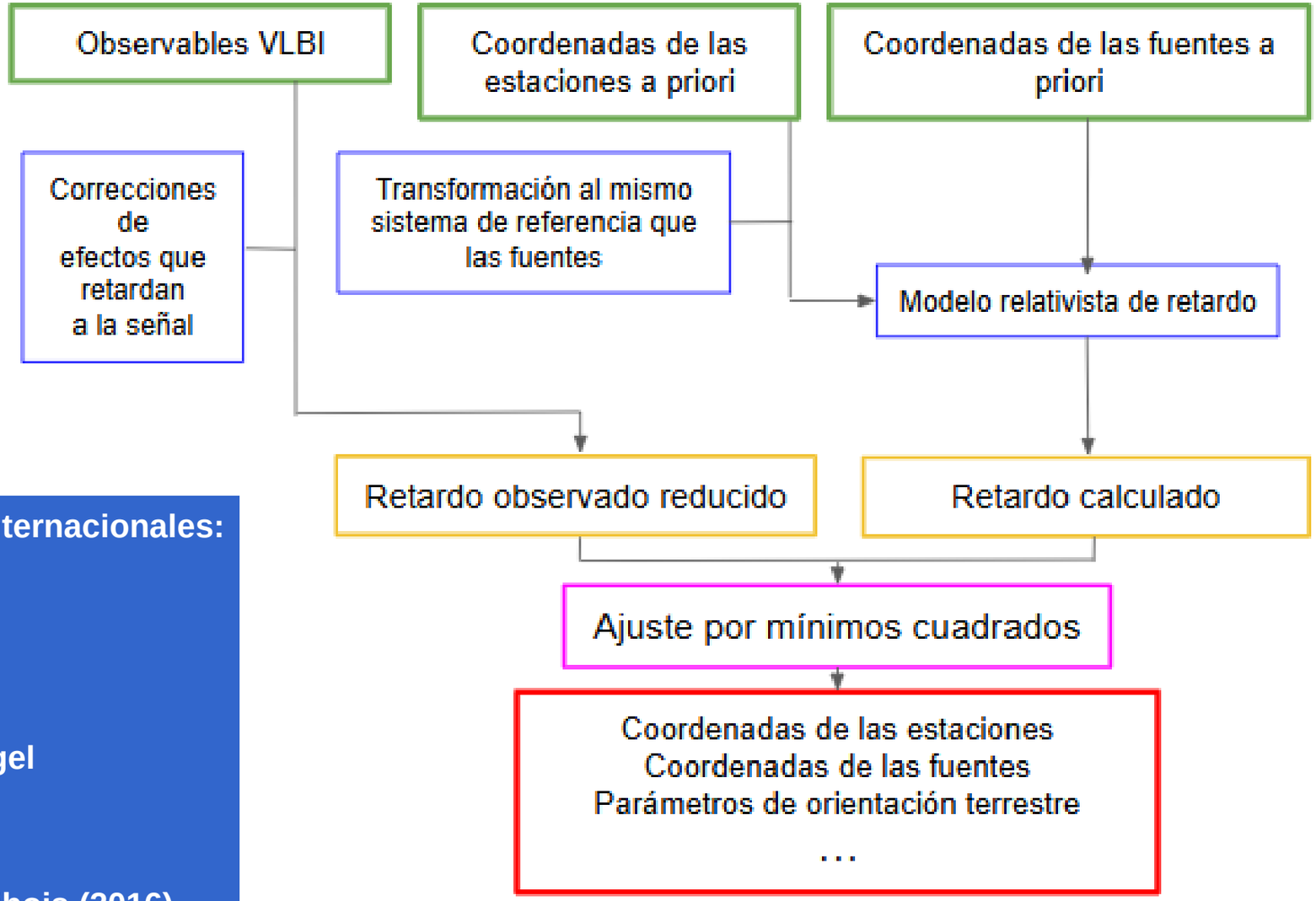
- **Sesiones R1/R4 de 24hs de observación** → **Destinadas a obtener EOP de forma rápida**
- **Sesiones Intensivas de 1h de observación** → **Destinadas a obtener UT1-UTC de forma rápida**

Un centro asociado a IVS debe entregar regularmente productos que serán utilizados para:

- Análisis de series de datos para fines específicos.
- Control externo de las soluciones de los centros operativos.
- Investigación de fenómenos regionales.
- Determinaciones especiales de EOP.

Procesamiento y análisis de los datos

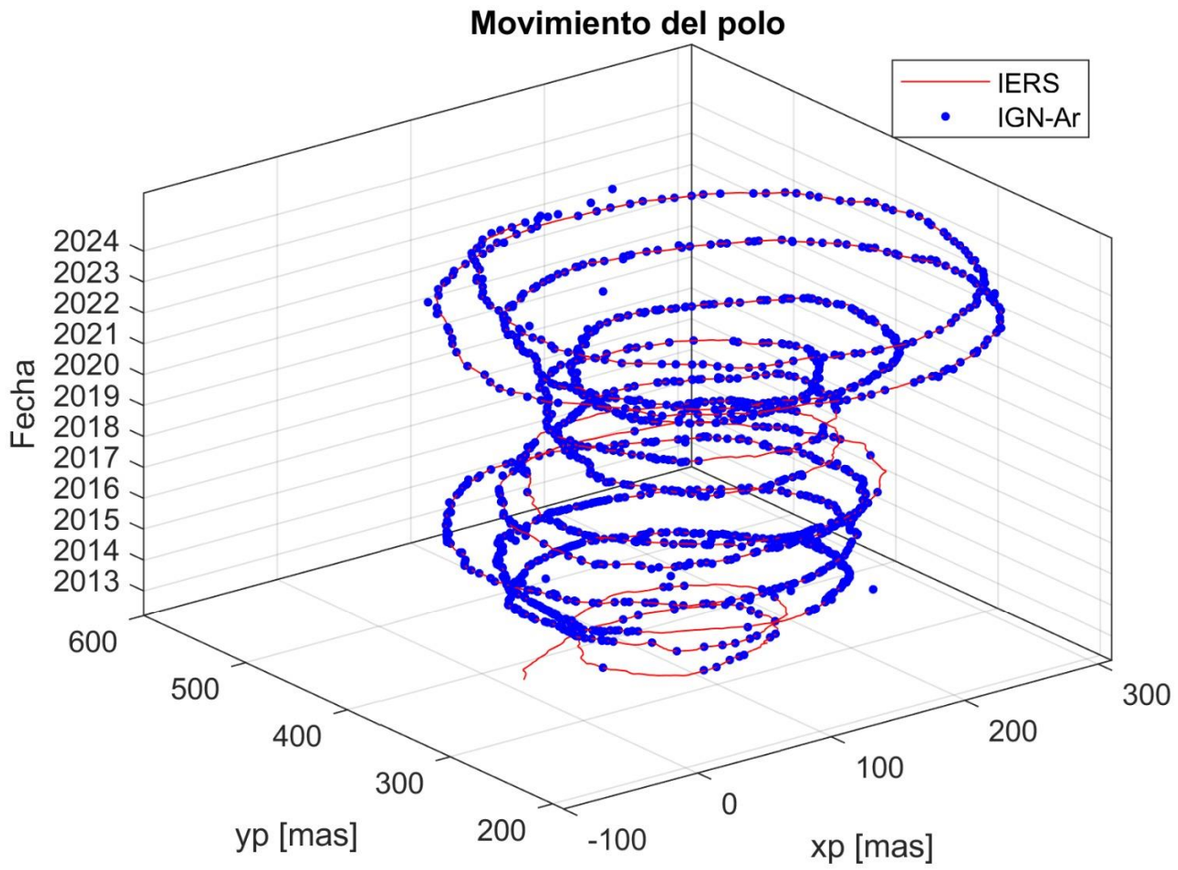
IGN utiliza el software científico VieVS (Vienna VLBI and Satellite Software), desarrollado en el Departamento de Geodesia y Geoinformación de la Universidad Técnica de Viena, Austria.

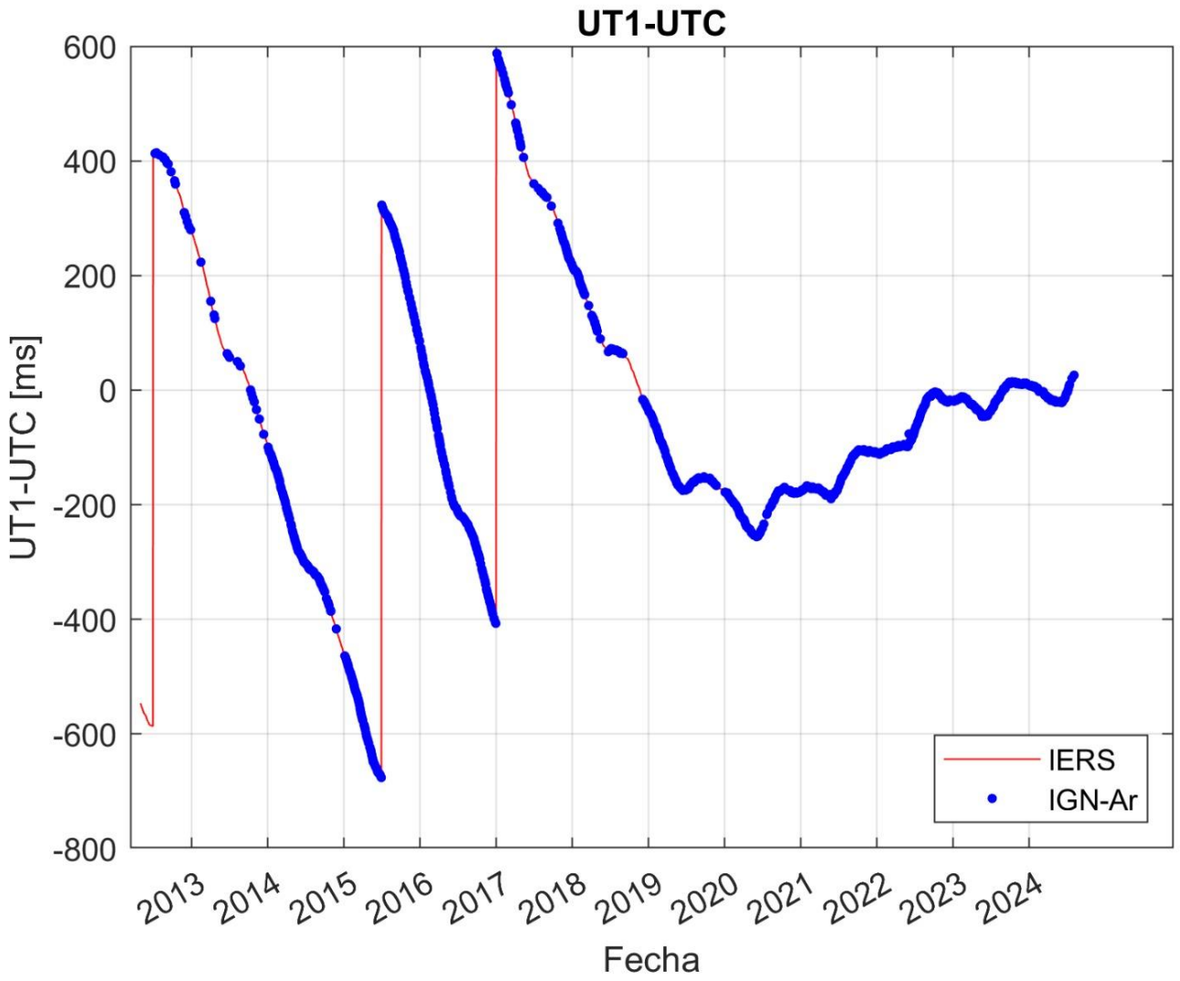


Se aplican los siguientes **modelos y estándares internacionales:**

- Marco de Referencia Terrestre: **ITRF2020**
- Marco de Referencia Celeste: **ICRF3**
- Función de mapeo troposférico: **VMF3**
- Modelo de carga oceánica: **TPX07.2**
- Modelo de deriva polar: **LINEAR IERS2019**
- Modelo de deformación térmica de antena: **Nothnagel**
- Modelo de carga atmosférica: **GSFC**
- Modelo de precesión/nutación: **IAU_2006/2000**
- A priori EOPs: **IERS C04 20**
- Modelo High Frequency EOP (HF-EOP): **Desai & Sibois (2016)**

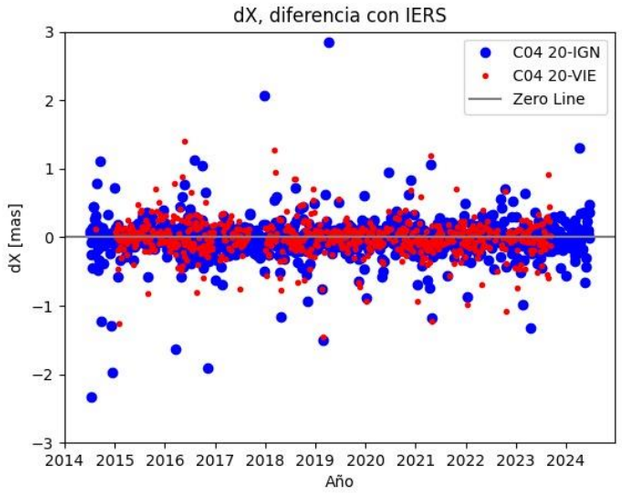
Resultados del procesamiento

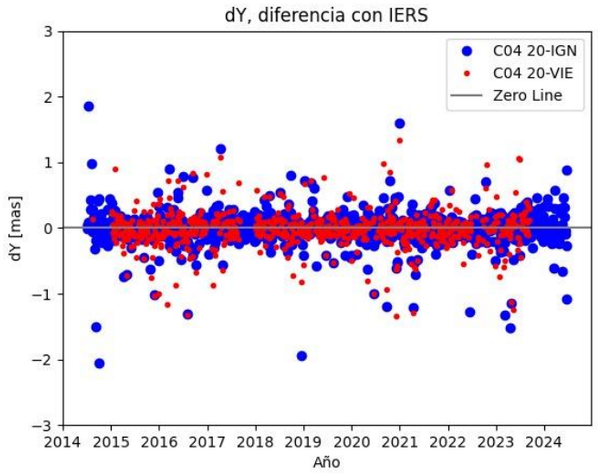


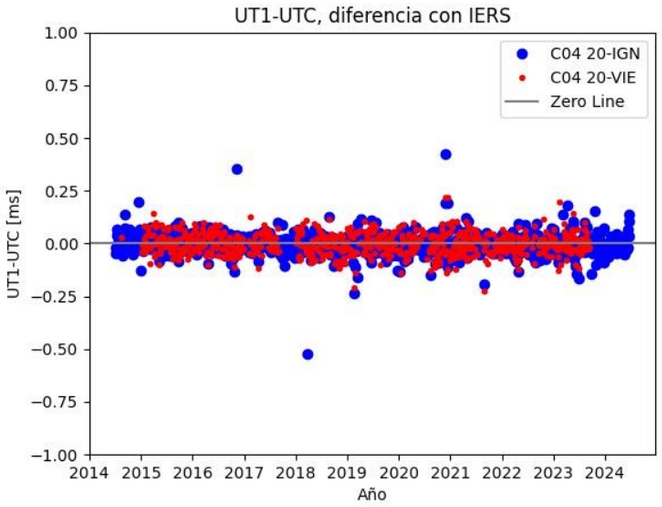


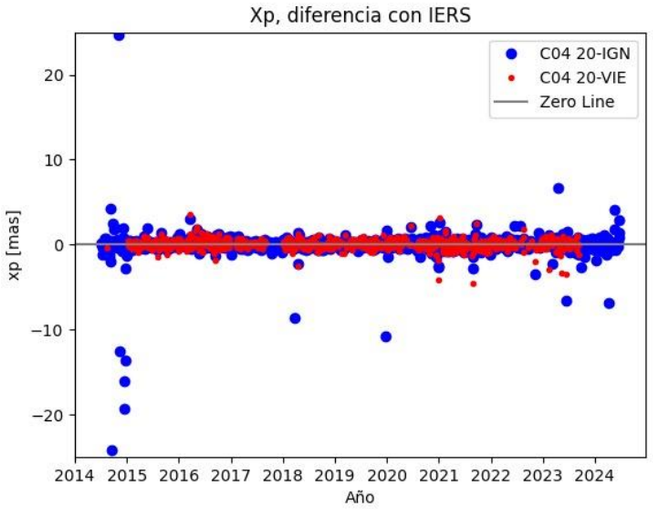
Comparación de los resultados con otros centros

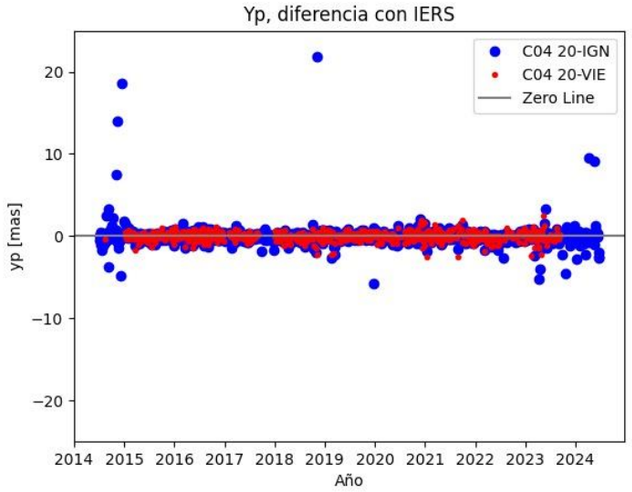
	μ_{IGN}[mas]	σ_{IGN} [mas]	μ_{VIE} [mas]	σ_{VIE} [mas]
UT1-UTC	0,000	0,048	0,000	0,052
XPO	0,077	0,648	0,038	0,638
YPO	-0,050	0,573	-0,043	0,549
DX	-0,018	0,236	-0,010	0,267
DY	-0,016	0,259	-0,016	0,284



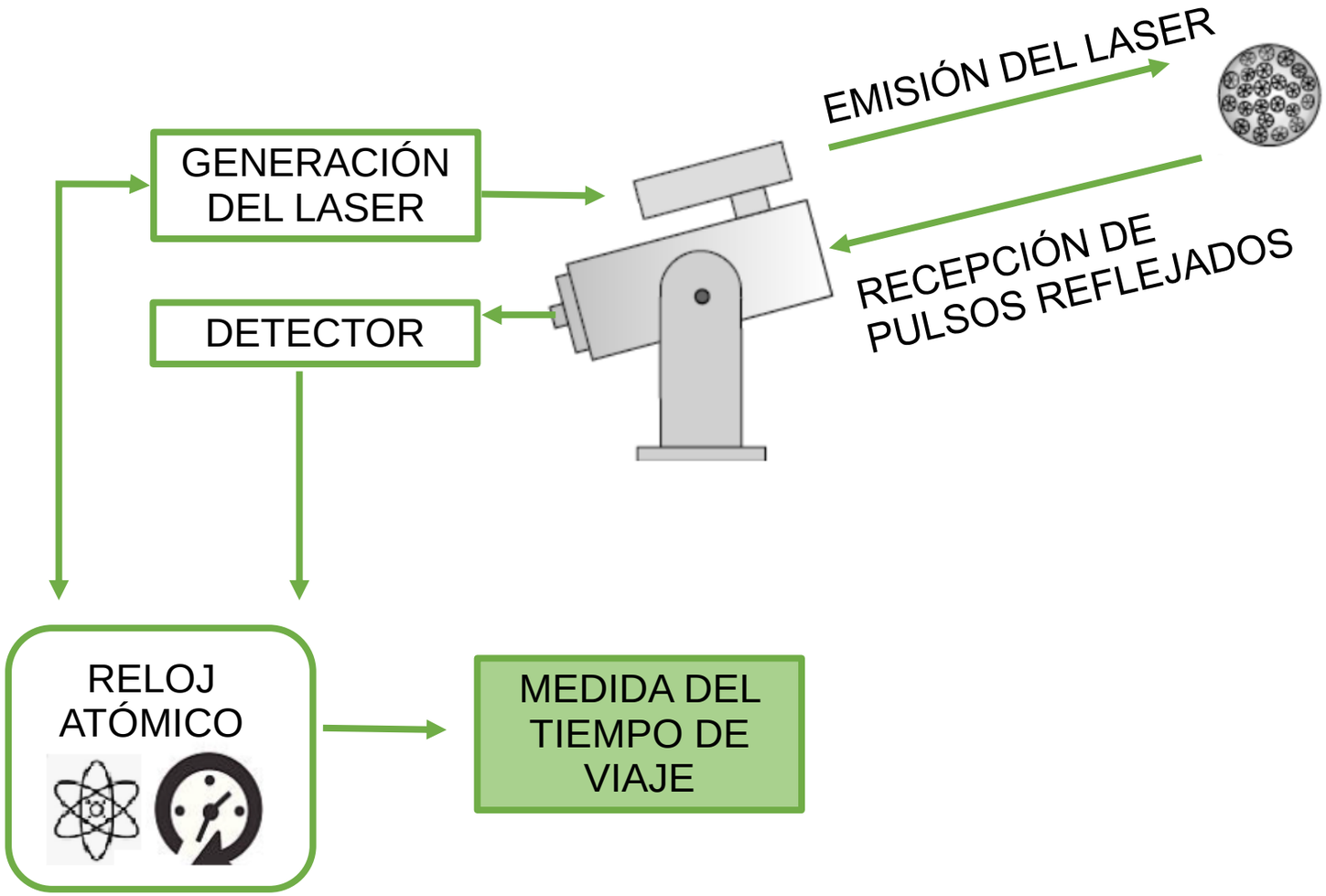








Principio de Funcionamiento de la Técnica SLR



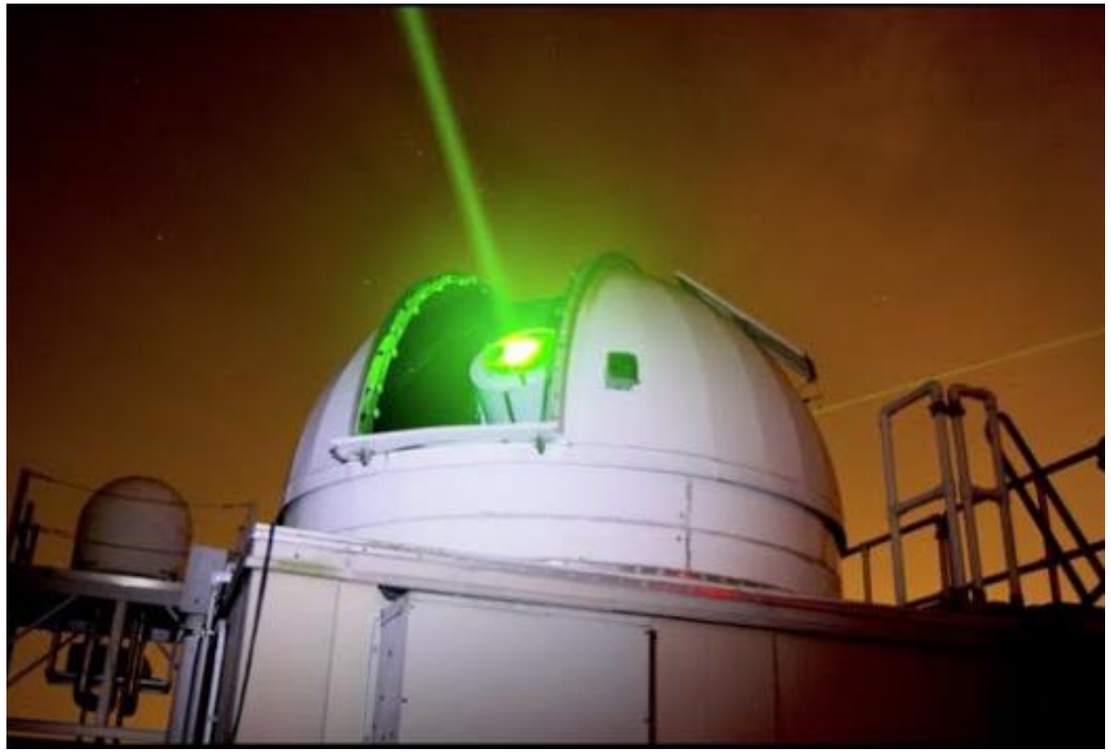
LAGEOS
EE.UU.

ETALON
RUSIA

LARES
ITALIA

AJISAI
JAPÓN

Contribución de la Técnica SLR a la realización del Marco Terrestre



Contribución de SLR a la realización del marco terrestre :

(1) Geometría:
- Coordenadas y velocidades de las estaciones SLR.

(2) Rotación de la Tierra:
- Movimiento del Polo.
- Longitud del Día (LOD).

(3) Campo Gravitatorio Terrestre (CGT).
- Posición del Geocentro.
- Contribución a los armónicos de bajo grado del CGT a partir del movimiento de los satélites.

SATELLITE LASER RANGING: FLUJO DE TRABAJO

Preparación de los datos de entrada

- **Parámetros del polo rápidos (finals200A)**
- **Órbitas LAGEOS y ETALON (.EPH o SP3)**
- **Normal points (datos SLR)**

Se descargan rutinariamente del repositorio del CDDIS
https://cddis.nasa.gov/archive/slr/

```
H1 CRD 01 2022  1 31 13
H2 HERL       7840 35 01 04
H3 lageos1     7603901 1155    08820 0 1
H4  1 2022  1 31 13  3 12 2022  1 31 13 38 13  0 0 0 0 1 0 2 0
C0 0   532.080   KS  khz SPD5  GPS T2L2
C1 0  khz    Nd-Yag   1064.16   1000.00      1.10  10.0 20.00   1
C2 0 SPD5 SPAD5        532.080 20.00   0.0   0.0      +0.7v   0.0  0.15  90.0   0.0 Single_fot
C3 0  GPS Radiocode_GPS_8000   Radiocode_GPS_8000   HxET_=_3x_dassault   No_Sn                  0.0
20 46500.480          1020.46 280.80  31. 0
20 46863.360          1020.52 281.00  31. 0
20 47217.600          1020.62 280.90  30. 0
20 47580.480          1020.70 280.80  30. 0
20 47761.920          1020.73 280.70  30. 0
20 48116.160          1020.88 280.70  30. 0
20 48479.040          1020.92 280.70  31. 0
20 48841.920          1020.94 280.80  32. 0
20 49196.160          1020.92 280.90  31. 0
40 46569.600         0   KS    3333    3333  122.977  104404.9     0.0  23.3   0.3  -0.3  -7.0 2 0 0
40 49230.720         0   KS    3769    3769  122.977  104404.2     0.0  20.7   0.2  -0.3  -1.0 2 0 0
50   KS   71.0  0.547 -0.373  -20.0 0
11 47017.3065004     0.047349756088   KS 2 120.0   657      83.0 -1.000 -1.000     -1.0  0.5 0
11 47101.2596488     0.046102842030   KS 2 120.0  2854      75.0 -1.000 -1.000     -1.0  2.4 0
11 47206.0925514     0.044667350334   KS 2 120.0  2523      73.0 -1.000 -1.000     -1.0  2.1 0
11 47339.9103840     0.043056329088   KS 2 120.0   944      75.0 -1.000 -1.000     -1.0  0.8 0
11 47752.9936470     0.039990551928   KS 2 120.0   836      58.0 -1.000 -1.000     -1.0  0.7 0
11 47817.5423964     0.039807523126   KS 2 120.0  6526      64.0 -1.000 -1.000     -1.0  5.4 0
11 47940.9736834     0.039696051137   KS 2 120.0  6946      72.0 -1.000 -1.000     -1.0  5.8 0
11 48012.5998940     0.039775669210   KS 2 120.0  1639      70.0 -1.000 -1.000     -1.0  1.4 0
11 48780.6672313     0.046553641382   KS 2 120.0  1237      77.0 -1.000 -1.000     -1.0  1.0 0
11 49044.3931632     0.050741574227   KS 2 120.0   913      75.0 -1.000 -1.000     -1.0  0.8 0
11 49087.3218512     0.051480404625   KS 2 120.0   226      73.0 -1.000 -1.000     -1.0  0.2 0
H8
```

Archivo de normal points (.npt) versión 1 para el satélite LAGEOS 1.
https://cddis.nasa.gov/archive/slr/npt_crd/lageos1

```
#cV2017  7 23  0  0  0.00000000    5040 SLR   ITRF2 FIT  BKG
## 1959      0.00000000   120.00000000 57957 0.0000000000000
+    1   L51  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
+          0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
+          0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
+          0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
+          0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
++         0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
++         0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
++         0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
++         0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
++         0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
%c L  cc UTC ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%c cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc ccccc
%f  1.2500000  1.025000000  0.00000000000  0.000000000000000
%f  0.0000000  0.000000000  0.00000000000  0.000000000000000
%i    0    0    0    0    0    0    0    0    0
%i    0    0    0    0    0    0    0    0    0
/* 7-day orbit from BKG SLR analysis
/* Fixed reference frame SLRF2014 and EOPs
/* Satellite L51
/*
*  2017  7 23  0  0  0.00000000
PL51  10261.009796   5986.375429   3159.635489 999999.999999
VL51  26093.637060 -17926.896835 -51541.183823 999999.999999
*  2017  7 23  0  2  0.00000000
PL51  10556.561616   5759.701195   2536.573023 999999.999999
VL51  23146.772281 -19834.212420 -52275.857521 999999.999999
*  2017  7 23  0  4  0.00000000
PL51  10816.116472   5510.799796   1905.660453 999999.999999
VL51  20095.958618 -21630.178167 -52849.163821 999999.999999
```

Archivo de órbitas de satélte LAGEOS 1
https://cddis.nasa.gov/archive/slr/products/orbits/lageos1

SATELLITE LASER RANGING: FLUJO DE TRABAJO

Preparación de los datos de entrada

- **Parámetros del polo rápidos (finals200A)**
- **Órbitas LAGEOS y ETALON (.EPH o SP3)**
- **Normal points (datos SLR)**

Se descargan rutinariamente del repositorio del CDDIS
https://cddis.nasa.gov/archive/slr/

Preprocesamiento

- **Actualización de coordenadas y polo**
- **Concatenación y resampling de órbitas**
- **Conversión de normal points a archivos de observación y meteorológicos**

```
     2              OBSERVATION DATA    M (MIXED)           RINEX VERSION / TYPE
QLRINEXO BSW V5.0   AIUB                21-OCT-24 15:05     PGM / RUN BY / DATE
CRD2RNX0_212110: TRANSFORM NPs TO RINEX                     COMMENT
STATION ID:  7810                                           COMMENT
CDP SYSNUM:    68   CDP OCCNUM:    01   SYS CONFIG:     1   COMMENT
W-LENGTH 1:   532   W-LENGTH 2:     0                       COMMENT
EPOCH TIME SCALE REFERENCE    : UTC (GPS)                   COMMENT
EPOCHS: TIME OF SIGNAL RECEPTION IN GPS TIME FRAME          COMMENT
RANGES: 0.5 * C * FLIGHT TIME (M)                           COMMENT
7810                                                        MARKER NAME
14001S007                                                   MARKER NUMBER
                                                            OBSERVER / AGENCY
68                  SLR                 01                  REC # / TYPE / VERS
                    SLR                                     ANT # / TYPE
        0.0000        0.0000        0.0000                  APPROX POSITION XYZ
        0.0000        0.0000        0.0000                  ANTENNA: DELTA H/E/N
  5321     0                                                WAVELENGTH FACT L1/2
     1    R1                                                # / TYPES OF OBSERV
  2021     7    30     1    48    6.852768      GPS         TIME OF FIRST OBS
  2021     7    30    11    54   56.003782      GPS         TIME OF LAST OBS
                                                            END OF HEADER
 21  7 30  1 48  7.0000000  0  1L52                                -0.147232369
   6425354.39715
 21  7 30  1 48 40.0000000  0  1L52                                -0.045956311
   6376795.810 5
 21  7 30  1 52 10.0000000  0  1L52                                -0.008876326
   6118972.069 6
 21  7 30  1 53  6.0000000  0  1L52                                 0.414367839
   6065634.712 9
 21  7 30  1 55 21.0000000  0  1L52                                 0.018915617
   5967868.743 9
 21  7 30  1 57 18.0000000  0  1L52                                 0.171383624
   5918103.937 9
 21  7 30  1 59 17.0000000  0  1L52                                -0.387921333
   5902370.987 9
 21  7 30  2  1 46.0000000  0  1L52                                 0.397481855
   5932827.952 7
 21  7 30  2  2 55.0000000  0  1L52                                -0.494702765
   5965113.553 5
 21  7 30  2  9 52.0000000  0  1L52                                -0.376622528
   6396849.708 8
 21  7 30  2 11 23.0000000  0  1L52                                 0.339132902
   6540064.661 8
 21  7 30  2 14  2.0000000  0  1L52                                -0.276588583
   6821646.664 6
 21  7 30  2 14 55.0000000  0  1L52                                 0.403547540
   6925993.455 8
```

```
     2              METEOROLOGICAL DATA                 RINEX VERSION / TYPE
QLRINEXO BSW V5.0   AIUB                21-OCT-24 15:05     PGM / RUN BY / DATE
CRD2RNX0_212110: TRANSFORM NPs TO RINEX                     COMMENT
STATION ID:  7810                                           COMMENT
CDP SYSNUM:    68   CDP OCCNUM:    01   SYS CONFIG:     1   COMMENT
W-LENGTH 1:   532   W-LENGTH 2:     0                       COMMENT
EPOCH TIME SCALE REFERENCE    : UTC (GPS)                   COMMENT
EPOCHS: TIME OF SIGNAL RECEPTION IN GPS TIME FRAME          COMMENT
RANGES: 0.5 * C * FLIGHT TIME (M)                           COMMENT
7810                                                        MARKER NAME
     3    PR    TD    HR                                    # / TYPES OF OBSERV
                                                            END OF HEADER
 21  7 30  1 48  7  912.2   13.1   64.0
 21  7 30  1 48 40  912.2   13.1   64.0
 21  7 30  1 52 10  912.2   13.1   64.0
 21  7 30  1 53  6  912.2   13.1   64.0
 21  7 30  1 55 21  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  1 57 18  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  1 59 17  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  2  1 46  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  2  2 55  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  2  9 52  912.2   13.0   64.0
 21  7 30  2 11 23  912.1   13.1   64.0
 21  7 30  2 14  2  912.1   13.1   64.0
 21  7 30  2 14 55  912.1   13.1   64.0
 21  7 30  5 37 54  911.7   13.1   68.0
 21  7 30  5 38 31  911.7   13.1   68.0
 21  7 30  5 45 24  911.7   13.4   68.0
 21  7 30  5 47 14  911.7   13.4   68.0
 21  7 30  5 48 53  911.7   13.5   67.0
 21  7 30  5 52  5  911.7   13.6   67.0
 21  7 30  5 52 53  911.7   13.6   67.0
 21  7 30  6 17 25  911.8   14.0   68.0
 21  7 30 10  1 35  911.7   17.0   64.0
 21  7 30 10  3 47  911.7   17.0   64.0
 21  7 30 10  5 14  911.7   17.0   64.0
 21  7 30 10  6 49  911.6   17.2   64.0
 21  7 30 10 11 54  911.6   17.3   64.0
 21  7 30 10 12 43  911.6   17.3   64.0
 21  7 30 11 33 32  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 35 30  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 37 10  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 39 18  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 41 22  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 43 22  911.0   19.1   64.0
 21  7 30 11 45 14  911.0   19.2   64.0
 21  7 30 11 47 15  911.0   19.2   64.0
```

A partir del archivo de normal points se obtienen el archivo de observaciones (con un formato RINEX) y un archivo con información meteorológica.

SATELLITE LASER RANGING: FLUJO DE TRABAJO

Preparación de los datos de entrada

- Parámetros del polo rápidos (finals200A)
- Órbitas LAGEOS y ETALON (.EPH o SP3)
- Normal points (datos SLR)

Se descargan rutinariamente del repositorio del CDDIS https://cddis.nasa.gov/archive/slr/

Preprocesamiento

- Actualización de coordenadas y polo
- Concatenación y resampling de órbitas
- Conversión de normal points a archivos de observación y meteorológicos

Órbita estándar

- Resolución de la ecuación de movimiento de cada satélite por integración numérica.
- Determinación de 6 parámetros orbitales y hasta 9 dinámicos.
- Output: órbita estándar con la información de las órbitas y un archivo de presión de radiación, necesario si se van a estimar parámetros orbitales.

RMS ERRORS AND MAX. RESIDUALS ARC NUMBER: 1 ITERATION: 4

SAT	#POS	RMS (M)	QUADRATIC MEAN OF O-C (M) TOTAL	RADIAL	ALONG	OUT	MAX. RESIDUALS (M) RADIAL	ALONG	OUT
951	336	0.183	0.182	0.001	0.247	0.197	0.004	0.391	0.399
952	336	0.174	0.173	0.001	0.208	0.216	0.003	0.330	0.376
953	336	0.375	0.373	0.009	0.492	0.420	0.020	0.807	0.773
954	336	0.379	0.377	0.015	0.498	0.422	0.035	0.827	0.824

RPR PARAMETERS AND RMS ERRORS ARC NUMBER: 1 ITERATION: 4

SAT	D0 (M/S**2*1.D-7)	RMS	S0 (M/S**2*1.D-10)	RMS	W0 (M/S**2/D*1.D-7)	RMS
951			-0.01374	0.00248		
952			-0.01772	0.00260		
953			-0.01352	0.00503		
954			0.00469	0.00508		

RPR PARAMETERS AND RMS ERRORS ARC NUMBER: 1 ITERATION: 4

SAT	R COS (M/S**2*1.D-7)	RMS	S COS (M/S**2*1.D-7)	RMS	W COS (M/S**2/D*1.D-7)	RMS
951			0.00024	0.00017	0.00096	0.00075
952			0.00123	0.00016	0.00029	0.00073
953			0.00016	0.00012	0.00184	0.00052
954			-0.00185	0.00012	0.00111	0.00052

RPR PARAMETERS AND RMS ERRORS ARC NUMBER: 1 ITERATION: 4

SAT	R SIN (M/S**2*1.D-7)	RMS	S SIN (M/S**2*1.D-7)	RMS	W SIN (M/S**2/D*1.D-7)	RMS
951			0.00064	0.00017	0.01291	0.00075
952			0.00190	0.00016	-0.01488	0.00072
953			0.00065	0.00012	-0.00238	0.00051
954			-0.00265	0.00012	-0.00135	0.00052

RMS de la iteración 4 del método de integración numérica

SATELLITE LASER RANGING: FLUJO DE TRABAJO

Preparación de los datos de entrada

- Parámetros del polo rápidos (finals200A)
- Órbitas LAGEOS y ETALON (.EPH o SP3)
- Normal points (datos SLR)

Se descargan rutinariamente del repositorio del CDDIS https://cddis.nasa.gov/archive/slr/

Preprocesamiento

- Actualización de coordenadas y polo
- Concatenación y resampling de órbitas
- Conversión de normal points a archivos de observación y meteorológicos

Órbita estándar

- Resolución de la ecuación de movimiento de cada satélite por integración numérica.
- Determinación de 6 parámetros orbitales y hasta 9 dinámicos.
- Output: órbita estándar con la información de las órbitas y un archivo de presión de radiación, necesario si se van a estimar parámetros orbitales.

Ajuste por mínimos cuadrados

- Método iterativo para estimar ecuaciones normales para EOPs y parámetros:
  - Xpo, Ypo
  - LOD
  - Geocentro
  - Coordenadas estaciones
  - Elementos orbitales

Detección y eliminación de outliers

Residual Statistics

SAT	STATION	#OBS	MEAN(mm)	RMS(mm)	SIGMA(mm)
L51	1873 12337S003	6	38.7	49.4	33.7
L52	1873 12337S003	5	88.9	89.8	14.6
L51	1886 12373S001	14	-33.0	37.9	19.3
L52	1886 12373S001	4	-106.2	106.4	7.7
L51	1893 12337S006	8	-13.5	14.8	6.6
L52	1893 12337S006	9	-3.9	52.8	55.8
L51	7090 50107M001	25	7.7	12.3	9.8
L52	7090 50107M001	25	-1.8	10.7	10.8
L54	7090 50107M001	13	0.0	5.0	5.2
L53	7090 50107M001	16	-0.0	4.4	4.6
L51	7105 40451M105	34	-4.8	7.0	5.1
L52	7105 40451M105	31	0.3	7.4	7.5
L51	7249 21601S004	11	22.5	28.9	18.9
L52	7249 21601S004	6	9.5	15.8	13.8
L52	7396 21602S008	3	12.7	12.8	1.2
L52	7501 30302M003	21	8.5	9.9	5.2
L52	7503 30301S010	10	-0.0	16.2	17.0
L51	7810 14001S007	3	37.7	40.4	17.8
L52	7810 14001S007	6	4.5	16.1	16.9
L51	7821 21605S010	28	8.6	20.9	19.4
L52	7821 21605S010	25	-6.2	11.1	9.4
L53	7821 21605S010	4	-0.0	1.4	1.6
L51	7825 50119S003	36	-2.6	8.1	7.8
L52	7825 50119S003	32	-0.3	7.4	7.5
L51	7827 14201S045	11	-2.2	17.5	18.2
L53	7827 14201S045	4	0.0	0.9	1.1
L51	7941 12734S008	28	-0.7	6.6	6.6
L52	7941 12734S008	15	1.1	14.6	15.1
L54	7941 12734S008	16	-0.0	1.6	1.6
Total		400	-0.6	9.0	9.0

NUMBER OF EDIT REQUESTS: 4

Estadísticas de los residuos y cuáles serán marcados como outliers.

SATELLITE LASER RANGING: FLUJO DE TRABAJO

Preparación de los datos de entrada

- Parámetros del polo rápidos (finals200A)
- Órbitas LAGEOS y ETALON (.EPH o SP3)
- Normal points (datos SLR)

Se descargan rutinariamente del repositorio del CDDIS https://cddis.nasa.gov/archive/slr/

Preprocesamiento

- Actualización de coordenadas y polo
- Concatenación y resampling de órbitas
- Conversión de normal points a archivos de observación y meteorológicos

Órbita estándar

- Resolución de la ecuación de movimiento de cada satélite por integración numérica.
- Determinación de 6 parámetros orbitales y hasta 9 dinámicos.
- Output: órbita estándar con la información de las órbitas y un archivo de presión de radiación, necesario si se van a estimar parámetros orbitales.

Ajuste por mínimos cuadrados

Resolución diaria

- Método iterativo para estimar ecuaciones normales para EOPs y parámetros:
  - Xpo, Ypo
  - LOD
  - Geocentro
  - Coordenadas estaciones
  - Elementos orbitales

Detección y eliminación de outliers

Apilado de ecuaciones normales

Apilado semanal

- Combina resultados de las ejecuciones del ajuste anterior.
- El resultado será un SINEX con los parámetros estimados + un archivo de elementos orbitales en caso de estimarlos:
  - EOPs 1 cada 12hs
  - Coordenadas 1 set por día
  - Geocentro: 1 por semana
  - Elementos orbitales 1 set por semana

Procesamiento y análisis de los datos

RESULTADOS: ARCHIVO SINEX

```
*-------------------------------------------------------------
+SOLUTION/STATISTICS
* _STATISTICAL PARAMETER_________ __VALUE(S)_____________
 NUMBER OF OBSERVATIONS                                 1780
 NUMBER OF UNKNOWNS                                      173
 NUMBER OF DEGREES OF FREEDOM                           1607
 PHASE MEASUREMENTS SIGMA                            0.00200
 SAMPLING INTERVAL (SECONDS)                             120
 SQUARE SUM OF RESIDUALS (VTPV)          0.617208908881379
 WEIGHTED SQUARE SUM OF O-C              5.888975802682309
-SOLUTION/STATISTICS
```

Header con información estadística de las mediciones

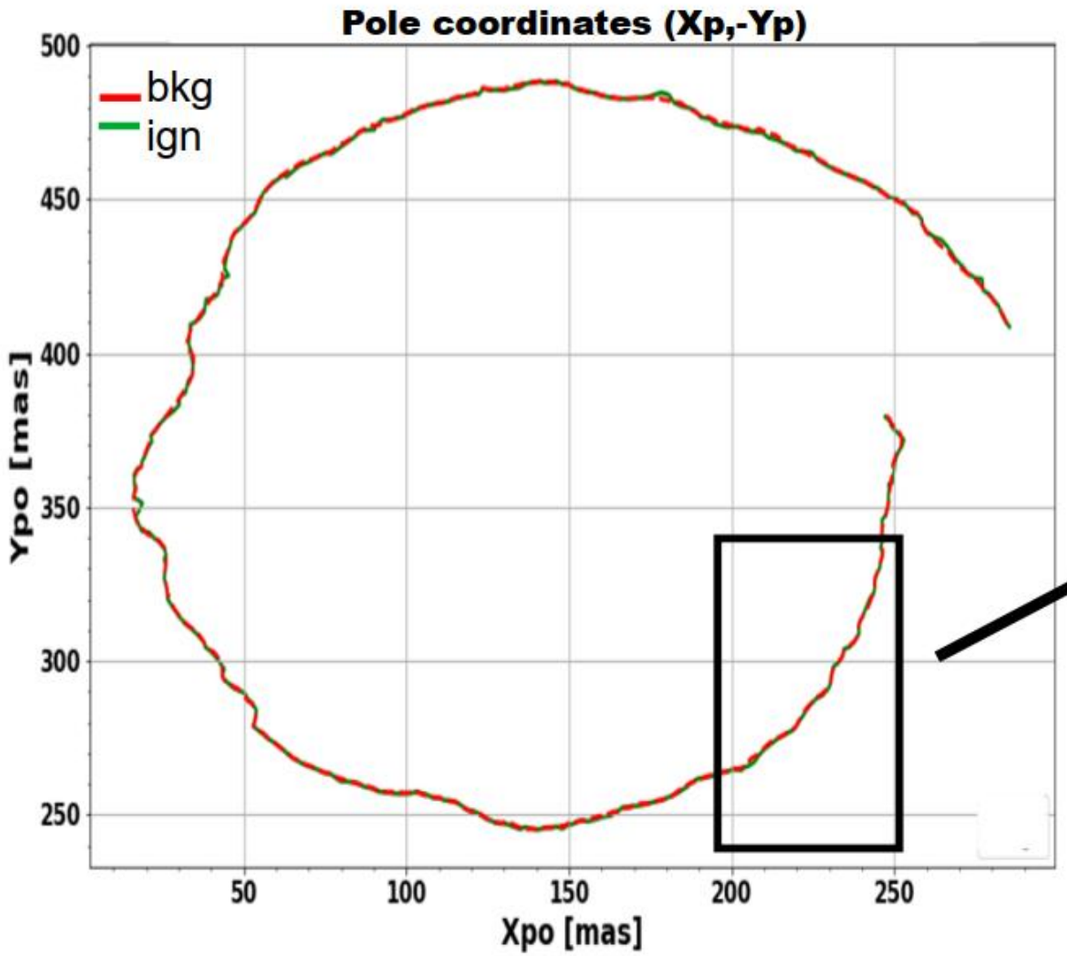
```
*-----------------------------------------------------------------------
+SITE/ID
*CODE PT __DOMES__ T _STATION DESCRIPTION__ APPROX_LON_ APPROX_LAT_ _APP_H_
 1873  A 12337S003 L Simeiz     SIM. FIXED   33 59 27.4  44 24 47.5   364.4
 1874  A 12309S003 L Mendeleev2 MDVS         37 13 29.7  56  1 39.8   227.3
 1886  A 12373S001 L Arkhyz                  41 25 53.3  43 38 59.4  2077.4
 1887  A 25603S001 L Baikonur   BAIL         63 20 32.7  45 42 17.9    98.0
 1888  A 12350S002 L Svetloe    QUASAR       29 46 49.7  60 31 59.4    69.1
 1889  A 12351S002 L Zelenchuks QUASAR       41 33 55.4  43 47 19.2  1155.4
 1890  A 12338S004 L Badary     QUASAR      102 14  7.3  51 46 12.1   803.3
 1891  A 12313S007 L Irkutsk    IRKL FIXED  104 18 59.0  52 13  8.9   505.6
 1893  A 12337S006 L Katzively  CRIMEA FIX   33 58 12.5  44 23 35.4    68.1
 7090  A 50107M001 L Yarragadee MOBLAS-5    115 20 48.3 -29  2 47.3   241.3
 7105  A 40451M105 L Greenbelt  MOBLAS-7    283 10 20.3  39  1 14.2    19.2
 7110  A 40497M001 L Monument P MOBLAS-3    243 34 38.3  32 53 30.3  1839.0
 7237  A 21611S001 L Changchun  CHALAS      125 26 36.5  43 47 25.8   274.2
 7249  A 21601S004 L Beijing    BEIJ FIXED  115 53 31.4  39 36 25.0    81.8
 7396  A 21602S008 L Wuhan     JiuFeng      114 29 24.7  30 30 56.5    76.7
 7403  A 42202M003 L Arequipa   TLRS-3      288 30 25.3 -16 27 56.6  2488.9
 7501  A 30302M003 L Hartebeest MTLRS-1      27 41 10.2 -25 53 22.9  1406.8
 7503  A 30301S010 L HartRTL    HRTL         27 41 10.1 -25 53 21.1  1412.3
 7810  A 14001S007 L Zimmerwald SWI2 FIXED    7 27 54.8  46 52 38.0   951.4
 7819  A 21609S004 L Kunming2   KUNMING2    102 47 51.7  25  1 47.2  1987.1
 7821  A 21605S010 L Shanghai   SO FIXED    121 11 11.8  31  5 45.9   100.0
 7825  A 50119S003 L Mount Stro STR2 FIXED  149  0 35.6 -35 18 58.1   805.0
 7839  A 11001S002 L Graz       GRAZ FIXED   15 29 36.1  47  4  1.7   539.4
 7840  A 13212S001 L Herstmonce RGO FIXED     0 20 10.1  50 52  2.6    75.4
 7841  A 14106S011 L Potsdam    GFZLAS3      13  3 41.2  52 22 58.9   127.3
 7845  A 10002S002 L Grasse     GRASLLR       6 55 17.7  43 45 16.7  1323.3
 7941  A 12734S008 L Matera     MLRO         16 42 16.6  40 38 55.2   537.0
 8834  A 14201S018 L Wettzell   WLRS         12 52 40.9  49  8 39.9   665.4
-SITE/ID
*-----------------------------------------------------------------------
```

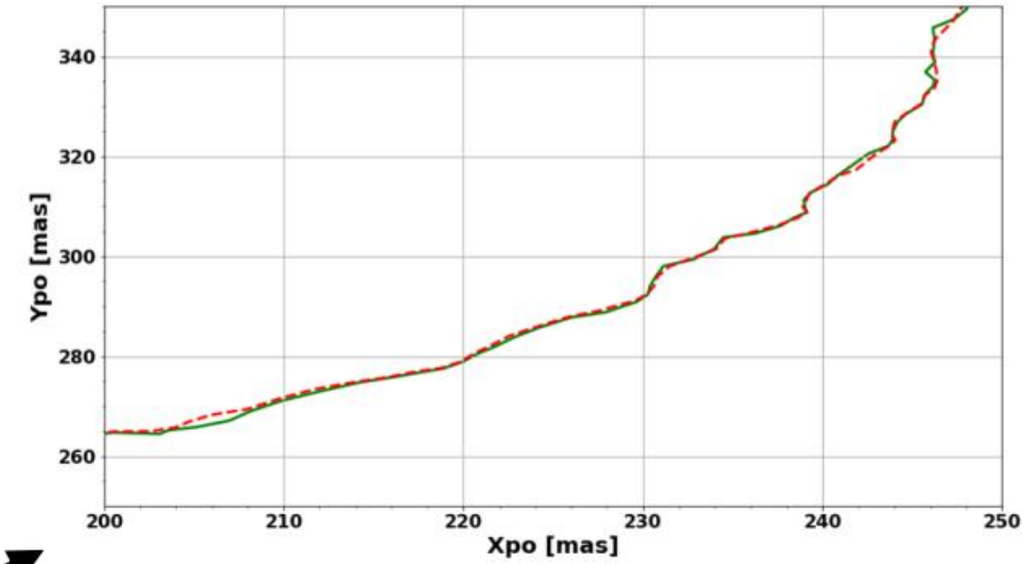
Estaciones que se procesaron durante la semana de medición.

```
*-------------------------------------------------------------------------------
+SOLUTION/ESTIMATE
*INDEX TYPE__ CODE PT SOLN  REF_EPOCH__  UNIT S __ESTIMATED VALUE____ _STD_DEV___
    1 STAX   1873  A    1 21:216:43200 m    2 0.378390191884218E+07 .631034E-02
    2 STAY   1873  A    1 21:216:43200 m    2 0.255140528729392E+07 .650223E-02
    3 STAZ   1873  A    1 21:216:43200 m    2 0.444125762581421E+07 .687330E-02
    4 STAX   1874  A    1 21:216:43200 m    2 0.284459142311708E+07 .719664E-02
    5 STAY   1874  A    1 21:216:43200 m    2 0.216111211645325E+07 .961799E-02
    6 STAZ   1874  A    1 21:216:43200 m    2 0.526635693358303E+07 .934408E-02
    7 STAX   1886  A    1 21:216:43200 m    2 0.346677308344707E+07 .769329E-02
    8 STAY   1886  A    1 21:216:43200 m    2 0.305975804433831E+07 .751375E-02
    9 STAZ   1886  A    1 21:216:43200 m    2 0.438145687406931E+07 .736809E-02
   10 STAX   1887  A    1 21:216:43200 m    2 0.200187304940568E+07 .661060E-02
   11 STAY   1887  A    1 21:216:43200 m    2 0.398763351502362E+07 .705927E-02
   12 STAZ   1887  A    1 21:216:43200 m    2 0.454247776084514E+07 .804628E-02
   13 STAX   1888  A    1 21:216:43200 m    2 0.273013869535768E+07 .780419E-02
   14 STAY   1888  A    1 21:216:43200 m    2 0.156232890936692E+07 .869414E-02
   15 STAZ   1888  A    1 21:216:43200 m    2 0.552999876173244E+07 .805853E-02
   16 STAX   1889  A    1 21:216:43200 m    2 0.345113572127983E+07 .815547E-02
   17 STAY   1889  A    1 21:216:43200 m    2 0.306033537079174E+07 .846335E-02
   18 STAZ   1889  A    1 21:216:43200 m    2 0.439197039661433E+07 .759015E-02
   19 STAX   1890  A    1 21:216:43200 m    2 -.838300289581585E+06 .973829E-02
   20 STAY   1890  A    1 21:216:43200 m    2 0.386573885467880E+07 .886277E-02
   21 STAZ   1890  A    1 21:216:43200 m    2 0.498764084781138E+07 .975155E-02
   22 STAX   1891  A    1 21:216:43200 m    2 -.968340538148252E+06 .788933E-02
   23 STAY   1891  A    1 21:216:43200 m    2 0.379441508458180E+07 .839284E-02
   24 STAZ   1891  A    1 21:216:43200 m    2 0.501817808299059E+07 .857866E-02
   25 STAX   1893  A    1 21:216:43200 m    2 0.378594412864117E+07 .681497E-02
   26 STAY   1893  A    1 21:216:43200 m    2 0.255078099466062E+07 .781231E-02
   27 STAZ   1893  A    1 21:216:43200 m    2 0.443946143761362E+07 .863152E-02
   28 STAX   7090  A    1 21:216:43200 m    2 -.238900808239492E+07 .580002E-02
   29 STAY   7090  A    1 21:216:43200 m    2 0.504332953964398E+07 .546692E-02
   30 STAZ   7090  A    1 21:216:43200 m    2 -.307852362689462E+07 .431542E-02
   85 XPO    ---- --    1 21:213:00000 mas  2 0.249525134292105E+03 .763954E+00
   86 XPO    ---- --    2 21:213:43200 mas  2 0.248409721795725E+03 .295689E+00
   87 XPO    ---- --    3 21:214:00000 mas  2 0.249127954888439E+03 .446307E+00
   88 XPO    ---- --    4 21:214:43200 mas  2 0.248932165535674E+03 .222924E+00
   89 XPO    ---- --    5 21:215:00000 mas  2 0.249215158522439E+03 .417104E+00
   90 XPO    ---- --    6 21:215:43200 mas  2 0.249432617452374E+03 .204004E+00
   91 XPO    ---- --    7 21:216:00000 mas  2 0.250290938329445E+03 .275707E+00
   92 XPO    ---- --    8 21:216:43200 mas  2 0.250465165830212E+03 .194349E+00
   93 XPO    ---- --    9 21:217:00000 mas  2 0.251376079111477E+03 .441495E+00
   94 XPO    ---- --   10 21:217:43200 mas  2 0.251767297516944E+03 .209986E+00
   95 XPO    ---- --   11 21:218:00000 mas  2 0.252616786576379E+03 .330107E+00
   96 XPO    ---- --   12 21:218:43200 mas  2 0.252848119744628E+03 .180648E+00
   97 XPO    ---- --   13 21:219:00000 mas  2 0.253861778713080E+03 .527005E+00
   98 XPO    ---- --   14 21:219:43200 mas  2 0.253413029610333E+03 .231604E+00
   99 YPO    ---- --    1 21:213:00000 mas  2 0.379442709809304E+03 .736056E+00
  100 YPO    ---- --    2 21:213:43200 mas  2 0.379279489538945E+03 .240023E+00
  101 YPO    ---- --    3 21:214:00000 mas  2 0.378629423579977E+03 .445262E+00
  102 YPO    ---- --    4 21:214:43200 mas  2 0.378189909138086E+03 .217539E+00
  103 YPO    ---- --    5 21:215:00000 mas  2 0.377428060186987E+03 .364498E+00
  104 YPO    ---- --    6 21:215:43200 mas  2 0.376841128003873E+03 .188057E+00
  105 YPO    ---- --    7 21:216:00000 mas  2 0.375808855860662E+03 .288019E+00
  106 YPO    ---- --    8 21:216:43200 mas  2 0.375296402671998E+03 .184101E+00
  107 YPO    ---- --    9 21:217:00000 mas  2 0.374162228080541E+03 .320439E+00
  108 YPO    ---- --   10 21:217:43200 mas  2 0.373964772876488E+03 .182321E+00
  109 YPO    ---- --   11 21:218:00000 mas  2 0.372919635515126E+03 .328099E+00
  110 YPO    ---- --   12 21:218:43200 mas  2 0.372563187932682E+03 .178929E+00
  111 YPO    ---- --   13 21:219:00000 mas  2 0.372379488566378E+03 .492224E+00
  112 YPO    ---- --   14 21:219:43200 mas  2 0.371476708663492E+03 .235502E+00
  113 UT     ---- --    1 21:213:00000 ms   2 -.143271999377874E+03 .979889E-04
  114 UT     ---- --    2 21:213:43200 ms   2 -.142976508200840E+03 .144332E-01
  115 UT     ---- --    3 21:214:00000 ms   2 -.142575003750405E+03 .979887E-04
  116 UT     ---- --    4 21:214:43200 ms   2 -.142220951986224E+03 .113831E-01
  117 UT     ---- --    5 21:215:00000 ms   2 -.141755988127885E+03 .979885E-04
  118 UT     ---- --    6 21:215:43200 ms   2 -.141314773656324E+03 .110882E-01
  119 UT     ---- --    7 21:216:00000 ms   2 -.140824984235068E+03 .979885E-04
  120 UT     ---- --    8 21:216:43200 ms   2 -.140310641056856E+03 .114056E-01
  121 UT     ---- --    9 21:217:00000 ms   2 -.139790987479920E+03 .979887E-04
  122 UT     ---- --   10 21:217:43200 ms   2 -.139252572130638E+03 .126369E-01
  123 UT     ---- --   11 21:218:00000 ms   2 -.138708990160225E+03 .979886E-04
  124 UT     ---- --   12 21:218:43200 ms   2 -.138189409898224E+03 .153207E-01
  125 UT     ---- --   13 21:219:00000 ms   2 -.137682993458285E+03 .979889E-04
  126 UT     ---- --   14 21:219:43200 ms   2 -.137155893733935E+03 .207361E-01
  127 XGC    ---- -- ---- 21:216:46461 m    2 -.219276376797471E-01 .392184E-02
  128 YGC    ---- -- ---- 21:216:46461 m    2 0.513091023746928E-02 .340642E-02
  129 ZGC    ---- -- ---- 21:216:46461 m    2 -.535108895420795E-02 .467526E-02
-SOLUTION/ESTIMATE
```

Parámetros estimados:
coordenadas X, Y, Z de las estaciones
Xpo, Ypo: 1 cada 12 hs
UT (debe ser estimado el LOD)
Xgeoc, Ygeoc, Zgeoc: 1 set por semana

Comparación de resultados con otros centros de procesamiento



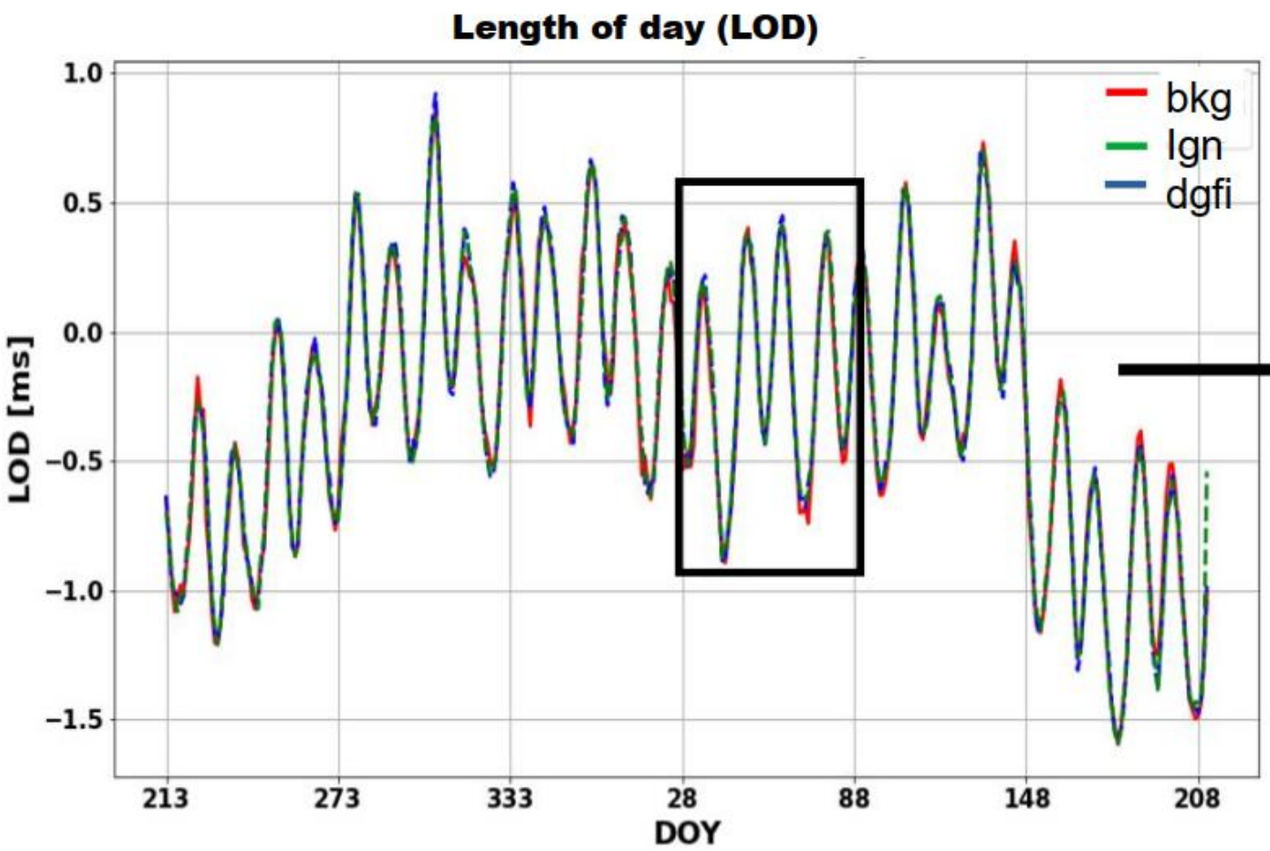


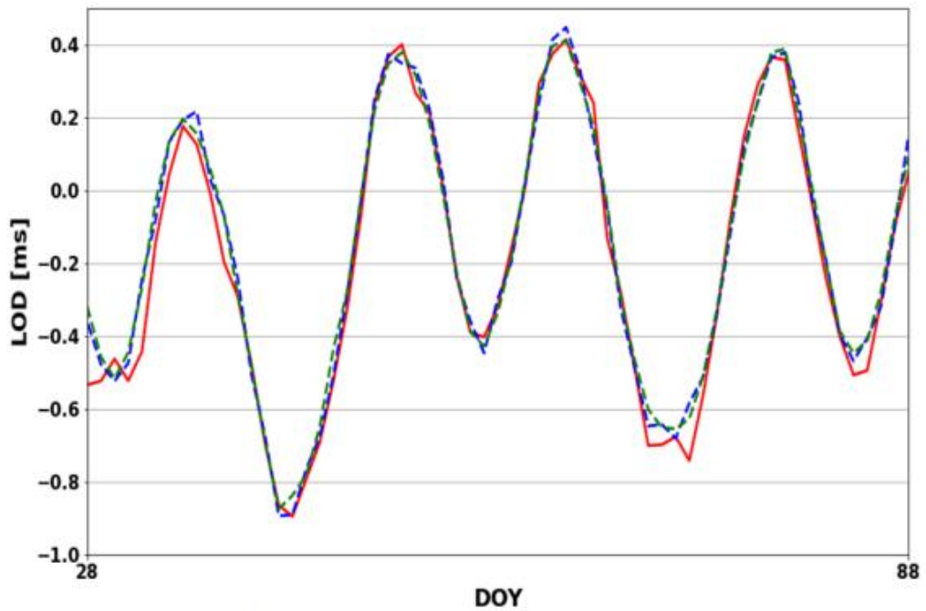
Diferencias con BKG:

μ= -0.1 mas
σ= 0.45 mas } X-Pole

μ= 0.1 mas
σ= 0.46 mas } Y-Pole

Comparación de resultados con otros centros de procesamiento



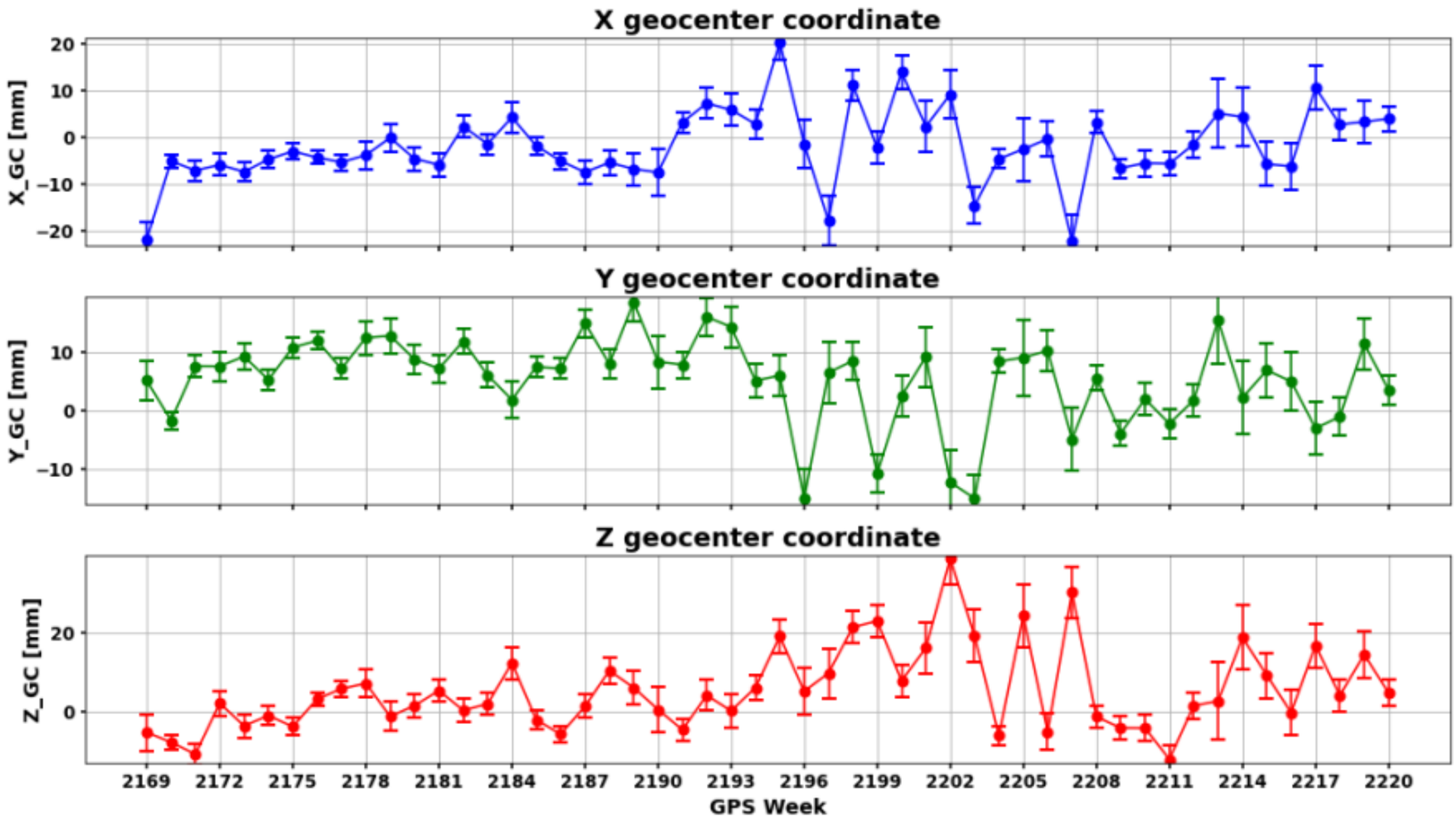


Solución IGN:

μ= -0.007 ms } BKG
σ= 0.05 ms

μ= 0.0004 ms } DGFI
σ= 0.04 ms

Comparación de resultados con otros centros de procesamiento



Muy pocos datos procesados aún, por lo que no se puede analizar la componente anual, pero resultados comparables con otros trabajos publicados.

Conclusiones

Operativas:

- Una experiencia muy positiva en cuanto al entrenamiento del personal y la relación con otras comunidades geodésicas del mundo.
- El software de procesamiento de VLBI es gratis y el de SLR es el Bernese, que la mayoría de los centros ya lo tienen. Eso hace más fácil la implementación.
- Necesidad de **ampliar las contribuciones de SIRGAS al IERS, al IGS, al IVS y al ISLR** y a la comunidad geodésica internacional.

Científicas (nuevos desafíos):

- Analizar la posibilidad de combinación de diferentes técnicas geodésicas (GNSS, VLBI y SLR).
- Investigar cómo estas técnicas pueden ofrecer mejoras al marco de referencia de SIRGAS.
- Generar proyectos de investigación que generen conocimiento y formación de RR.HH. en nuestros paises.
- El IGN de Argentina ofrece su experiencia y conocimiento a aquellos que estén interesados en procesar éstas técnicas.

Agradecimientos:

- A la BKG, a todo el personal de AGGO y al equipo de trabajo del IGN que contribuyen a fortalecer el CIGA.

¡Gracias!
Thank you!
Obrigado!

CONTACTO
scimbaro@ign.gob.ar