

EL OBSERVATORIO LLAMA: UN NUEVO HORIZONTE PARA LA RADIOASTRONOMÍA EN SUDAMÉRICA

Palabras clave: Telescopio LLAMA, radioastronomía, desarrollo tecnológico.

Key words: LLAMA telescope, radioastronomy, technological development.

El proyecto Large Latin American Millimeter Array (LLAMA) es una iniciativa científica y tecnológica conjunta entre Argentina y Brasil, cuyo objetivo es instalar y operar un radiotelescopio para realizar estudios del Universo en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas.

Actualmente en construcción, LLAMA se ubicará a 4850 metros sobre el nivel del mar en la Puna Salteña, en el noroeste de Argentina. La instalación contará con una antena de 12 metros de diámetro similar a las del Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) equipada con dos cabinas Nasmyth, y seis receptores tipo ALMA que cubrirán las bandas 1, 2+3, 5, 6, 7 y 9, abarcando un rango de frecuencias de 35 a 720 GHz.

En este artículo, describiremos el estado actual del proyecto y presentaremos las oportunidades científicas que LLAMA ofrecerá en diversos campos de la astronomía.

LLAMA promete avances significativos en nuestra comprensión del cosmos a través de observaciones en longitudes de onda milimétricas y submilimétricas.

Silvina Cichowolski en representación de la Colaboración LLAMA

Instituto de Astronomía y Física del Espacio,
CONICET-UBA, Argentina.

E-mail: scicho@iafe.uba.ar

The LLAMA Observatory: A New Horizon for Radioastronomy in South America

The Large Latin American Millimeter Array (LLAMA) is a joint scientific and technological initiative between Argentina and Brazil, aimed at installing and operating a radio telescope to conduct studies of the Universe at millimeter and submillimeter wavelengths. Currently under construction, LLAMA will be located at 4850 meters above sea level in the Puna Salteña region, in northwestern Argentina. The facility will have a 12-meter diameter antenna similar to those of the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), equipped with two Nasmyth cabins, and six ALMA-type receivers covering bands 1, 2+3, 5, 6, 7, and 9, spanning a frequency range from 35 to 720 GHz.

In this article, we will describe the current status of the project and discuss the scientific opportunities that LLAMA will offer across various fields of astronomy. LLAMA promises significant advancements in our understanding of the cosmos through observations at millimeter and submillimeter wavelength.

■ HISTORIA Y DESARROLLO DEL PROYECTO

La colaboración entre Argentina y Brasil para llevar adelante el proyecto LLAMA se remonta a la década del 2000, cuando comenzó la búsqueda de un sitio adecuado para observaciones en el rango milimétrico y submilimétrico del espectro electromagnético.

Las campañas de búsqueda de sitio fueron realizadas por el IAR (Instituto Argentino de Radioastronomía) e incluyeron la recolección de datos meteorológicos, especialmente mediciones de opacidad atmosférica, y topológicos.

Tras seis años de exploración en el noroeste argentino, buscando áreas con niveles bajos de opacidad atmosférica, se seleccionó Alto Cho-

rrillos, ubicado a 4850 metros sobre el nivel del mar y a 16 km de San Antonio de los Cobres, en la provincia de Salta (ver Figura 1).

En el año 2010, el proyecto ya denominado LLAMA se presentó al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCyT) de la República Argentina, que al año siguiente lo declaró prioritario entre los proyectos de instrumentación astronómica



Figura 1. Ubicación de LLAMA en Alto Chorrillos, cerca de San Antonio de los Cobres, en la provincia de Salta.

en el país. En paralelo, investigadores de Brasil obtuvieron financiamiento para la adquisición de la antena a través de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de São Paulo (FAPESP), en una propuesta liderada por el Dr. Jacques Lépine. En 2014 se formalizó el acuerdo entre el MinCyT, FAPESP y la Universidade de São Paulo (Brasil), en el que se comprometieron a realizar inversiones destinadas a la fabricación e instalación de la antena, así como al desarrollo del observatorio radioastronómico en Salta.

La antena para LLAMA fue encargada a la empresa alemana Vertex Antennentechnik, GmbH. Esta antena comparte el mismo diseño que



Figura 2. Edificio de LLAMA en San Antonio de los Cobres.

las antenas fabricadas por la misma empresa para ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), un importante interferómetro localizado en el desierto de Atacama.

LLAMA es por lo tanto un proyecto de desarrollo tecnológico binacional argentino-brasileño de gran envergadura, que actualmente involucra investigadores e ingenieros de

instituciones públicas y privadas de ambos países.

■ DESCRIPCIÓN GENERAL DE LLAMA

El observatorio LLAMA contará con tres instalaciones en puntos estratégicos de la provincia de Salta. La sede en la ciudad de Salta será el centro desde donde se realizarán las

observaciones de manera remota. En San Antonio de los Cobres LLAMA tiene un edificio construido en colaboración con el gobierno de Salta (ver Figura 2), que albergará laboratorios, oficinas y alojamiento, para brindar la infraestructura necesaria para el mantenimiento básico del telescopio. Finalmente, en Alto Chorrillos, donde el radiotelescopio está en proceso de instalación (ver Figura 3). La Figura 4 muestra el camino de acceso a Alto Chorrillos, construido como parte de la colaboración dentro del proyecto LLAMA.

El instrumento principal de LLAMA es una antena parabólica de 12 metros de diámetro, cuyos elementos principales se indican en la Figura 5.

La antena cuenta con un foco Cassegrain y dos cabinas Nasmyth, cabinas A y B, lo que permitirá la integración de una amplia variedad de instrumentos periféricos.

Inicialmente, LLAMA estará equipado con receptores similares a los de ALMA, enfocándose especialmente en las bandas 5 (163- 211 GHz) y 9 (602 - 720 GHz). Estos receptores estarán instalados en un crióstato adquirido en el National Astronomical Observatory of Japan



Figura 3. El sitio en Alto Chorrillos, con los componentes de la antena dentro de los containers, antes de su armado.



Figura 4. Acceso al sitio LLAMA desde la Ruta Nacional 51. Alto Chorrillos, Departamento Los Andes Provincia de Salta.

(NAOJ). La Tabla 1 detalla los distintos receptores que tendrá LLAMA.

El sistema óptico-electromecánico para guiar la radiación desde el foco principal de la antena hacia las diferentes cabinas y receptores, conocido como NAsmyth Cabin Optical System (NACOS), representa un desarrollo innovador de la colaboración LLAMA.

Como se ilustra en la Figura 6, NACOS se subdivide en dos partes: CASS, una estructura mecánica para la cabina Cassegrain, que alojará las cargas de calibración, y un sistema de espejos para dirigir la luz a las dos cabinas Nasmyth (NASS-A y NASS-B). Cada una de las estructuras NASS albergará un crióstato donde se instalarán tres receptores enfriados a 4 K (-269 grados Celsius).

El reflector principal del radiotelescopio está compuesto por 264 paneles de aluminio distribuidos en 8 anillos. Estos paneles serán alineados utilizando la técnica de holografía. En este caso se utilizará la aproximación de campo cercano, colocando un transmisor en la parte superior de una torre de unos 60 metros de altura y a unos 360 metros de distancia del radiotelescopio (ver Figura 7). La antena entregada por VERTEX tendrá una precisión inicial de la superficie del plato de 25 µm, la cual será mejorada y mantenida a través de la holografía en valores de entre 15 y 20 µm.

Además, los paneles han sido grabados químicamente para dispersar la radiación visible e infrarroja, permitiendo así realizar observaciones diurnas.

A continuación se presentan varias fotografías que ilustran el desarrollo del proyecto, desde el armado de la base donde se montará el radiotelescopio hasta su estado actual (Figuras 8 a 15).

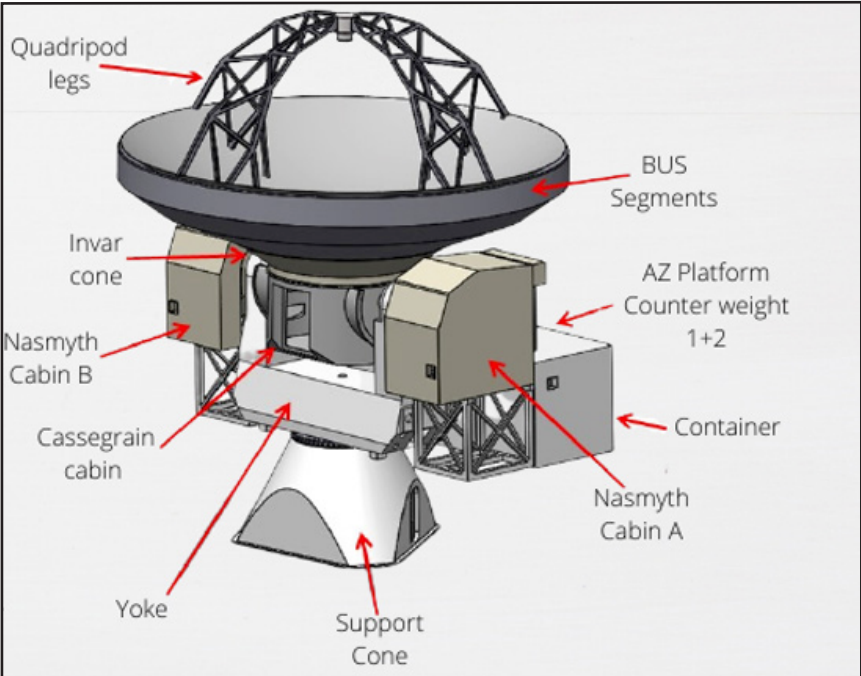


Figura 5. Esquema general de la antena LLAMA con los nombres de sus componentes principales.

Tabla 1: Receptores de LLAMA

Banda	Frecuencia (GHz)
1	35 - 50
2+3	67 - 116
5	163 - 211
6	211 - 275
7	275 - 373
9	602 - 720



Figura 6. Arriba: Descripción general de dónde estarán ubicadas las partes del sistema mecánico NACOS. Abajo: Las componentes CASS y NASS, desarrolladas en las instalaciones de ALFA Engenharia (Araraquara, Brasil).

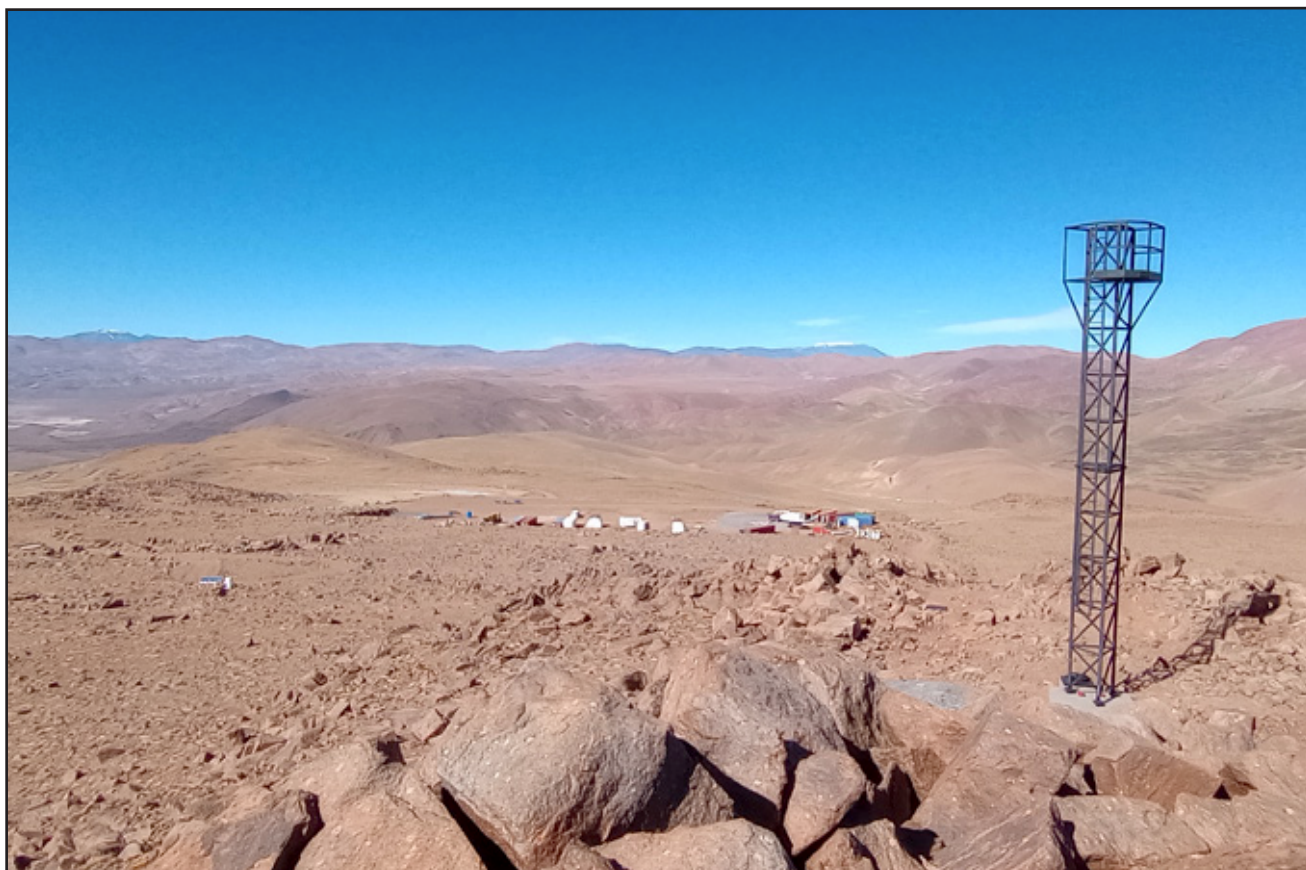


Figura 7. Torre de holografía.

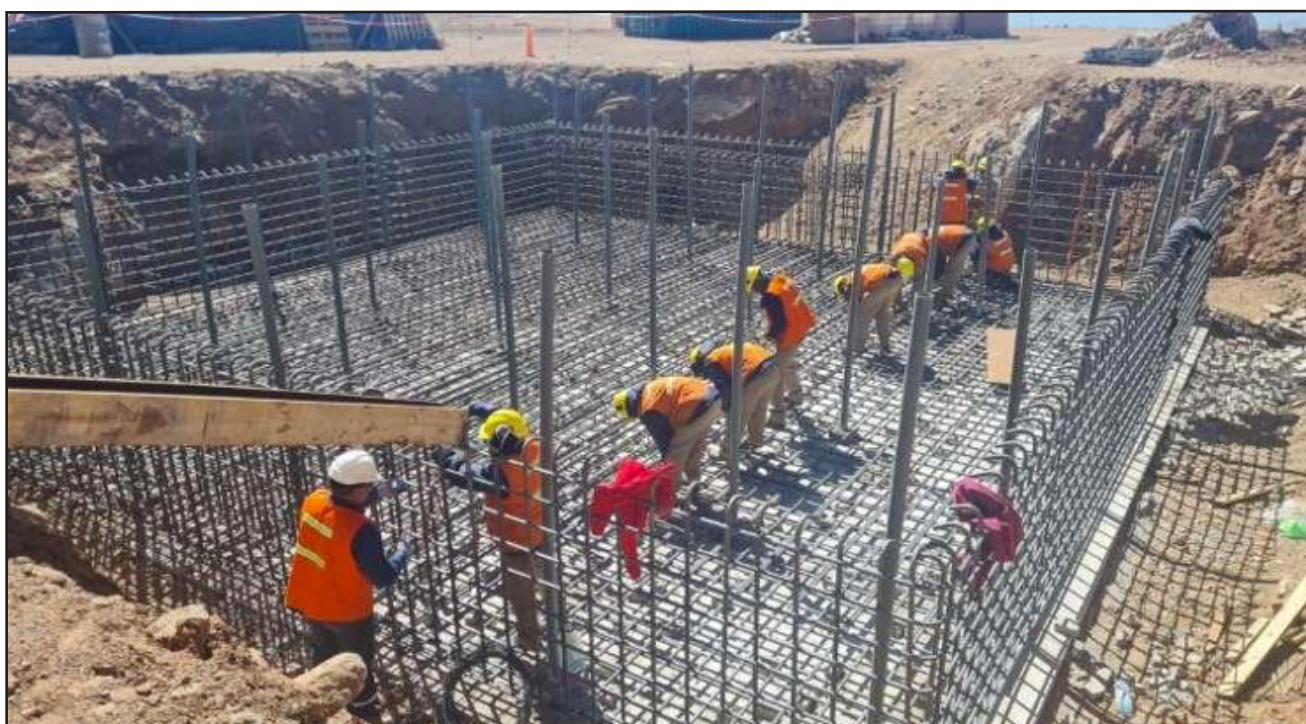


Figura 8. Armado de los cimientos para la base de la antena.



Figura 9. Encofrado final de la fundación de apoyo de la antena.

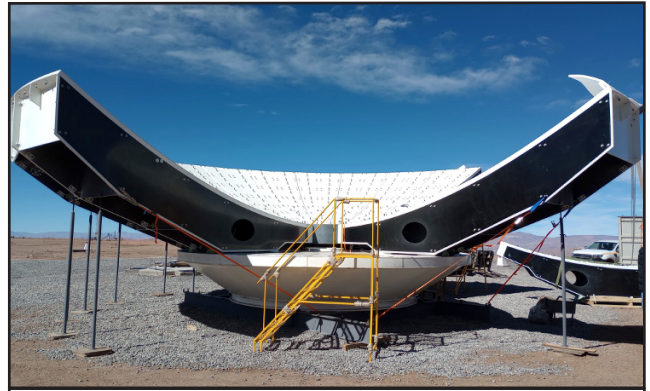


Figura 10. Armado del reflector principal.

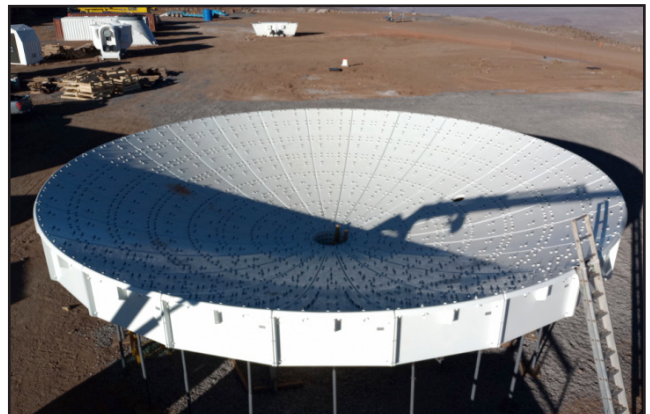


Figura 11. Reflector principal armado y apoyado en tierra previo a su izaje final.

■ SALTA VENTANA AL UNIVERSO

En la Provincia de Salta se desarrollan diversas iniciativas vinculadas con las Ciencias del Universo, aprovechando las condiciones geográficas y climáticas favorables para la instalación de grandes observatorios en altura. Entre las instalaciones científicas de mediano y gran porte que se han instalado, o están en proceso de hacerlo, se encuentran el radio-telescopio LLAMA, el Observatorio QUBIC (<https://www.qubic.org.ar/>) y la Colaboración SWGO (<https://www.swgo.org/SWGOWiki/doku.php>), todas ubicadas en Alto Chorrillos en las cercanías de la localidad de San Antonio de los Cobres; y los Observatorios TOROS (<https://cam.unc.edu.ar/toros/>) y ABRAS (<https://cam.unc.edu.ar/abras/>), localizados

en el Cerro Macón, vecino a la localidad de Tolar Grande.

Para coordinar y facilitar el desarrollo de estas instalaciones, se ha creado el programa "Salta Ventana al Universo". Este programa se ocupa de gestionar y optimizar los recursos necesarios, incluyendo infraestructura adecuada para energía eléctrica, acceso a redes de comunicación y vialidad. La presencia de estos emprendimientos astronómicos en Salta no solo impulsa actividades científicas avanzadas, sino que también se espera que fomente el turismo científico en San Antonio de los Cobres, Tolar Grande y la ciudad de Salta. En esta última, se está construyendo un centro de interpretación y divulgación del conocimiento generado por estos observatorios.

■ GESTIÓN DEL PROYECTO

Actualmente la gestión de LLAMA está a cargo de un Comité Directivo binacional, del que forman parte tres investigadores de Argentina y tres investigadores de Brasil, los cuales son designados por las instituciones firmantes de ambos países, el MinCyT (actualmente SeCyT) por Argentina, y la Universidad de San Pablo y FAPESP, por Brasil. Este comité se encarga de supervisar las decisiones estratégicas y asegurar la coordinación entre ambos países.

Desde noviembre del año 2020, la ejecución técnica del proyecto está a cargo de INVAP. Esta empresa tecnológica con sede en Bariloche se dedica al diseño, integración, y construcción de plantas, equipa-



Figura 12. Colocación del quadrapod de la antena.



Figura 13. Montaje de la base del pedestal de la antena.

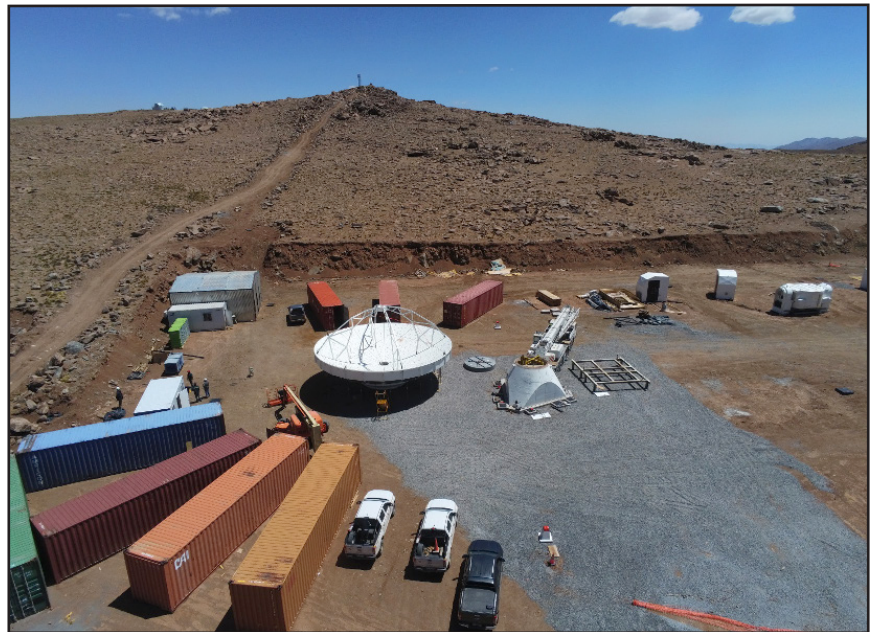


Figura 14. Vista aérea de la antena con su quadrapod. A la derecha se localiza el pedestal. A lo lejos puede verse la antena de holografía y la cúpula del telescopio de QUBIC.

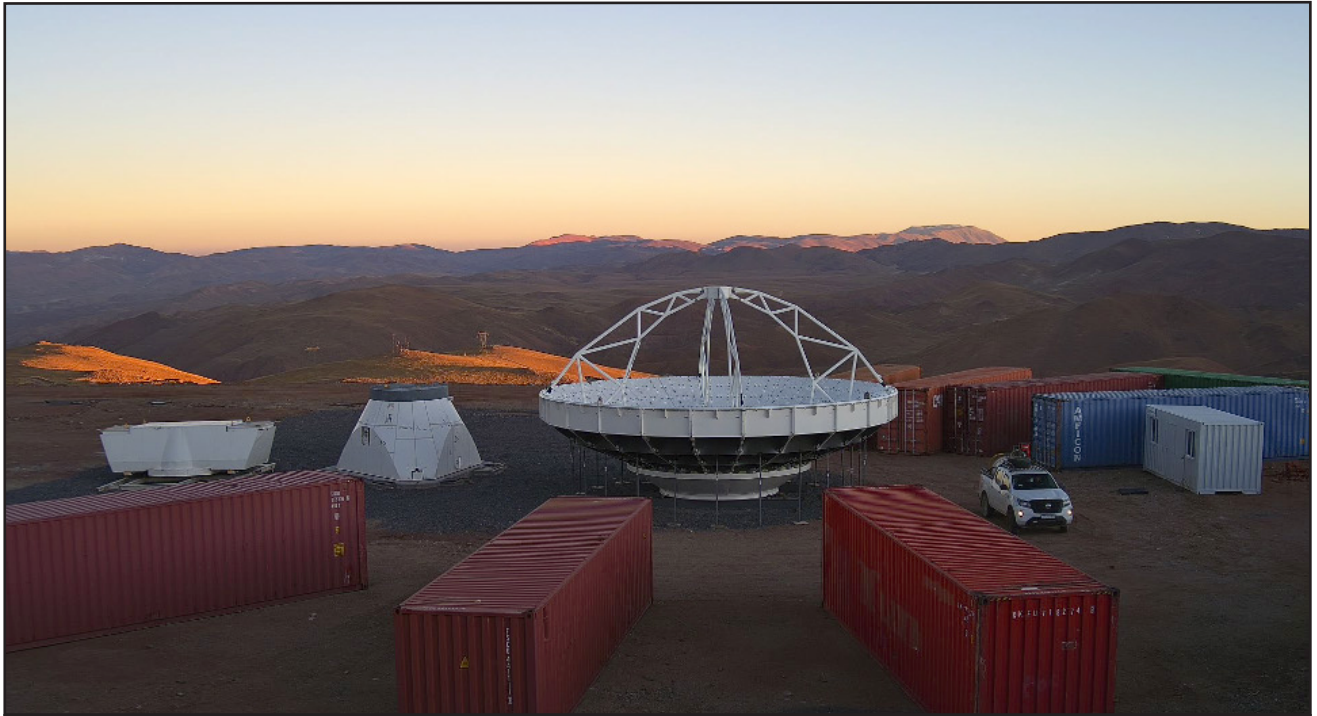


Figura 15. Estado actual del proyecto. Todo listo para continuar con la instalación del radiotelescopio.

mientos y dispositivos en áreas de alta complejidad como energía nuclear, tecnología espacial, tecnología industrial y equipamiento médico y científico. INVAP está a cargo del desarrollo de la infraestructura del sitio (suministro de energía, comunicaciones, obra civil) y del montaje de la antena siguiendo los procedimientos establecidos por VERTEX. Se prevé que también se encargue de la integración de los receptores.

El Comité Directivo cuenta con el apoyo de un Grupo Científico, del cual forman parte investigadores de las comunidades astronómicas de Argentina y Brasil.

■ ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO

En el año 2023 se firmó un nuevo convenio entre Argentina y Brasil para continuar con el proyecto LLAMA, que incluye actividades para alcanzar el hito de la primera luz en

los próximos años. El estado actual del armado de la antena en el sitio es el que se muestra en la Figura 15. Los integrantes del Comité Directivo seguimos manteniendo reuniones periódicas. Sin embargo, el futuro de LLAMA es incierto debido a los cambios de gestión en el gobierno argentino, el MinCyT es ahora la SeCyT, quien al momento no ha confirmado la continuidad del proyecto ni asegurado los fondos para poder avanzar con las tareas en el corto plazo.

Por este motivo los trabajos en el sitio están detenidos, a la espera de contar con el presupuesto necesario para avanzar con la instalación de la antena.

■ CIENCIA CON LLAMA

Como se mencionó anteriormente, LLAMA estará equipado con seis receptores (ver Tabla 1), ubicados en las cabinas Nasmyth. Esta configura-

ción permitirá a LLAMA realizar observaciones simultáneas en dos o más bandas, abarcando un amplio rango de longitudes de onda. Además, LLAMA será capaz de llevar a cabo observaciones en continuo, espectrales, polarimétricas y solares.

Esta versatilidad en las observaciones abre la puerta a una amplia gama de investigaciones científicas. LLAMA permitirá realizar estudios en diversos campos, algunos de los cuales se describen a continuación.

➤ **Atmósferas planetarias:** LLAMA será una herramienta clave para estudiar las atmósferas de los planetas de nuestro Sistema Solar. Utilizando espectroscopía de alta resolución en longitudes de onda milimétricas podremos investigar la composición y dinámica de estas atmósferas con una precisión sin precedentes. Estos estudios nos permitirán avanzar en el entendimiento de la formación

- y evolución del Sistema Solar. El estudio de los planetas gigantes es fundamental debido a su gran masa y su influencia significativa en la formación y estructura del Sistema Solar. Medir su composición y estructura térmica en tres dimensiones y a lo largo del tiempo nos ayudará a entender mejor estos procesos, especialmente considerando los cambios estacionales y la influencia de materiales exógenos como cometas.
- Física solar: LLAMA será una herramienta valiosa para el estudio del Sol, permitiéndonos realizar una variedad de investigaciones, tales como:
 - Observaciones del Sol en distintas longitudes de onda (sub) milimétricas: Esto nos permitirá estudiar las condiciones físicas de la cromósfera, que es la capa situada entre la fotósfera y la corona, proporcionando información sobre su estructura y dinámica (e.g. Nindos et al. 2022).
 - Resolución de estructuras solares: LLAMA tendrá la capacidad de resolver espacialmente la umbra y la penumbra de las manchas solares en la baja cromósfera, dependiendo del límite de difracción de la banda utilizada. Esto ayudará a entender mejor la formación y evolución de estas manchas (e.g. Loukitcheva et al. 2017).
 - Medición de campos magnéticos: A través de observaciones de polarización, LLAMA podrá contribuir a las mediciones de los campos magnéticos solares (e.g. Loukitcheva et al. 2020), lo cual es fundamental para comprender los fenómenos solares como las fulguraciones y las eyecciones de masa coronal.
 - Estudio de fulguraciones solares: Combinando las observaciones de LLAMA con otros instrumentos (como el SST, AR30T y HATS), se podrán obtener espectros precisos de las fulguraciones a altas frecuencias, determinar la naturaleza de la radiación emitida y estimar la relevancia de los mecanismos que la generan.
 - Estudios del Medio Interestelar: LLAMA será una herramienta esencial para estudiar diversas estructuras y fenómenos en el medio interestelar, incluyendo:
 - Formación estelar: Utilizando espectroscopía de alta resolución en longitudes de onda (sub) milimétrica podremos investigar la composición química y la dinámica del gas en regiones como los Núcleos Moleculares Calientes (HMCs), que son densas nubes de gas y polvo donde se forman las estrellas (e.g. Csengeri et al. 2014, Koenig et al. 2017). Estos estudios proporcionarán una comprensión profunda de cómo se forman y evolucionan las estrellas y los sistemas planetarios.
 - Efectos de la expansión de las regiones HII: Las estrellas masivas, consideradas así a las que tienen más de 8 masas solares, ionizan el gas circundante creando una región de gas ionizado (región HII) a su alrededor. Debido a la diferencia de presiones entre el gas ionizado y el neutro, la región HII se expande y modifica la estructura de la nube molecular en la que la estrella se formó. Esta interacción genera zonas muy densas y puede llegar a inducir la formación de nuevas estrellas (e.g. Cichowolski et al. 2015, Cárdenas et al. 2022). LLAMA nos permitirá estudiar estos efectos observando las emisiones de distintas moléculas, como el monóxido de carbono (CO), para entender cómo la expansión de la región HII puede afectar el gas molecular.
 - Colisión de supercáscaras: Las supercáscaras son grandes estructuras, de más de 200 parsecs de diámetro, probablemente creadas por la acción de estrellas masivas y explosiones de supernovas (e.g. Suad et al. 2014, Suad et al. 2019). Se cree que la colisión de estas estructuras podría generar zonas densas donde potencialmente se formarían nuevas nubes moleculares gigantes. LLAMA nos permitirá investigar estas colisiones y sus efectos, a través de observaciones de moléculas que indican la presencia de choques.
 - Remanentes de supernova: LLAMA ayudará a investigar cómo interactúan los remanentes de supernova con las nubes moleculares cercanas, identificando lugares donde podría estar ocurriendo la aceleración de partículas y la producción de rayos cósmicos (e.g. Petriella et al. 2021, Duvidovich & Petriella 2023).
 - Astroquímica: LLAMA será crucial en astroquímica para detectar nuevas moléculas y mejorar la sensibilidad en estudios del medio interestelar. Podrá realizar observaciones de líneas moleculares en nubes y estrellas evolucionadas, explorando frecuencias submilimétricas menos estudiadas como las bandas 3, 5, 7 y 9. LLAMA también podrá realizar relevamientos de trazadores moleculares clave y estudiar detalladamente las propiedades físicas y químicas de estructuras como los núcleos moleculares calientes y

las nubes oscuras (e.g. Kurtz et al. 2000, Cesaroni et al. 2005).

➤ Galaxias:

- **Nubes de Magallanes:** Las Nubes de Magallanes son dos galaxias satélites de nuestra Vía Láctea, caracterizadas por tener una baja metalicidad y una alta proporción de gas HI respecto al gas molecular. LLAMA permitirá mapear extensas áreas de estas galaxias en diferentes transiciones moleculares como CO, HCO⁺, CS, o SiO, con una resolución espacial que nos permitirá estudiar regiones de formación estelar y nubes moleculares. Estudiando estas galaxias, podremos comprender mejor cómo se forman las estrellas en entornos menos enriquecidos en elementos pesados, similares a las condiciones del Universo temprano (e.g. Saldaño et al 2024, Stanke et al. 2022).

- **Galaxias Cercanas:** Se podrá mapear la distribución del gas molecular en galaxias cercanas, identificando regiones de gas de alta densidad donde se forman las estrellas. Las líneas de emisión de CO son fundamentales para trazar la cantidad y distribución del gas molecular frío. Las observaciones con LLAMA permitirán estudiar la dinámica del gas molecular, lo cual es crucial para entender la formación y evolución de estructuras galácticas como los brazos espirales, las barras y los núcleos galácticos. LLAMA permitirá observar regiones específicas dentro de galaxias cercanas, como los núcleos galácticos y nebulosas, para estudiar la formación estelar en diferentes ambientes galácticos. La capacidad de LLAMA para detectar una

amplia gama de moléculas en el rango submilimétrico posibilita estudios detallados de la composición química del gas en estas galaxias. Los Núcleos Galácticos Activos (AGN) emiten en el rango de frecuencias que cubrirá LLAMA, lo que permitirá estudiar el disco de acreción del agujero negro supermasivo y la dinámica del material en acreción. Además, los AGN frecuentemente presentan jets relativistas que emiten fuertemente en este rango, lo que permitirá entender su composición, velocidad e interacción con el medio circundante (e.g. Jones et al. 2015).

Para obtener más detalles sobre los proyectos científicos que se podrán realizar con LLAMA, se pueden consultar las presentaciones del ciclo de Seminarios LLAMA-IAFE, llevados a cabo en modo virtual en el año 2021 (<https://www.llamaobservatory.org/seminars2021/>).

También están disponibles los trabajos presentados en el evento internacional "Science with LLAMA", organizado en Salta en septiembre de 2022 (<https://www.llamaobservatory.org/ws2022/>).

■ COLABORACIONES INTERNACIONALES

Uno de los usos científicos más prometedores para LLAMA es su posible integración en el proyecto "Next Generation Event Horizon Telescope" (ngEHT). Este proyecto, dirigido por el Observatorio Astrofísico Smithsoniano del Harvard-Smithsonian en Estados Unidos, es la continuación del exitoso Event Horizon Telescope (EHT). El EHT fue responsable de capturar la primera imagen de la sombra de un agujero negro, un hito publicado en 2019 que marcó un

avance significativo en la astrofísica.

La colaboración de LLAMA con la red internacional de radiotelescopios del ngEHT podría ser crucial para alcanzar nuevos objetivos científicos, como la creación de la primera película que muestre el comportamiento dinámico de un agujero negro. Esta participación no solo destacará la capacidad técnica y científica de LLAMA, sino que también contribuirá significativamente al avance de nuestra comprensión del universo.

Por otro lado, actualmente LLAMA está realizando el préstamo temporal del receptor de Banda 9, denominado Kúntur (que significa Cóndor en Quechua y se muestra en la Figura 16), que opera a 650 GHz, al telescopio del hemisferio norte JCMT (James Clerk Maxwell Telescope), ubicado en Mauna Kea, Hawaii. Este préstamo permitió ensayar el receptor en condiciones de operación similares a las que tendrá en LLAMA.

A su vez, este intercambio ha permitido a las comunidades astronómicas de Brasil y Argentina acceder a tiempo de observación en el JCMT, un telescopio submilimétrico operado por Taiwán. De este modo, esta colaboración ha facilitado el uso del JCMT por parte de investigadores argentinos y brasileños, abriendo nuevas oportunidades para el desarrollo conjunto de instrumental tecnológico avanzado y promoviendo nuevas colaboraciones científicas internacionales.

■ PERSPECTIVAS FUTURAS

En conclusión, LLAMA representa un avance significativo en la investigación astronómica, impulsado por una robusta inversión en ciencia y tecnología, así como por la colaboración estratégica entre Argentina y

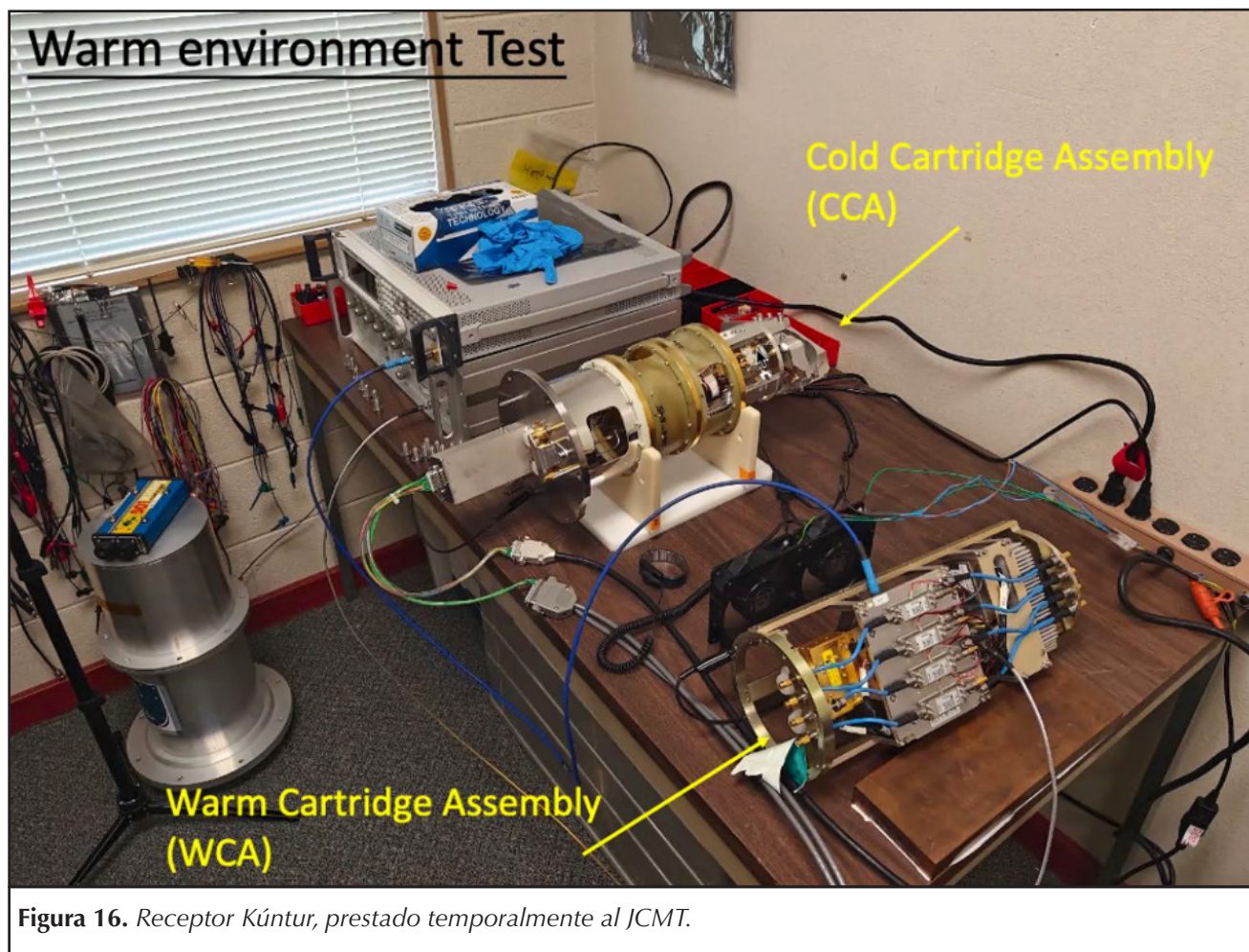


Figura 16. Receptor Kúntur, prestado temporalmente al JCMT.

Brasil. Este proyecto no solo contribuirá a la expansión de nuestro conocimiento del Universo, sino que también potenciará la capacidad de ambos países para realizar investigaciones de vanguardia. La integración de tecnologías avanzadas y el enfoque en múltiples áreas científicas aseguran que LLAMA tendrá un impacto duradero en el campo de la astronomía y en el desarrollo de capacidades científicas en la región.

Agradecimientos: El proyecto LLAMA es posible principalmente gracias al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCyT, Argentina) y la Fundación de Investigación de São Paulo (FAPESP, Brasil, a través de las subvenciones 2011/51676-9, 2015/50360-9 y 2015/50359-0).

También cuenta con inversión del CNPq/Finep/MCTIC/BRICS-STI (beca 402966/2019-8), Gobierno de Salta, Consejo Holandés de Investigación (NWO, Países

Bajos) y FONDEF/Conicyt (Chile). En el desarrollo del proyecto en Argentina participan CONICET, Gobierno de Salta, INVAP, IAR, IAFE, OAC y UNSa. En Brasil, la Universidad de São Paulo, CRAAM/Mackenzie e INPE/MCTI forman parte de la colaboración.

El proyecto LLAMA reconoce el privilegio de establecer sus instalaciones y observar el Universo desde un sitio natural y cultural único en la Puna Argentina.

■ REFERENCIAS:

- Cárdenas, S. B., Cichowolski, S., Suad, L. A., Molina Lera, J. A., Gamen, R., Rizzo, L. (2022) A multiwavelength study of the H II region G347.600 + 00.211 and its effects on the surrounding medium. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 509, 3395.
- Cesaroni, R. (2005) in *Massive Star Birth: A Crossroads of Astrophysics*, 227, eds. R. Cesaroni, M. Felli, E. Churchwell, & M. Walmsey, 59
- Cichowolski, S., Suad, L. A., Pineault, S., Noriega-Crespo, A., Arnal, E. M., Flagey, N. (2015)

- The infrared and molecular environment surrounding the Wolf-Rayet star WR 130. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 450, 3458.
- Csengeri, T., Urquhart, J. S., Schuller, F., et al. (2014) *Astronomy & Astrophysics* 565, A75
- Duvidovich, L., Petriella, A. (2023) Radio and infrared study of the supernova remnant candidate HESS J1912+101, *Astronomy and Astrophysics* 672, 195
- Jones, S. F., Blain, A. W., Lonsdale, C., Condon, J., Farrah, D., Stern, D., Tsai, C., Assef, R. J., Bridge, C., Kimball, A., Lacy, M., Eisenhardt, P., Wu, J., Jarrett, T. (2015) Submillimetre observations of WISE/radio-selected AGN and their environments, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 448, 3325
- König, C., Urquhart, J. S., Csengeri, T., et al. (2017) *Astronomy & Astrophysics* 599, A139
- Kurtz, S., Cesaroni, R., Churchwell, E., Hofner, P., & Walmsley, C. M. (2000) in *Protostars and Planets IV*, eds. V. Mannings, A. P. Boss, & S. S. Russell, 299
- Loukitcheva, M. A., Iwai, K., Solanki, S. K. White, S. M., Shimojo, M. (2017) Solar ALMA Observations: Constraining the Chromosphere above Sunspots, *Astrophysical Journal* 850, 35
- Loukitcheva, M.A.(2020) Measuring magnetic field with Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array, *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* 7, 45
- Nindos, A., Patsourakos, S., Jafarzadeh, S., Shimojo, M. (2022) The dynamic chromosphere at millimeter wavelengths, *Frontiers in Astronomy and Space Sciences* 9
- Petriella, A., Duvidovich, L., Giacani, E. (2021) Radio study of HESS J1857+026: Gamma-rays from a superbubble?, *Astronomy and Astrophysics* 652, 142
- Saldaño, H. P., Rubio, M., Bolatto, A. D., Sandstrom, K., Swift, B. J., Verdugo, C., Jameson, K., Walker, C. K., Kulesa, C., Spilker, J., Bergman, P., Salazar, G. A. (2024) SuperCAM
- CO(3-2) APEX survey at a 6 pc resolution in the Small Magellanic Clouds, *Astronomy & Astrophysics* 687, 26
- Stanke, Th., Arce, H. G., Bally, J., Bergman, P., Carpenter, J., Davis, C. J., Dent, W., Di Francesco, J., Eislöffel, J., Froebrich, D., Ginsburg, A., Heyer, M., Johnstone, D., Mardones, D., McCaughrean, M. J., Megeath, S. T., Nakamura, F., Smith, M. D., Stutz, A., Tatematsu, K., Walker, C., Williams, J. P., Zinnecker, H., Swift, B. J., Kulesa, C., Peters, B., Duffy, B., Kloosterman, J., Yıldız, U. A., Pineda, J.L., De Breuck, C., Klein, Th. (2022) The APEX Large CO Heterodyne Orion Legacy Survey (ALCOHOLS). I. Survey overview. *Astronomy and Astrophysics* 658, 178
- Suad, L. A., Caiafa, C. F., Arnal, E. M., Cichowolski, S. (2014) A new catalog of HI supershell candidates in the outer part of the Galaxy, *Astronomy & Astrophysics* 564, 116
- Suad, L. A., Caiafa, C. F., Cichowolski, S., Arnal, E. M. (2019) Galactic H I supershells: kinetic energies and possible origin, *Astronomy and Astrophysics* 624, 43