

## Reporte / report

# Hurgando el universo invisible con CART (Chinese Argentine Radio-Telescope). Geodesia espacial en el OAFA

## *Probing the invisible universe with CART (Chinese Argentine Radio-Telescope): Space geodesy at OAFA*

Ricardo C Podestá<sup>1</sup>, Ana María M Pacheco<sup>1</sup>, Johana E Quinteros<sup>1</sup>, Marcelo J Segura<sup>1</sup>, Alejandro Navarro<sup>1</sup>, Hernán Alvis Rojas<sup>1</sup>, Natalia L Maza<sup>1</sup>, C. Garay<sup>1</sup>

**Resumen** Desde 1991, el Observatorio Astronómico Félix Aguilar (OAFA) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) y los Observatorios Astronómicos Nacionales de China (NAOC), dependientes de la Academia China de Ciencias (CAS), mantienen un largo y exitoso convenio de cooperación internacional. El primer acuerdo se concretó en 1992 con la llegada, a la sede central del OAFA, de un telescopio astrométrico Astrolabio Foteléctrico PAII. Posteriormente, en 2005 arribó un sistema Satellite Laser Ranging (SLR), y en 2012 un receptor GPS, reemplazado seis años después por un moderno equipo GNSS provisto por el Instituto Geográfico Nacional de la Argentina. Además, fruto de un acuerdo con el Centro Nacional de Estudios Espaciales (CNES) de Francia, en 2018 se instaló una baliza Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS). Estas tres técnicas geodésicas espaciales están colocalizadas de acuerdo con los estándares de precisión exigidos por el International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). Actualmente, en la sede de altura del OAFA, Estación Carlos U. Cesco, en Barreal, se encuentra en su última etapa de ensamblado un enorme radiotelescopio con una antena de 40 metros de diámetro, denominado Chinese Argentine Radio-Telescope (CART). La frecuencia de trabajo de CART abarcará el rango de 1 a 45 GHz, cubriendo inicialmente las bandas S y X para geodesia, y posteriormente las bandas L, C, Ku, K, Ka y Q para estudios astrofísicos. La primera luz será en las bandas S y X (2–4 GHz y 8–12 GHz), colaborando en el establecimiento del Marco de Referencia Celeste (ICRF) y en las materializaciones del Marco de Referencia Terrestre (ITRF). Se estima que la primera luz podría alcanzarse a fines del primer semestre de 2026. Este trabajo describe las técnicas geodésicas espaciales instaladas en el OAFA y detalla la organización y objetivos del funcionamiento de CART.

**Palabras clave** Radiotelescopio, geodesia espacial, OAFA, colocación, ITRF.

**Abstract** Since 1991, the Félix Aguilar Astronomical Observatory (OAFA) of the National University of San Juan (UNSJ) and the National Astronomical Observatories of China (NAOC), part of the Chinese Academy of Sciences (CAS), have maintained a long and successful agreement of international cooperation between both countries. The first agreement was materialized in 1992 with the arrival, at the OAFA headquarters, of a PAII Photoelectric Astrolabe astrometric telescope. Later, in 2005, a Satellite Laser Ranging (SLR) system arrived, and in 2012 a GPS receiver, which was replaced six years later with a modern GNSS unit provided by the National Geographic Institute of Argentina. In addition, as a result of an agreement with the National Center for Space Studies (CNES) of France, a Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) beacon was installed in 2018. These three spatial geodetic techniques are co-located according to the precision standards required by the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). Currently, at the high-altitude station of OAFA, the Carlos U. Cesco Station in Barreal, the final stage of assembly is underway for a large radio telescope with a 40-meter diameter antenna, called the Chinese Argentine Radio-Telescope (CART). CART's working frequency will range from 1 GHz to 45 GHz, initially covering

<sup>1</sup>Observatorio Astronómico Félix Aguilar, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan, Argentina.  
Email: ricardopodestaoafa@gmail.com

*the S and X bands for geodesy, and later the L, C, Ku, K, Ka, and Q bands for astrophysical studies. The first light will be in the S and X bands (2–4 GHz and 8–12 GHz), contributing to the establishment of the International Celestial Reference Frame (ICRF) and the realization of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF). The first light is expected by the end of the first half of 2026. This work describes the spatial geodetic techniques installed at OAFA and outlines the organization and objectives of CART's operation.*

**Keywords** Radiotelescope, space geodesy, OAFA, colocation, ITRF.

## INTRODUCCIÓN

Desde la concreción del primer convenio firmado entre la UNSJ y la CAS en el año 1991, han arribado varios científicos e instrumentos chinos al OAFA.

El primer artefacto llegó en 1992, cuando el tradicional Astrolabio Danjon francés dejó de operar y fue reemplazado por un telescopio robotizado chino denominado Astrolabio Fotoeléctrico PAII. Este convenio inicial produjo veinte años de fructífera labor conjunta entre los dos países, generando importantes resultados y publicaciones de alto nivel en la confección de catálogos estelares del hemisferio sur con decenas de miles de posiciones estelares y observaciones de radiofuentes ópticas ([Manrique y otros, 1999b](#); [Manrique y otros, 1999a](#); [Lu y otros, 2005](#)).

En base al éxito de este importante trabajo conjunto entre ambos países, en el año 2000 la CAS y el NAOC decidieron ampliar las relaciones con San Juan mediante un nuevo acuerdo. Este se materializó en septiembre de 2005 cuando llegó al país un sistema SLR para ser instalado en el observatorio. La estación SLR se denominó internacionalmente ILRS 7406 la cual, debido a la calidad del cielo sanjuanino, enseguida se convirtió en una de las tres más productivas de la red mundial láser, dando resultados excelentes en calidad y cantidad ([González y otros, 1988](#); [Podestá y otros, 2009](#)), valores que fueron reconocidos por las instituciones de nivel internacional tales como el ILRS (International Laser Ranging Service), el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems) y la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Actualmente el láser satelital de San Juan está en proceso de actualización y reemplazo de su oscilador láser, lo que permitirá aumentar la cantidad de pulsos emitidos hacia los satélites desde 10 a 1000 por segundo, agregando también capacidad de observación diurna, es decir, que observará continuadamente durante las 24 horas ([Pacheco y otros, 2017](#)).

Posteriormente en el 2012, bajo el mismo convenio con China, se envió al observatorio un equipo receptor y antena cónica Ashtech GPS. Luego a principios de 2018 este equipo fue reemplazado por una unidad Trimble más moderna provista por el IGN de Argentina, estableciéndose oficialmente como Estación Permanente GNSS.

Independientemente de los chinos, gracias a un convenio con los organismos franceses IGN y CNES, en septiembre de 2018 se emplazó contiguo al domo SLR y al pilar GNSS, una baliza DORIS de última generación ([Quinteros y otros, 2019](#)).

La historia del por qué se decidió instalar un radio telescopio chino en San Juan es de larga data. La idea surgió del agrimensor sanjuanino Walter Manrique y del Dr. Han Yanben de Beijing, quienes fueron los precursores del convenio UNSJ-CAS. Es así que, merced a ellos antes de la llegada del SLR a San Juan ya se habían realizado visitas entre científicos de las dos instituciones a ambos países, tratando de consumar el ambicioso proyecto de colocar un radiotelescopio geodésico Very Long Baseline Interferometry (VLBI) en nuestro observatorio.

Después de numerosas reuniones e intenciones, fue en el año 2011 el comienzo oficial del proyecto CART con la firma del primer memorándum de entendimiento entre CAS, Gobierno de San Juan, UNSJ y CONICET, agenda que fue ampliándose en años posteriores para hacerse realidad con la puesta de la piedra fundamental en el año 2017 ([Pacheco y otros, 2018](#)) y del arribo de los primeros



**Figura 1.** Etapa del armado de CART en la estación cordillerana Cесo del OAFA. A la izquierda se observa la estructura subterránea de la base circular donde irá montado el radiotelescopio y a la derecha puede apreciarse sobre el suelo la construcción de la antena, la cual está a punto de completarse con la colocación de los últimos paneles de aluminio (imagen mayo 2024).

embarques de la estructura en agosto de 2019.

El lugar del emplazamiento seleccionado fue la sede en altura perteneciente al OAFA, Estación Carlos U. Cесo, de la localidad cordillerana Barreal, Calingasta, donde el área está protegida por ley provincial de contaminación ambiental y su límpido cielo es de los mejores del mundo ([Figuras 1 y 2](#)).

## GEODESIA ESPACIAL EN EL OAFA

Las cinco técnicas geodésicas espaciales que el IERS contempla para el establecimiento de los marcos de referencia terrestres son las siguientes:

1. VLBI, operando con radiotelescopios en red, como mínimo dos antenas correlacionadas,
2. LLR (Lunar Laser Ranging), con estaciones láser hacia la Luna. Son instrumentos caros de mantener y actualmente solo hay siete estaciones operativas en el mundo.
3. SLR, red con más de cuarenta telescopios ubicados mayormente en el hemisferio norte.
4. GNSS, comprendiendo los sistemas norteamericano GPS, europeo GALILEO, chino BEIDOU, ruso GLONASS y otros locales de India y Japón.
5. DORIS, con una muy buena distribución de más de sesenta balizas alrededor del mundo.

Merced a los convenios establecidos con China y Francia, el OAFA cuenta con cuatro de las cinco tecnologías espaciales aceptadas por el IERS. Ellas son GNSS, DORIS, SLR que están colocalizadas. También en las últimas etapas de construcción se encuentra el radiotelescopio chino-argentino para funcionar como VLBI.

Cabe aclarar que el IERS considera a las estaciones colocalizadas como los puntos de referencia cuyas observaciones aportan mayor peso en la realización y mantenimiento de los marcos de



**Figura 2.** Representación gráfica comparativa de cómo se verá CART una vez terminado.

referencia terrestres y su vinculación con los celestes. Según este organismo internacional, los errores estándares en las mediciones de los vectores locales que enlazan los centros de cada instrumento deben conocerse con una precisión dentro de los 3 a 5 milímetros.

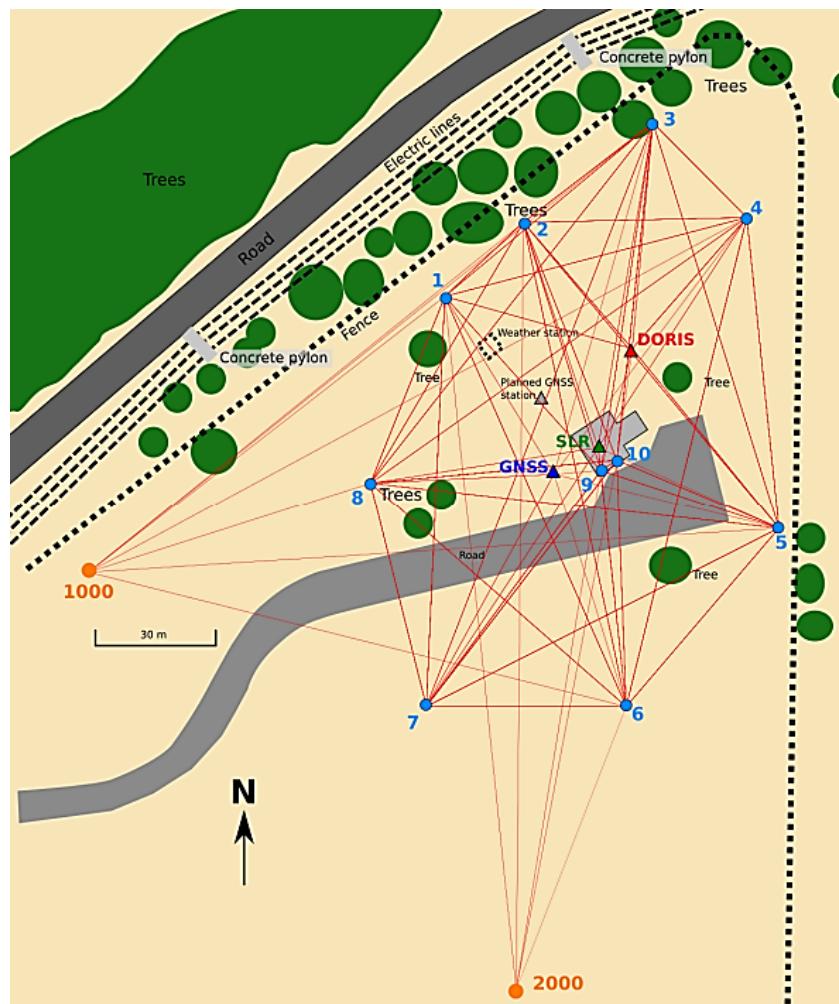
En el OAFA sede central, por medio de una red geodésica de precisión, ya se han realizado cuatro colocalizaciones instrumentales que cumplen este riguroso requisito ([Podestá y otros, 2018](#); [Quinteros y otros, 2024](#)) ([Figura 3](#)).

La operación de CART abarcará el rango de frecuencias desde 1 GHz a 45 GHz, empleando en la primera etapa (año 2025) radioreceptores para las bandas geodésicas S y X, para luego ir sumando en los años siguientes equipamiento para las bandas L, C, Ku, K, Ka, K y Q empleadas en investigaciones astrofísicas. Nuestro radiotelescopio, con una antena receptora de 40 metros de diámetro será el más grande de Sudamérica.

En el caso de colocalizar el foco de la antena CART con el resto de las técnicas geodésicas espaciales, no habrá problemas en ubicar un nuevo receptor GNSS contiguo, pero se deberá trasladar el SLR operativo en la sede central o instalarse uno nuevo (proyectos futuros en vista). Desafortunadamente, dado que la mayor de las dos frecuencias emitidas por la baliza DORIS (0.401 G Hz y 2.036 G Hz) interfiere a CART en la banda S, tendría que situarse el transmisor alejado de la antena. Esa distancia no puede superar en una colocalización los 800 metros según lo estipulado por el IERS. Por lo tanto, el equipo DORIS deberá apostarse en alguna zona baja y apantallado de la gran antena por alguna loma o cerro intermedio.

## OBJETIVOS CIENTÍFICOS POTENCIALES Y APLICACIONES DE CART

Los usos científicos de la radioastronomía son innumerables. Los estudios científicos en longitudes de onda de radio son muy fructíferos, mucho más que en el visual, pero también es una especialidad onerosa por su mantenimiento, por usar la última tecnología empleada en patrones de tiempo y sobre todo por disponer de sensibles receptores avanzados que deben ser enfriados a muy bajas temperaturas a fin de disminuir al máximo el ruido electrónico.



**Figura 3.** Determinación de los centros instrumentales y cocalización de las técnicas SLR, GNSS y DORIS, mediante el diseño, armado y cálculo de una red geodésica de puntos de apoyo.

#### Ejemplos de usos en Astrofísica:

- Núcleos sin estrellas en nubes moleculares,
- Estudios de las primeras etapas de formación estelar,
- Remanentes de supernovas,
- Regiones HII, regiones de formación estelar,
- Estrellas de alta masa en diferentes etapas evolutivas,
- Medio interestelar,
- Objetos extragalácticos,
- Púlsares y cuásares, AGN,
- Agujeros negros galácticos, etc.

#### Ejemplos de usos en Geodesia como VLBI en red con otros radiotelescopios:

- Deformaciones horizontales y verticales de la superficie terrestre con altísima precisión,

- Aplicaciones geodinámicas de las estaciones pertenecientes al Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF),
- Movimiento del polo,
- Movimientos tectónicos,
- Parámetros de orientación de la Tierra,
- Precesión y nutación,
- Tiempo, relatividad, etc.

### EOPs

Uno de los proyectos que lleva a cabo el grupo de investigación del OAFA es la determinación de los parámetros EOPs (Earth Orientation Parameters) ([Rivero y otros, 2022](#)). Con el uso venidero del VLBI este tipo de investigación se potenciará enormemente y se complementará con la instrumentación existente en el OAFA.

En la determinación rutinaria de la orientación de Tierra, se evalúan cinco medidas que comprenden: (i) correcciones al polo celeste por Precesión y Nutación, (ii) determinaciones del Tiempo Universal o su equivalente Longitud del Día (LOD) y (iii) cálculo de las Coordenadas del Polo (x, y).

En este punto cabe mencionar que la única disciplina que puede proveer un marco de referencia celeste invariable es VLBI. Esto es debido a que la observación de cuásares posee estabilidad a largo período, teniendo además la técnica acceso a la precesión, nutación y tiempo universal en un sentido absoluto.

Las técnicas satelitales como el SLR contribuyen sólo con información de corto período, es decir que colabora con el IERS en la determinación de los parámetros de corto período a las correcciones del tiempo, al ERA (Earth Rotation Angle) y a las coordenadas del polo.

## DIFERENCIAS Y SIMILITUDES ENTRE LAS TÉCNICAS GEODÉSICAS ESPACIALES

En la Tabla 1 se muestran las aplicaciones que comprenden las cinco técnicas aprobadas por el IERS. Puede apreciarse que VLBI es la única tecnología que conecta los sistemas celestes con los terrestres.

## FUNDAMENTOS Y CONVENIO CART

Según su Resolución N° 69/266 del 26/02/2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reconoce, entre otras cosas, la necesidad de prestar aliento y apoyo a la adopción del Sistema Internacional de Referencia Terrestre, de adoptar y mantener un marco mundial de referencia geodésico, de valorar los extraordinarios logros alcanzados por los organismos nacionales cartográficos y espaciales, de apoyar a las comisiones de geodesia, a las organizaciones de investigación y a las universidades y promover la utilización de la geodesia en muchas aplicaciones de la sociedad y de las ciencias de la Tierra.

La radioastronomía para VLBI cumple con todas estas premisas de las Naciones Unidas. CART colaborará con sus investigaciones geodésicas en gran parte de sus horarios de uso.

Las instituciones participantes en CART son la UNSJ a través del OAFA, el NAOC, la CAS, el gobierno de San Juan y el CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) ([Segura y otros, 2024](#)).

**Tabla 1.** Aplicaciones de las diferentes técnicas geodésicas espaciales (tabla realizada por Daniela Thaller-BKG).

Parámetros	Técnica				
	VLBI	GNSS	DORIS	SLR	LLR
ICRF {	Posiciones de Cuásares	✓			
	Nutación	✓	✓		✓
	UT1 – UTC	✓		✓	✓
	LOD	✓	✓	✓	✓
	Movimiento Polar	✓	✓	✓	✓
ITRF {	Coordenadas Estación	✓	✓	✓	✓
	Geocentro		✓	✓	
	Campo Gravitatorio		✓	✓	✓
	Órbitas de Satélites		✓	✓	
Atmósfera {	Tropósfera	✓	✓	✓	
	Ionósfera	✓	✓	✓	
	Relojes	✓	✓		✓
	Relatividad	✓	✓		✓

La administración está conformada por el siguiente número de miembros:

- a) Directorio: uno por China y uno por Argentina,
- b) Comité Directivo: tres por CAS, uno por CONICET, uno por Gobierno SJ y uno por UNSJ,
- c) Comité Científico: tres por CAS, uno por CONICET y dos por UNSJ.

El tiempo de observación de cada participante está organizado de la siguiente manera:

- a) Exclusivo del NAOC el 60 %,
- b) Para proyectos conjuntos Chino y Argentino y/o terceros el 20 %,
- c) Exclusivo de Argentina el 20 %.

## FUTURO INMEDIATO DE CART

CART participará en las redes de referencia SIRGAS y POSGAR aportando también datos a los organismos internacionales IUGG e IAU, al mismo tiempo creando oportunidades sin precedentes para el interés científico de los jóvenes en astrometría y geodesia. El proyecto es multidisciplinario y será una plataforma de progreso en astronomía, física, ingeniería, comunicaciones, construcciones, informática, matemática, control, geodesia, geodinámica, etc.

La formación de Recursos Humanos está específicamente prevista en el acuerdo firmado entre la UNSJ y el NAOC. En este contexto, se prevé la realización de doctorados, maestrías, especializaciones y oportunidades de pasantías nacionales e internacionales, de grado y posgrado, en las áreas de astronomía, geodesia, geofísica, georreferenciación e ingeniería.

Si bien CART permitirá que la Argentina tome parte de grandes proyectos astronómicos. También se abre una posibilidad, en un futuro cercano, de participar del programa espacial de la nación asiática ya que, como se sabe, China está desarrollando su propio programa de exploración de la Luna y un radiotelescopio en el hemisferio sur contribuirá a ello en forma crucial.

Con todas estas acciones se espera que en un lapso de cinco a diez años se tenga un plantel de

investigadores con la capacidad de generar proyectos relacionados con la utilización de los datos, formación de recursos humanos argentinos y la participación en proyectos internacionales.

La puesta en marcha del CART será un hito de gran importancia desde todo punto de vista, técnico, científico y turístico. La ciencia argentina y mundial se verán beneficiadas por la posibilidad de estudiar el universo en longitudes de onda muy distintas a la que la astronomía tradicional nos tiene acostumbrados.

## REFERENCIAS

- González, A. y Podestá, R. (1988). Sistemas Satellite Laser Ranging SLR. *Ciencias*, 4, 27-31.
- Lu, L. Z., Manrique, W. T., Perdomo, R., Wang, Z. Z., Podestá, R. C., Actis, E. L., Zeng, F. M., Alonso, E., Zhao, G., Pacheco, A. M., Qiao, Q. Y. y Wang, H. Q. (2005). Third San Juan photoelectric astrolabe catalogue (CPASJ3). *Astronomy & Astrophysics. Supplement Series*, 430(1), 327-330. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200400103>
- Manrique, W. T. y Lizhi, L. (1999a). Radio star catalogue observed in San Juan (RSSJ95). *Astronomy & Astrophysics. Supplement Series*, 136(1), 7-11. <https://doi.org/10.1051/aas:1999193>
- Manrique, W. T., Lizhi, L., Perdomo, R., Podestá, R. C., Zezhi, W., Actis, E. L., Fanmiao, Z., Zhifang, Z., Alonso, E., Pacheco, A. M. y Bustos, G. (1999b). Second San Juan photoelectric astrolabe catalogue. *Astronomy & Astrophysics. Supplement Series*, 136(1), 1-5. <https://doi.org/10.1051/aas:1999192>
- Pacheco, A. M., Podestá, R., Yin, Z., Liu, W., Actis, E., Adarvez, S., Quinteros, J. y Podestá, F. (2017). Ten years of SLR production in Argentina. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 49, 143. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017RMxAC..49..143P>
- Pacheco, A. M., Podestá, R., Actis, E., Adarvez, S., Quinteros, J., Li, J., Saunier, J., Podestá, F., Ramos, F., Aguilera, J., Sosa, G. y Hauser, D. (2018). New international agreements about space techniques among Argentina, China and France. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 50, 64. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018RMxAC..50...64P>
- Podestá, R., Actis, E., Alonso, E., Pacheco, A. M., González, A., Gómez, W., Yan-Ben, H., Tanqiang, W., Weidong, L., Qingge, X. y Dongpin, H. (2009). San Juan satellite laser ranging. Performance and precision in the observations. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 35, 318. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2009RMxAC..35..318P>
- Podestá, R., Pacheco, A. M., Alvis Rojas, H., Quinteros, J., Podestá, F., Albornoz, E., Navarro, A. y Luna, M. (2018). Co-location satellite GPS and SLR geodetic techniques at the Félix Aguilar Astronomical Observatory of San Juan, Argentina. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 50, 49. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018RMxAC..50...49P>
- Quinteros, J., Pacheco, A. M., Podestá, R., Alvis Rojas, H., Weidong, L., Pesce, D. y Saunier, J. (2019). Proceso de actualización de la estación geodésica San Juan Argentina. *Simposio SIRGAS*. Río de Janeiro, Brasil.
- Quinteros, J., Podestá, R., Pacheco, A. M., Alvis Rojas, H. y Navarro, H. (2024). Evolución de las colocalizaciones en el Observatorio Astronómico Félix Aguilar. *XXX Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG)*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
- Rivero, V., Navarro, A., Pacheco, A. M., Podestá, R., De la Jara, F., Quiroga, V., Quinteros, J. y Alvis Rojas, H. (2022). Determinaciones del LOD (Length of Day) confirman que el año 2021 será el más corto en décadas. *Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía*, 63, 293-295. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/168731>
- Segura, M., Pacheco, A. M., Podestá, R., Alvis Rojas, H., Quinteros, J. y Navarro, A. (2024). China Argentina Radio Telescope Current Status. *Friends of Friends Meeting*. Córdoba, Argentina.