



Desafíos de la Astrometría y la Geodesia Espacial en el tercer milenio

A.M. Pacheco¹

¹ *Observatorio Astronómico Félix Aguilar, UNSJ, Argentina*

Contacto / pachecoanam@yahoo.com.ar

Resumen / Como es sabido, el International Terrestrial Reference Frame (ITRF) viene dado por una combinación de posiciones y velocidades de una red de estaciones en la superficie de la Tierra, calculadas por diversos centros de análisis a partir de observaciones geodésicas espaciales llevadas a cabo con las técnicas: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), GNSS (Global Navigation Satellite System) y DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). El International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) es quien se encarga de definir y materializar estos sistemas y marcos de referencia. El Oafa (Observatorio Astronómico Félix Aguilar) es una de las estaciones del nuevo marco ITRF 2014, cuenta con un sistema SLR, una estación permanente GPS y una baliza DORIS. En un futuro próximo se instalará un Radiotelescopio de 40m de diámetro para trabajar en la técnica VLBI. En este trabajo se exponen, en general, las técnicas geodésicas espaciales existentes en nuestro país, y en particular, los resultados científicos obtenidos en la estación Oafa durante 25 años de cooperación con la Academia China de Ciencias.

Abstract / As we known, the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) is given by a combination of positions and velocities of a network stations on the Earth's surface, calculated by various analysis centers from spatial geodetic observations carried out with the techniques: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), GNSS (Global Navigation Satellite System) and DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). The International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) is in charge of defining and materializing these systems and reference frameworks. The Oafa (Félix Aguilar Astronomical Observatory) is one of the stations of the new ITRF 2014 framework, it has an SLR system, a permanent GPS station and a DORIS beacon. In the near future, a 40m diameter Radio Telescope will be installed to work in the VLBI technique. In this work, the spatial geodetic technologies existing in our country are exposed, in general, and the scientific results obtained in particular at the Oafa station during 25 years of cooperation with the Chinese Academy of Sciences.

Keywords / astrometry — reference systems

1. Introducción

Los grandes avances en precisión logrados con las modernas técnicas espaciales de observación Very Long Baseline Interferometry (VLBI), Lunar Laser Ranging (LLR), Satellite Laser Ranging (SLR) y Global Positioning System (GPS), han hecho que durante la Asamblea del año 2000 la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Unión Astronómica Internacional (UAI) modifiquen las tradicionales y ancestrales definiciones de los sistemas de referencia celeste y terrestre, las técnicas de transformación entre ellos y por lo tanto los métodos de localización precisa de puntos sobre la superficie terrestre y el posicionamiento de los cuerpos celestes en el espacio.

Dado que en la actualidad se encuentra operativo el marco de referencia terrestre ITRF 2014, mostramos en este trabajo, cual es el aporte de nuestro país al nuevo marco y con qué técnicas lo lleva a cabo.

1.1. Sobre VLBI

La técnica VLBI es la única que provee de una estimación simultánea de las direcciones a radiofuentes extragalácticas, de las coordenadas terrestres de sitios de observación y de los Parámetros de Orientación de la Tierra (Earth Orientation Parameters –EOP–). VLBI es hoy la herramienta más potente que posee la geodesia y la astrometría. A partir de los resultados VLBI se materializa al sistema celeste con una precisión que alcanza el microsegundo de arco, al sistema de referencia terrestre a nivel milimétrico, y se asegura la coherencia entre ambos a través de las series de EOP que también se evalúan con ella.

En la actualidad Argentina participa de la red internacional VLBI (IVS), con el radiotelescopio de AGGO (Observatorio Geodésico Argentino Alemán), operando desde el año 2015 en el parque Pereyra Iraola, de la provincia de Buenos Aires. Este radiotelescopio tiene 6m de diámetro y trabaja en dos bandas espectrales: la S (entre 2.20 y 2.35 GHz) y la X (entre 8.1 y 8.9 GHz). Por otro lado el Oafa de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y los Observatorios Astronómicos Nacionales (NAOC) de la Academia China de Ciencias han

firmado un convenio que prevé la puesta en funcionamiento de un radiotelescopio de 40 metros de diámetro en la provincia de San Juan (Fig.1). La frecuencia de trabajo cubrirá el rango de 1 - 43 GHz y aunque estará principalmente dedicado al establecimiento y mantenimiento de los Marcos de Referencia Celeste (ICRF) y Terrestre (ITRF), podrán también realizarse investigaciones en las áreas cosmológicas, astrofísicas, geodésicas, geofísicas y de navegación espacial.

El lugar de instalación del radiotelescopio está localizado en la estación de altura Carlos U. Cesco, dependiente del Oafa en el departamento de Calingasta de la provincia de San Juan.

El proyecto CART (Chinese Argentine Radio-Telescope) podrá integrarse a las redes geodésicas internacionales existentes, posicionando al observatorio de San Juan como una de las pocas estaciones "Co-localizadas" en el mundo que disponen de un telescopio Láser Satelital, una estación GNSS, una baliza DORIS y un radiotelescopio. La puesta en funcionamiento de este instrumento en el hemisferio sur resulta sumamente conveniente ya que son escasos los sistemas de este tipo instalados en la región austral de nuestro planeta.(Pacheco et al., 2018)



Figura 1: Radiotelescopio CART de 40m de diámetro

1.2. Sobre SLR

En el año 2006 se instala, en nuestro país, el primer sistema Láser Satelital. La estación SLR 7406 se encuentra en el Observatorio Astronómico Félix Aguilar de la provincia de San Juan, y es fruto del convenio internacional de cooperación entre la Universidad Nacional de San Juan y la Academia China de Ciencias.

El ILRS (International Laser Ranging Service) le otorgó el código 7406, dentro de una red global con casi cuarenta observatorios repartidos en todo el planeta. Este instrumento de última generación (Fig.2) aporta a la comunidad científica mundiales datos, en cuanto a precisión y performance, logrando que la Estación Oafa de San Juan sea un importante referente del Hemisferio

Sur. (Pacheco et al., 2020)



Figura 2: Telescopio SLR instalado en el Oafa

La técnica SLR es una disciplina astronoma-geodésica probada, con significativo potencial en cuanto a su Contribución a las ciencias de la Tierra y del espacio, de modo que las aplicaciones científicas que el sistema SLR es capaz de realizar son muy variadas.(Thaller, 2008) Los observables SLR del Oafa son procesados a través del software NAOC SLR, si bien este programa fue diseñado para el cálculo de orbitas de satélites, también es empleado en nuestra estación, para la determinación de coordenadas geodésicas de los sitios de observación y estimación de los Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP), que son los que vinculan el Sistema de Referencia Terrestre con el Sistema de Referencia Celeste. Desde el 2010 se emprendieron, con esta técnica, estudios referidos a las siguientes aplicaciones científicas:

- DETERMINACION DE LOS EOP: Técnicamente, ellos son las medidas que proporcionan la rotación del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) en el Marco de Referencia Celeste Internacional (ICRF) como una función del tiempo. Estos parámetros son: las correcciones al Polo Celeste por Precesión y Nutación, el Tiempo Universal (UT1) y las Coordenadas del Polo. En este punto cabe mencionar que la única disciplina que puede proveer un marco de referencia celeste invariable es VLBI, debido a que los cuásares poseen estabilidad a largo período, teniendo además acceso a la precesión - nutación y tiempo universal en un sentido absoluto. Las técnicas satelitales pueden contribuir sólo con información de corto período. Es decir que la técnica SLR contribuye con el IERS en la determinación de los parámetros de corto periodo: DUT1 o ERA y coordenadas del polo (X_p , Y_p).
- MOVIMIENTO del POLO: La posición del eje de rotación terrestre no es fija con respecto al cuerpo físico de la Tierra. Esto se debe a redistribuciones internas de masa, fenómenos como los de erosión, volcanes, terremotos, fuerzas lunisolares, etc. En nuestra estación se procesan diariamente las coordenadas x e y del Polo.

- **DURACION DEL DIA (LOD), ROTACION DE LA TIERRA:** En la actualidad se sabe con certeza que la rotación terrestre es variable en el tiempo y es un fenómeno irregular e impredecible. La dirección del eje de rotación cambia en el espacio y en la Tierra, además de la velocidad. Las interacciones entre las partes sólidas, líquidas y gaseosas de nuestro planeta hacen muy complejo el conocimiento de este fenómeno. Esto hace que la duración del día (LOD) varíe con el tiempo. El LOD es valorado en nuestra estación en forma semanal.
- **ESTUDIOS GEODINAMICOS DE LAS ESTACIONES SUDAMERICANAS:** El sistema SLR puede determinar posiciones de estaciones ITRF con muy buenas precisiones (del orden del mm). Considerando que nuestra estación es parte del nuevo marco ITRF 2014, es crucial el monitoreo continuo de las variaciones espacio-temporales de las coordenadas X, Y, Z que permiten cuantificar el movimiento de las estaciones dentro del marco ITRF.
- **TRACKING SLR A LAS CONSTELACIONES GNSS:** Otra aplicación científica del SLR es el seguimiento a las constelaciones de satélites GNSS, tarea que deriva en dos importantes aplicaciones: 1. La validación de las orbitas GNSS usando SLR; 2. Combinación de las soluciones GNSS+SLR para definir y materializar el marco de referencia para los usuarios de todo el mundo. (Podestá et al., 2008; ?)
- **CO-LOCALIZACION de las TECNICAS SLR y GPS:** En el año 2012 se instaló una estación permanente GPS, que fue co-localizada con el telescopio SLR. El IERS considera a las estaciones co-localizadas como los puntos más valiosos e importantes para el mantenimiento de los sistemas de referencia terrestres y su vinculación con los celestes. (Podestá et al., 2018)

En la actualidad AGGO cuenta con un sistema SLR de tipo Galileo, con camino óptico Coude, de 50 cm de apertura, y que consta de una montura de movimiento en azimut y elevación. Esta estación lleva el código ILRS 7405.

1.3. Sobre GNSS

En la Argentina, de todas las técnicas mencionadas anteriormente, la más antigua, conocida y más aplicada, es GNSS. Desde el año 2009 fue adoptada la Red POSGAR (Posiciones Geodésicas Argentina) 07 como el nuevo "Marco de Referencia Geodésico Nacional". Es 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. Oafa y AGGO tienen vinculadas a sus sistemas SLR, sus respectivas Estaciones Permanentes GNSS, pertenecientes a la Red RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo).Fig.3

1.4. Sobre DORIS

El sistema DORIS fue concebido y desarrollado por el Centro Nacional Francés de Estudios Espaciales (CNES)



Figura 3: Estación Permanente GNSS Oafa

y el Instituto Geográfico Nacional de Francia (IGN) y se encuentra operativo desde 1990. Actualmente DORIS se compone de una red global de 57 balizas uniformemente distribuidas sobre la superficie terrestre. Las estaciones corresponden a 35 países diferentes Fig.4.



Figura 4: Red Global DORIS.

En la Argentina desde el año 1991 se encuentra operativa una baliza y antena DORIS en la Estación Astroómica Rio Grande (EARG) de Tierra del Fuego.Fig.5. A partir del año 2013 el IGN francés decide la instalación de una nueva baliza en el hemisferio sur. El sitio que cumplía con todas las necesidades requeridas por el IDS en cuanto ubicación, ángulo de máscara, infraestructura y facilidades fue el Oafa de San Juan. Para ello se llevaron a cabo tareas de reconocimiento, abalazamiento y localización del punto para la antena DORIS, teniendo en cuenta el correspondiente estudio de ruido electromagnético de la zona. Además, como se mencionó anteriormente, el Oafa cuenta con otras dos técnicas espaciales ya co-localizadas SLR y una Estación Permanente GNSS, requerimiento especial para un sitio DORIS. (Figura 5)

De tal manera durante el año 2018 se instaló la nueva estación en Argentina.

2. Conclusiones

Es importante destacar que en estas dos últimas décadas la astrometría y la geodesia espacial en la Argentina han tenido un avance muy significativo y en gran parte se debe a la implementación de estas técnicas geodésicas



Figura 5: Antenas DORIS de la Estación EARG y OAFA

espaciales que permiten la referenciación de un punto sobre la superficie de la Tierra con precisión milimétrica, las cuales hace algunos años atrás eran impensadas. Algunos de los próximos desafíos a cumplir en el País son:

- Consolidar las diferentes comunidades de cada una de las técnicas que se encuentran en el país de tal modo de poder aprovechar al máximo los datos observados. Para un futuro próximo se espera que las publicaciones de resultados de las estaciones sean compartidas por los todos los grupos de trabajo del país.
- Sumar un mayor número de investigadores en el campo de la Astrometría y la Geodesia Espacial.
- Formar recursos humanos en centros de excelencia en cada una de las técnicas mencionadas en diferentes partes del mundo. En este punto es muy importante la organización de Workshops y Escuelas para cada una de las técnicas donde se puedan invitar a referentes internacionales y así mismo investigadores y alumnos avanzados de las carreras de Astronomía y Geodesia de las universidades. Como ejemplo puede citarse el Primer Workshop y Escuela CART organizado en el OAFA en octubre de 2019.
- La creación de nuevos centros de procesamiento para cada una de las técnicas y de ser posible uno o dos

centros de procesamientos en el país para trabajar con las técnicas GNSS, DORIS y SLR conjuntamente.

- Mayor vinculación con centros de formación y procesamiento de distintos lugares del mundo.
- Poder seguir participando en todos los servicios internacionales de cada una de las técnicas aportando datos de observación, de procesamiento y sitios adecuados para una mayor densificación de las técnicas geodésicas

Actualmente hay 30 estaciones distribuidas en el planeta operando en el GGOS (Sistema Mundial de Observación Geodésica), dando una importante infraestructura geodésica para muchas aplicaciones en los campos de las ciencias de la Tierra y del espacio. De las cuatro estaciones GGOS de Sudamérica, dos están en Argentina (OAFA y AGGO), que sumarán la tarea de operar un centro de análisis para las técnicas GNSS, SLR y VLBI. Finalmente cabe destacar que de los casi 70 países ubicados en el Hemisferio Sur, Australia y Argentina son los que realizan el mayor aporte de datos al IERS para la definición y materialización de los Sistemas y Marcos de Referencia Celeste y Terrestre.

Estas nuevas técnicas geodésicas espaciales han impulsado a la Astrometría logrando órdenes de precisión jamás alcanzados con las técnicas tradicionales. Si bien se han realizado avances muy significativos, todavía tenemos muchos desafíos por delante.

Referencias

- Pacheco A., et al., 2020, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, vol. 52, 19–20
- Pacheco A.M., et al., 2018, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, vol. 50, 64–64
- Podestá R., et al., 2008, *BAAA*, 51, 347
- Podestá R., et al., 2018, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, vol. 50, 49–49
- Thaller D., 2008, *Inter-technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates, Earth orientation and troposphere parameters*, Ph.D. thesis, Technische Universität München