



Geodesia Espacial en la Argentina

PACHECO A.⁽¹⁻³⁾; PODESTÁ R.⁽¹⁾; LI J.⁽²⁾; YIN Z.⁽²⁾,
ADARVEZ S.⁽³⁾; ALVIS ROJAS H.⁽³⁾ y QUINTEROS J.⁽¹⁻³⁾

- 1.- Observatorio Astronómico Félix Aguilar- Universidad Nacional de San Juan. Argentina
- 2.- National Astronomical Observatories of China – Chinese Academy of Sciences – China
- 3.- Departamento de Agrimensura. Facultad de Ingeniería. UNSJ. Argentina

PACHECO Ana Maria¹⁻³, Doctora en Astronomía, teléfono: 0264 – 4273301
email: 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 en un futuro próximo se instalarán, una nueva estación permanente triple frecuencia, una baliza DORIS y 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 10 años de cooperación con la Academia China de Ciencias.

PALABRAS CLAVE: ITRF; SLR; GNSS; Geodinámica; EOP

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.

Objetivo:

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

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 (EOP). VLBI es hoy la herramienta geodésica más potente que se posee. A partir de las observaciones VLBI se materializa al sistema celeste con una precisión que alcanza el microsegundo de arco, al sistema de referencia terrestre a nivel subcentimétrico, y se asegura la coherencia entre ambos a través de las series de EOP que también se evalúan con ella.

La Argentina todavía no ha podido participar de las redes internacionales VLBI por no contar con radiotelescopios operativos dentro de este sistema. Sin embargo se espera en un muy corto plazo revertir esta situación actual.

En la provincia de Buenos Aires, parque Pereyra Iraola, se lleva a cabo la instalación y puesta a punto de un radiotelescopio de 6m de diámetro que trabajará con VLBI, perteneciente al Observatorio Geodésico Argentino Alemán AGGO (Figura 1).



Figura 1: Radiotelescopio de 6m de diámetro de AGGO

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 compromiso que prevé la puesta en funcionamiento de un radiotelescopio de 40 metros de diámetro en la provincia de San Juan (Figura 2). 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.

En la actualidad se llevan a cabo las siguientes etapas preliminares: estudios geofísicos, sismológicos, geológicos y de relevamiento GPS en el lugar de instalación del radiotelescopio 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 Laser Satelital, una estación GPS 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.



Figura 2: Radiotelescopio de 40m de diámetro a instalar en San Juan

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 (Oafa) 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 (Figura 3) aporta a la comunidad científica mundial valiosos datos, en cuanto a precisión y performance, logrando que la Estación Oafa de San Juan sea un importante referente del Hemisferio Sur.



Figura 3: 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.

El exitoso periodo de prueba observacional del SLR del OAFA permitió desde hace unos años el procesamiento de los observables 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).

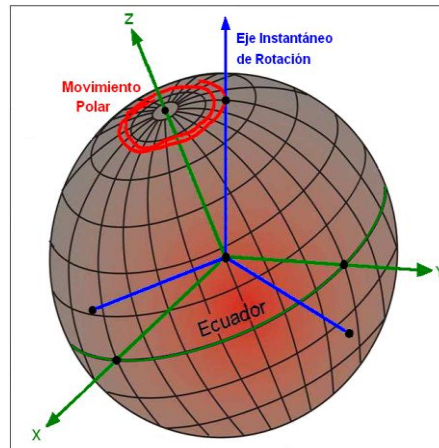


Figura 4: Movimiento del Polo

MOVIMIENTO del POLO: La posición del eje de rotación terrestre no es fija con respecto al cuerpo físico de la Tierra (Figura 4). Esto se debe a redistribuciones internas de masa, fenómenos como los de erosión, volcanes, terremotos, fuerzas lunisolares, etc. En nuestra estación se miden 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 hacen muy complejo el conocimiento de este fenómeno no resulta ser una tarea sencilla. 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.

COLOCALIZACION 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.

En la actualidad en AGGO se están completando las tareas de instalación y puesta a punto de un sistema SLR similar al del Oafa (Figura 5).



Figura 5: Telescopio SLR de AGGO

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”, incorpora las más importantes redes geodésicas en uso, con sus respectivos parámetros de transformación, a fin de facilitar una georreferenciación unívoca en toda la República Argentina. 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.

Utiliza 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 simultáneamente la Red Oficial GNSS (Figura 6).

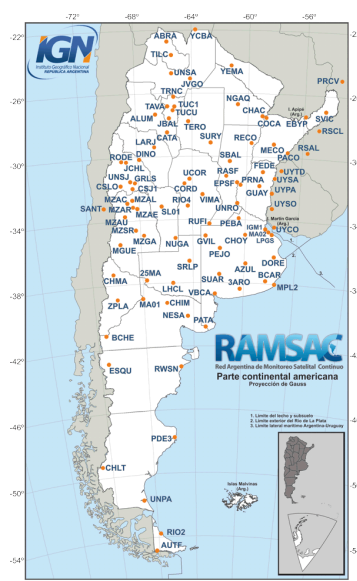


Figura 6: Red RAMSAC

Sobre DORIS

El sistema DORIS fue concebido y desarrollado por el Centro Nacional Francés de Estudios Espaciales (CNES) 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 (Figura 7).



Figura 7. Red Global DORIS.

En la Argentina desde el año 1991 se encuentra operativa una baliza y antena DORIS en la Estación Astronómica Rio Grande (EARG) de Tierra del Fuego (Figura 8).



Figura 8: Antena DORIS de la Estacion EARG

Por otro lado desde 1988 la estación Santiago funciona dentro de un centro de estudios espaciales dependiente de la NASA. El mantenimiento de la estación estuvo a cargo de la Universidad de Chile hasta el año 2008. Por problemas del organismo huésped (SSC Chile), se presenta en la actualidad la necesidad de trasladar la estación.

Para ello se ha buscado un sitio cercano a la estación Santiago para lograr una cobertura similar a esta estación.

Durante el año 2013 se ha puesto en marcha el proyecto de desplazamiento y misión de reconocimiento de una nueva estación. A la fecha se ha cumplido con la etapa de identificar el sitio más idóneo para la antena y la baliza, y ha sido elegido el Oafa por cumplir con todas las necesidades requeridas por el IDS.

Se han llevado a cabo las 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 el Oafa cuenta con otras dos técnicas espaciales ya co-localizadas SLR y una Estación Permanente GNSS, requerimiento especial para un sitio DORIS. La Figura 9 muestra que la cobertura que actualmente tiene la estación Santiago es muy similar a la que tendría la estación Oafa.



Figura 9: Coberturas del cielo similares en las estaciones Santiago y Oafa

Durante este año se firmará el convenio entre UNSJ e IGN de Francia para instalar en los próximos meses, la antena y baliza DORIS en nuestra estación.

CONCLUSIONES

Es importante destacar que en estas dos últimas décadas la geodesia en la Argentina ha tenido un avance muy significativo y en gran parte se debe a la implementación de estas técnicas geodésicas espaciales que permiten la referenciación de un punto sobre la superficie de la Tierra con precisión milimétrica, precisiones que hace algunos años atrás eran impensadas.

Actualmente hay 20 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. De las cuatro estaciones GGOS de Sudamérica, dos están en Argentina (Oafa y AGGO), que sumaran la tarea de operar un centro de análisis para las técnicas GNSS, SLR y VLBI.



Con respecto a OAFA, los resultados obtenidos en la estación hacen que estos primeros años de experiencia sirvan para ampliar la tradicional colaboración que la Universidad Nacional de San Juan, a través del OAFA, presta con los servicios internacionales IERS, ILRS y NASA.

Si bien se han realizado avances muy significativos, todavía tenemos muchos desafíos por delante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Altamini, Z., P. Sillard and C. Boucher (2002): ITRF2000 A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth science applications. *J. Geophysics, Res.* 107, No B10, 2214

Capitaine N., (2002): Comparison of "Old" and "New" Concepts. The Celestial Intermediate Pole and Earth Orientation Parameters. IERS Technical Note N°29

Dong, D., T. Yunck and M. Heflin (2003): Origin of the International Terrestrial Reference Frame. *J. Geophysics Res.* 108 (B4), 2200

Gambis D., (2004): Monitoring Earth orientation using space-geodetic techniques: state of the art and prospective. *Journal of Geodesy*, Vol 78(4-5), pp 295-303, doi: 10.1007/s00190-004-0394-1

Gross R. (2000): Combinations of Earth-orientation measurements SAPCE97, COMB97, and POLE97. *Journal of Geodesy*, Vol43(12), pp 627-637, doi: 10.1007/s001900050001

Han Yanben et al.(2008): Successful operation of a cooperative SLR station of China and Argentina in San Juan, *Chinese Science Bulletin*, 53(16):2417-2420

IERS (2003): IERS Conventions (2000). IERS Technical Note 32.
<http://maia.usno.navy.mil/conv2000.html>

J. Kovalewsky, *Atrometrie Moderne*, Lecture Notes in Physics 358, Springer Verlag

Kovalesky J. (2002): Comparison of "Old" and "New" Concepts Reference Systems. IERS Technical Note N°29, pp31-34

Lambert, S. and C. Bizoard (2002): Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Reference Frame. *Astronomy and Astrophysics* 394, pp317-321



2º ENCUENTRO NACIONAL DE INVESTIGADORES DE AGRIMENSURA

2 y 3 de junio de 2016. Santa Fe, Argentina



Liu Weidong et al.(2011): Current situation and future of cooperative San Juan SLR station between Chinese- Argentinean. 17th International Workshop on Laser Ranging and 23rd General Assembly of the International Laser Ranging Service. Germany

Mesa Sánchez, Óscar José (2002) ENSO, rotación terrestre, volcanes y sismicidad. Dyna, 69 (136). pp. 41-61. ISSN 0012-7353

Pavlis, E.C., et al.(2009): The ILRS contribution to ITRF2008. ADS, American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, abstract G11B-0629

Pearlman M. et al. The International Laser Ranging Service. ADS, Vol. 30, pp 135-143, 2002

Podestá R., Pacheco A., Yanben Han (2008): Contribución de la Estación San Juan SLR al Sistema Galileo. BAAA 51,347, 2008

Thaller Daniela (2008): Inter-Technique combination based on homogeneous normal equation systems including station coordinates, Earth orientation and troposphere parameters. Scientific Report SRT08/15. Helmholtz. Postdam 2008

Sitios en Internet

ILRS, <http://ilrs.gsfc.nasa.gov>

IERS, <http://www.iers.org>

ITRF, <http://itrf.ensg.ign.fr>

CDDIS, <http://cddis.nasa.gov>