

EL ARREGLO INTERFEROMÉTRICO MULTIPROPÓSITO (MIA): Primer Radiointerferómetro Argentino

Palabras clave: radioastronomía, instrumentación, desarrollo tecnológico, grandes equipamientos, interferómetros.

Key words: radio astronomy, instrumentation, technological development, large equipments, interferometers.

En este artículo presento el proyecto del primer arreglo interferométrico multipropósito desarrollado en la Argentina. Se trata de un instrumento completamente diseñado y construido en el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) donde se está instalando el prototipo del instrumento. La interferometría combina diversos radiotelescopios pequeños para lograr una sensibilidad y un poder resolvente para la detección y estudio de fuentes extraterrestres mucho mayor que la que se puede obtener con grandes antenas. El nuevo instrumento será modular, con receptores digitales de gran ancho de banda (hasta 1 GHz) y operará a bajas frecuencias, en el rango de 2 GHz. El instrumento será idóneo para la investigación de fuentes transitorias muy rápidas (del orden del milisegundo), pulsares, y otros sistemas astrofísicos rápidamente variables. Podrá sumarse a la detección de ondas gravitacionales monitoreando pulsares del milisegundo. En su configuración final el instrumento contará con unas 64 antenas de unos 4.1 m de diámetro, localizadas en una región de baja interferencia del oeste de la República Argentina.

Gustavo E. Romero

Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR – CONICET/CIC/UNLP), C.C. 5, 1894 Villa Elisa, PBA, Argentina.
Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas (FCAyG), Universidad Nacional de La Plata, Paseo del Bosque s/n, 1900 La Plata, PBA, Argentina.

E-mail: gustavo.esteban.romero@gmail.com

The Multipurpose Interferometric Array (MIA): First Argentine Radiointerferometer

In this article I present the project of the first multipurpose interferometric array developed in Argentina. It is an instrument designed and built entirely at the Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), where the prototype of the instrument is being installed. Interferometry combines several small radio telescopes to achieve much higher sensitivity and resolving power for the detection and study of extraterrestrial sources than can be achieved with large antennas. The new instrument will be modular, with high-bandwidth digital receivers (up to 1 GHz) and will operate at low frequencies, in the 2 GHz range. The instrument will be suitable for the study of very fast transient sources (on the order of milliseconds), pulsars, and other rapidly changing astrophysical systems. It will be able to contribute to the detection of gravitational waves by monitoring millisecond pulsars. In its final configuration, the instrument will have about 64 antennas, each about 4.1 m in diameter, located in a low-interference region of western Argentina.

■ ANTECEDENTES

Los orígenes de la radioastronomía en Sudamérica y del Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), el primer observatorio dedicado a esta rama de la astronomía en esta parte del mundo, están asociados al nombre de Merle Anthony Tuve

(27 de junio de 1901 - 20 de mayo de 1982). Tuve fue un geofísico estadounidense pionero en el uso de ondas de radio pulsadas. Sus descubrimientos allanaron el camino para el desarrollo del radar y la física nuclear. Merle A. Tuve fue director del Departamento de Magnetismo

Terrestre (DTM) de la Institución Carnegie para la Ciencia (1946-66), y desde ese puesto desempeñó un papel clave en la creación del IAR.

El 7 de diciembre de 1961, Tuve envió una carta al Dr. Bernardo Houssay, presidente del Consejo

Nacional de Investigaciones Científicas de Argentina (CONICET), en la que proponía la creación de una estación de radioastronomía en Argentina, junto con un memorándum en el que se describía el instrumento principal de la instalación: un radiotelescopio de 30 m de diámetro con montura ecuatorial. El instrumento podría cubrir desde el polo sur celeste hasta -10 grados de declinación y de -2 a $+2$ horas de ascensión recta. Esto le permitiría observar todo el plano de la Galaxia y mapear la distribución del hidrógeno neutro galáctico por medio de la detección de la línea de transición hiperfina de 21 cm de longitud de onda. El DTM proporcionaría todos los materiales para la construcción del telescopio. La carta inicial de Tuve inició una serie de intercambios con Houssay que acabarían desembocando en la creación de la IAR.

El 27 de abril de 1962, el CONICET creó el Instituto Nacional de Radioastronomía (INRA). Posteriormente, se firmó un convenio con la Universidad de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata (UNLP) y la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la provincia de Buenos Aires, por el que se establecía que todas estas instituciones colaborarían en el sostenimiento del nuevo instituto. Finalmente, se cambió el nombre por el de Instituto Argentino de Radioastronomía, para evitar confusiones con otro instituto dedicado a las tecnologías agropecuarias, pero con las mismas siglas. La historia del IAR ha sido presentada en detalle por Bajaja (2009) y por Romero (2024), por lo que no la repetiremos aquí. El lector interesado puede consultar los trabajos mencionados. Aquí nos limitaremos a mencionar que luego de muchos años de servicio, el radiotelescopio del IAR y un gemelo que fue construido durante los años 1970, habían dejado de funcionar para el año 2018. Cuando una nueva gestión se

hizo cargo del instituto ese año, encontró un panorama desolador: los dos instrumentos principales habían estado fuera de servicio por 20 años, desde 1998. Además, las capacidades de generar tecnología y transferirla por parte del instituto estaban completamente sin aprovechar, y se carecía de una política institucional en lo referido a la observación radioastronómica (para más detalles ver Romero 2024).

La nueva gestión encontró fuerte apoyo por parte del CONICET para reorganizar la institución. Se presentó un proyecto de recuperación de los radiotelescopios y en poco tiempo los mismos pudieron ser relanzados con una completa modernización de su electrónica. En septiembre de 2019 los instrumentos fueron bautizados como Radiotelescopio Carlos Varsavsky (la primera antena) y Radiotelescopio Esteban Bajaja (la segunda antena), en honor a dos directores del IAR. Dado que el tamaño de los radiotelescopios, si bien importante para los años en que fueron construidos, hoy es modesto, el énfasis de la modernización reca-

yó sobre la electrónica, incorporándose fibra óptica para la transmisión de datos, usando nuevos receptores digitales basados en placas de electrónica programable --lo que permite controlar el ancho de banda en forma instantánea. Además se incorporaron diversas bases de tiempo (GPS, GNSS, reloj atómico), y se aumentó la sensibilidad con el incremento del ancho de banda desde los antiguos 50 MHz hasta los 400 MHz. El nuevo sistema permite remover en forma electrónica las interferencias de origen humano y logra la detección de pulsos de radio de origen astrofísico significativamente más breves que un milisegundo, con microestructura detectable hasta el nivel del microsegundo. Estos avances fueron posibles gracias al enorme esfuerzo de los ingenieros y técnicos del IAR, la introducción de un nuevo organigrama de trabajo, la mejora de los laboratorios, y la colaboración de varias instituciones como el *Rochester Institute of Technology* (RIT), el Observatorio de Parkes, y el *Harvard-Smithsonian Observatory*, entre otros. La Figura 1 muestra al IAR el día del bautismo de los radiotelescopios.



Figura 1. Vista parcial del Instituto Argentino de Radioastronomía el día en que se bautizaron los dos radiotelescopios de 30 m, completamente renovados. Septiembre de 2019.

Los nuevos telescopios se dedicaron al estudio de pulsares y a la detección de los llamados *glitches* que ocurren en ellos. Éstos son el resultado de movimientos en la corteza y en el interior de las estrellas de neutrones que cuando rotan generan los pulsos medidos desde la tierra. Por tanto, su estudio es útil para investigar el estado de la materia dentro de estas estrellas ultra-compactas. También se están investigando las fulguraciones que presentan los llamados *magnetares*, estrellas compactas muy magnetizadas (son los objetos más magnetizados del universo), y se observan pulsares del milisegundo (estrellas de neutrones que rotan 1000 veces por segundo) para colaborar con la detección y medición de ondas gravitacionales gigantes que con su paso pueden afectar la velocidad de rotación (ver, por ejemplo, Gancio et al. 2020; Sosa Fiscella et al. 2021; Zubieta et al. 2023, 2024; Lousto et al. 2024).

Para el año 2020, sin embargo, era evidente que por más productivos que fuesen los radiotelescopios existentes, el IAR necesitaba de un nuevo proyecto instrumental que le permitiera realizar nuevos desarrollos y alcanzar objetivos que aún no eran posibles desde Sudamérica. Esto, estimó la nueva dirección, era una herramienta fundamental para seguir posicionando al instituto a nivel internacional y en la vanguardia científico-tecnológica del país. El proyecto que propuso el IAR para su futuro se llamó *Multipurpose Interferometric Array* (MIA). Ese mismo año se obtuvo un subsidio del CONICET para dar comienzo al mismo.

■ CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO

MIA está diseñado para ser un instrumento de bajo coste en su fase inicial, con capacidad para ampliarse y actualizarse con el tiempo. El

instrumento constará de varias radioantenas conectadas a un ordenador central que procesará los datos y generará las imágenes de los objetos observados y las curvas temporales de sus variaciones. La configuración final podrá incluir hasta 64 antenas dispuestas en un arreglo tal que se logre una resolución angular importante. La misma viene dada por la máxima separación entre los discos de las unidades de observación, que serán fijas.

MIA tendrá una gran sensibilidad, permitiendo a los investigadores detectar radiofuentes débiles con gran precisión. El instrumento será capaz de operar en frecuencias entre 1 GHz y 2,3 GHz con la capacidad de añadir un subarreglo de antenas de baja frecuencia, posibilitando un amplio rango de aplicaciones científicas y tecnológicas. El potencial científico de MIA abarcará un amplio abanico de áreas de investigación en astrofísica (ver Benaglia 2024). Entre ellas, la detección de transitorios homólogos en radio frecuencias a los estallidos de rayos gamma, el estudio de los destellos de radio rápidos (conocidos en inglés como *fast radio bursts* o FRBs), el cronometraje de púlsares y la observación de fulguraciones en magnetares y otros objetos compactos. Además, MIA permitirá el estudio del radio espectro y su evolución temporal de binarias de rayos X y microcuásares, así como la identificación de la contraparte de fuentes de rayos gamma no identificadas. Éstas últimas se espera que abunden en las próximas décadas debido a la entrada en servicio, en Chile, del *Cherenkov Telescope Array* (CTA), un instrumento revolucionario para la detección de rayos gamma. Otras áreas de investigación en las que MIA puede hacer contribuciones significativas incluyen los estudios de variabilidad multifrecuencia de núcleos galácticos activos, el estudio

de la morfología y la distribución espectral de remanentes de supernova y la cartografía de fuentes continuas no térmicas. La sensibilidad de MIA también permitirá el estudio de la línea hidrógeno neutro (HI) a distancias cosmológicas para caracterizar la época de reionización del Universo, así como el estudio del medio interestelar con alta resolución angular (ver, para más detalles, Benaglia 2024 y Gancio 2024).

La ubicación de MIA, único instrumento en su tipo en ser instalado en Sudamérica, le permitirá monitorear una gran variedad de fuentes una vez que las mismas hayan dejado de ser observables desde Australia y Sudáfrica, posibilitando, por vez primera, obtener un seguimiento continuo de numerosos fenómenos que son altamente dependientes del tiempo. En ese sentido, MIA desempeñará un papel importante en la expansión de la investigación astrofísica en Argentina y contribuirá a los esfuerzos de la comunidad científica mundial para profundizar nuestra comprensión del Universo. En la Figura 2 mostramos una simulación de cómo se vería una radiogalaxia con un arreglo inicial de sólo 16 antenas.

■ DISEÑO BÁSICO DE MIA

El diseño de MIA es modular y expansivo por medio de diferentes fases a las cuales se les va agregando unidades de observación (antenas) y se va incrementando en forma correspondiente la potencia computacional y el almacenamiento para el procesamiento de los datos. En su Fase 1 MIA incluye un total de 16 antenas, cada una con un diámetro de 5 m y una montura alto-azimutal, lo que le da una cobertura total del cielo austral. En esta configuración el interferómetro tiene una resolución angular mínima de 1,5 segundos de arco en el cielo trabajando

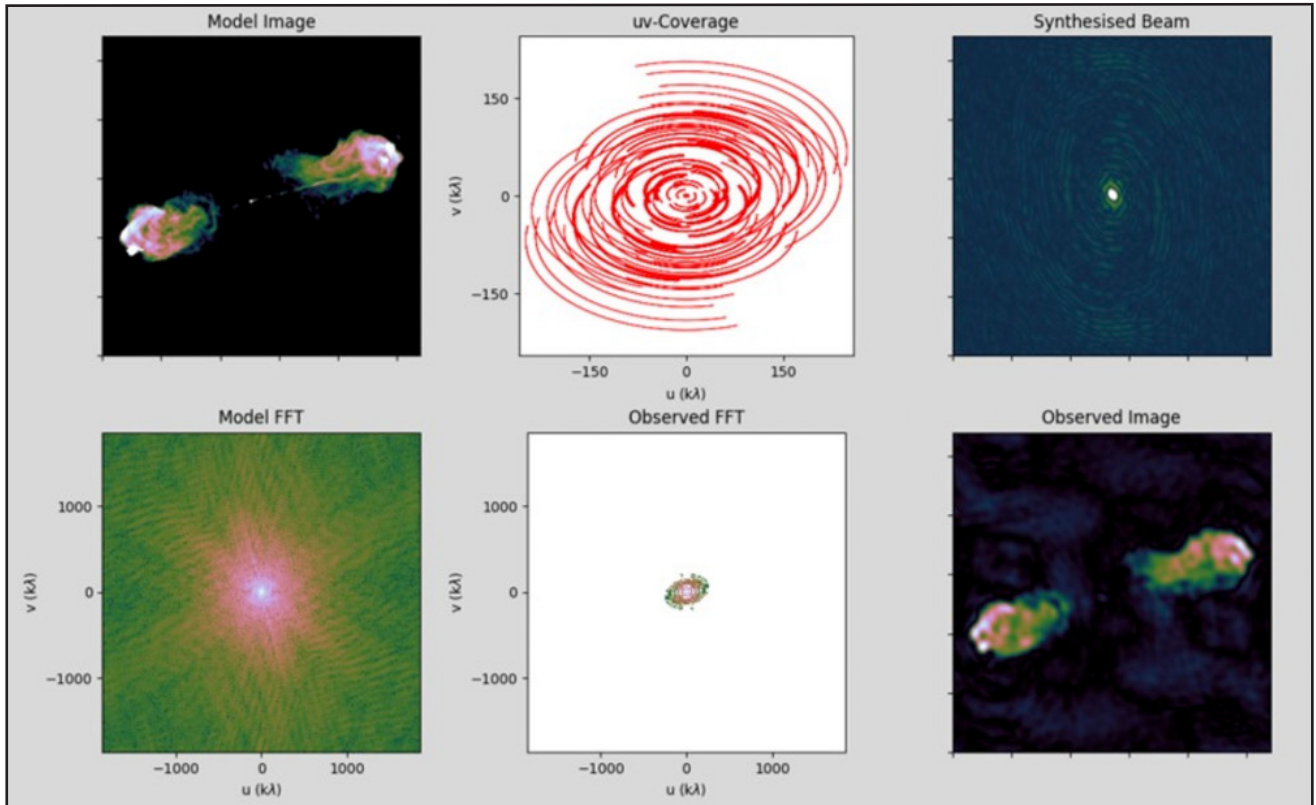


Figura 2. Resultado de una simulación de cómo se vería una radio galaxia con el arreglo de 16 antenas extendido sobre una distancia de 50 km. En el ángulo superior izquierdo se ve la imagen modelo y en el inferior derecho cómo se vería la misma imagen con el instrumento.

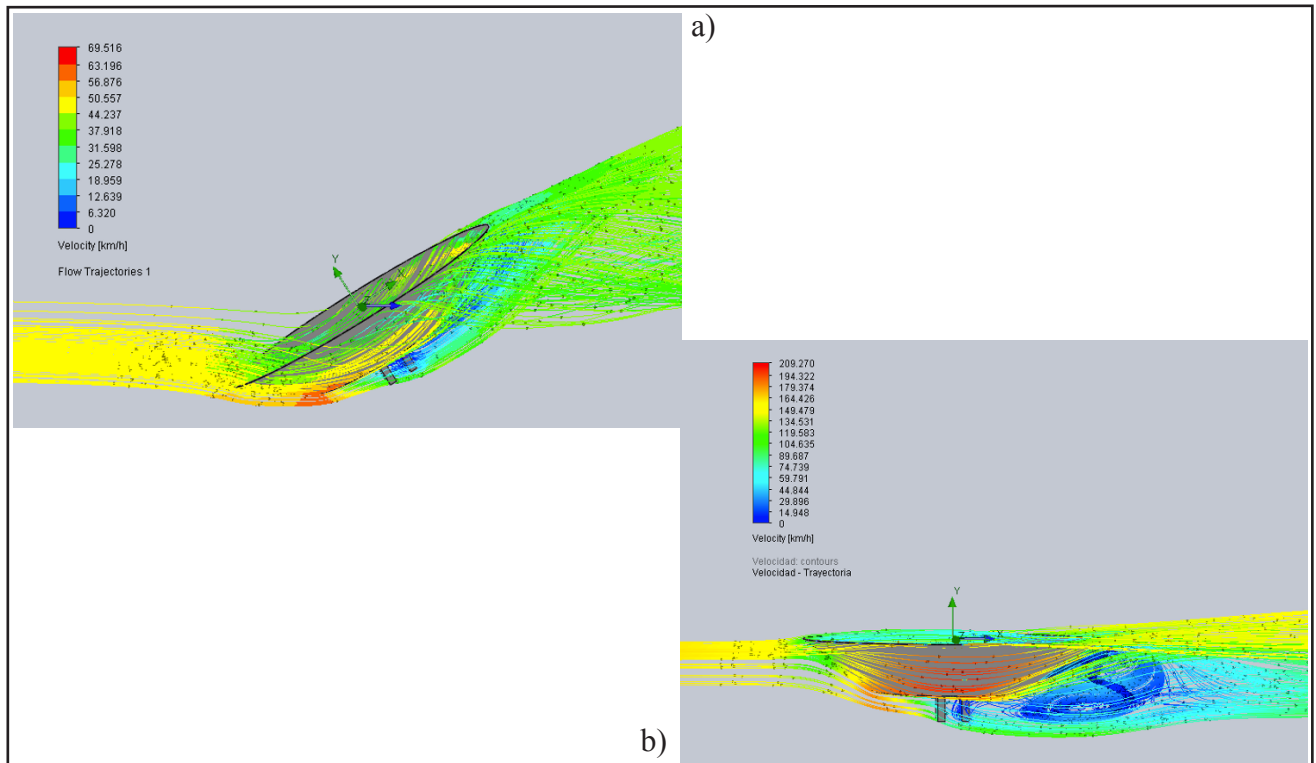


Figura 3. Simulaciones numéricas de fluidodinámica del comportamiento de la antena ante vientos de 50 km/h. a) Viento incidente con la antena inclinada. b) Viento incidente con la antena en posición de descanso. Los colores indican la velocidad local del aire.

Tabla 1. Parámetros básicos de MIA Fase 1.

Número de antenas	16
Diámetro de cada antena	5 m
Tipo de montura	Alto-Azimutal
Línea de base mínima	50 km
Línea de base máxima	55 km
Resolución angular	1,5 segundos de arco a 1420 MHz con separación de 50 km
Temperatura del receptor	50 K
Rango operativo inicial de frecuencias	1 a 2,3 GHz
Modo de digitalización	En cada antena
Ancho de banda	1000 MHz
Correlación	En el nodo central
Fuente de potencia para las antenas	Solar
Polarización	Modos Q, U, y V

en una frecuencia de 1420 MHz y una separación de las antenas de 50 km. Para comparación, los telescopios de 30 metros actuales del IAR tienen una resolución de 30 minutos de arco (aproximadamente el equivalente del tamaño de la luna llena en el cielo) y una montura ecuatorial que sólo les permite seguir una fuente en el cielo por 4 horas.

La temperatura de los receptores en esta primera fase será ligeramente inferior a 50 K y el arreglo operará en el rango de frecuencias de 1 a 2,3 GHz, digitalizando las señales recibidas en forma independiente en cada antena, de manera que se paralelizará la digitalización disminuyendo los requerimientos de procesamiento central. El ancho de banda final del sistema se espera sea de 1000 MHz (más del doble del de los radiotelescopios a actuales del IAR) y la correlación de las señales tendrá lugar en un nodo central. Además, el interferómetro en esta fase está diseñado para aumentar su capacidad hacia la Fase 2 por medio de la adición de antenas, tanto al núcleo central como a las ramas externas, lo que permite una expansión flexi-

ble del sistema y el desarrollo de su potencial en diferentes direcciones. El arreglo central posibilitará incrementar sensibilidad, mientras que las unidades externas servirán para expandir la resolución. Al estar dedicado en parte a análisis de variaciones temporales rápidas, la estación central contará con bases de tiempo variadas como GPS, GNSS (con sus correspondientes antenas para baja de la señal satelital) así como con reloj atómico.

Las estaciones individuales serán altamente autónomas, alimentadas por un sistema de baterías y paneles solares localizados a un lado de cada una. Un sumario de las características de MIA en su Fase 1 se presenta en la Tabla 1. La Fase 2, por otro lado, contempla la extensión hasta 64 antenas, con el consiguiente aumento de sensibilidad y resolución. Además, en esta fase, se espera poder operar a frecuencias aún más bajas, a partir de los 300 MHz. Para ello se agregarán antenas adecuadas (de formato muy sencillo) cerca de cada estación.

■ DEMOSTRADOR Y DESARROLLO DE SU TECNOLOGÍA

La fase inicial del proyecto, denominada Fase 0, consiste en desarrollar la tecnología del instrumento, e integrar sus diversos subsistemas en un demostrador tecnológico que operará en el IAR. Esta fase contempla el diseño e implementación de varios de los subsistemas básicos del instrumento: 1) las antenas parabólicas; 2) la mecánica de su movimiento y control; 3) el receptor que transforma las ondas electromagnéticas libres en guiadas; 4) el receptor digital y el correlador que utiliza la información proveniente de las unidades y las procesa para obtener los datos de uso científico; 5) las unidades de almacenamiento de la información de cada observación; 6) el paquete de programas que se usa para el control del instrumento y el procesamiento de los datos.

Describiremos brevemente estos componentes a continuación.

1. Las antenas. Se trata de paraboloïdes que reflejan las ondas electromagnéticas que llegan desde el espacio y las concen-

tran en el receptor. Deben estar diseñados para soportar los vientos e inclemencias del tiempo en el lugar donde se ubiquen las antenas. Son estructuras de aluminio, con una superficie reflectante para las ondas de las

longitudes a estudiar. En la Figura 3 se muestran algunas de las simulaciones que se hicieron al diseñarlas para evaluar la respuesta a vientos. En las Figuras 4 y 5, se muestra la construcción del primer prototipo en los talle-

res del IAR y el resultado, colocado junto a los grandes telescopios del IAR. Es la primera vez que una antena de estas características se diseña y construye íntegramente en Argentina.



Figura 4. Construcción de la primera antena (modelo de ingeniería) en los talleres del IAR.



Figura 5. Antena terminada, junto a los dos grandes radiotelescopios del IAR.

2. El sistema de movimiento consiste en dos motores que controlan el movimiento en altura y el movimiento azimutal en forma independiente. Dado el balance de la antena, los esfuerzos que deben realizar los motores y su consumo eléctrico, son mínimos. En la Figura 6 se muestra el diseño de estos.
3. El receptor de cabecera, conocido como *front-end*, va localizado en el foco del paraboloide de la antena. Consiste en una antena Vivaldi desarrollada y testeada en el IAR (ver Figuras 7 y 8), junto a una serie de amplificadores. El diseño de esta parte del instrumento puede verse en la Figura 9, junto con los equipos construidos.

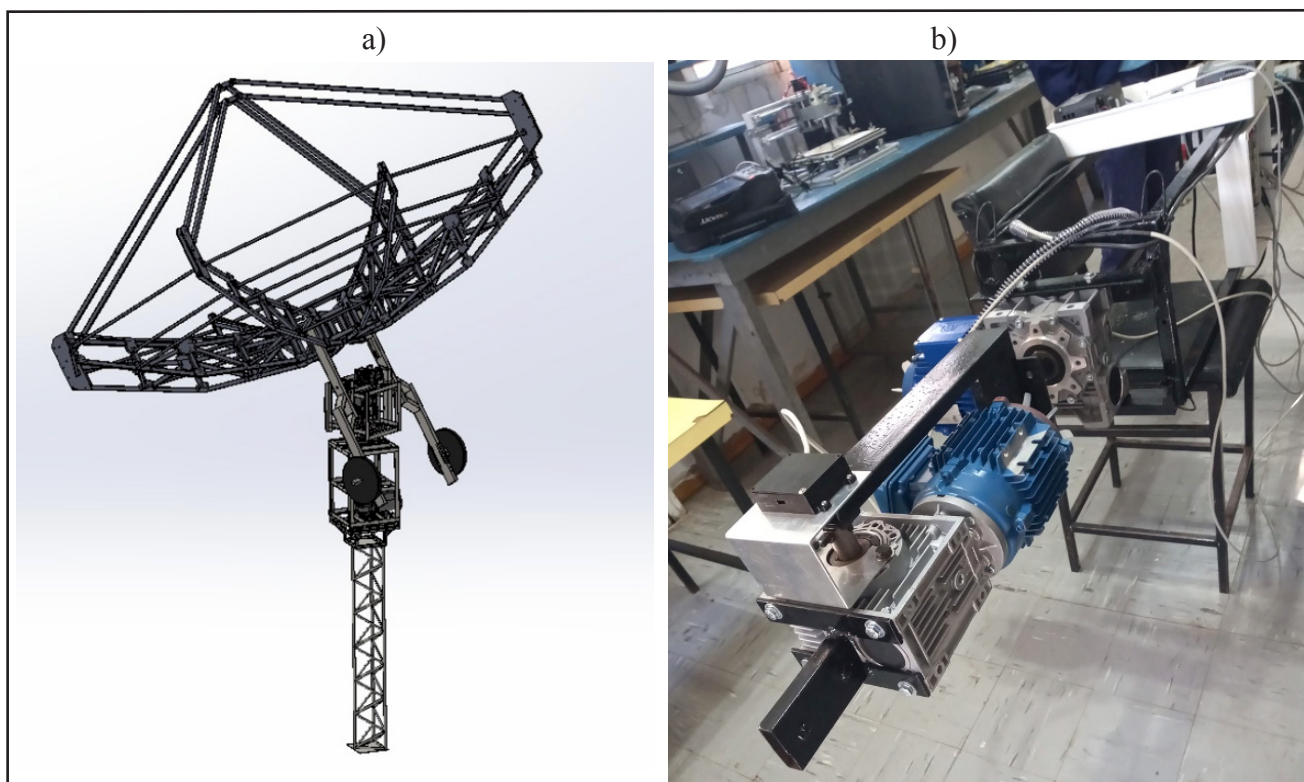


Figura 6. Sistema de movimiento de los radiotelescopios individuales. a) Diseño. b) Implementación.

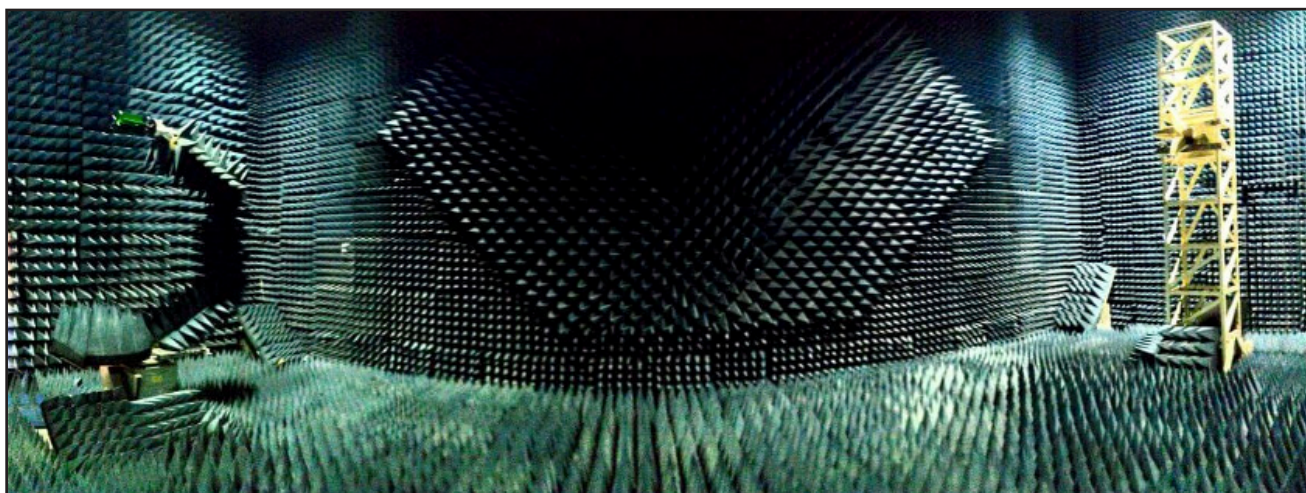


Figura 7. Antena Vivaldi desarrollada en el IAR para alimentar el front-end de los discos parabólicos individuales, durante sus pruebas en la cámara anecoica del instituto.

4. El receptor digital (*back-end*) y el correlador están conformados sobre la base de una placa SNAP CASPER, diseñada especialmente para uso radioastronómico por la *Collaboration for Astro-*

nomical Signal Processing and Electronics Research (CASPER)¹. Este sistema consiste en un *Field Programmable Gate Array* (FPGA) programado para realizar el procesamiento digital de señales en

tiempo real sobre los datos entrantes. La tarjeta puede programarse mediante las herramientas desarrolladas por CASPER, que proporciona un lenguaje de programación de alto nivel para configurar la FPGA. Este lenguaje permite diseñar e implementar algoritmos de procesamiento de señales personalizados para satisfacer los requisitos específicos del sistema de MIA. En la Figura 10 se muestra el receptor digital ya instalado en el IAR.

5. La información se guarda luego en un sistema de almacenamiento modular expandible de discos de estado sólido. Cada sesión de observación puede producir, dependiendo del modo, hasta 1 TB de datos. Ver Figura 11.
6. Finalmente, los programas usados van desde los que programan los modos de funcionamiento del *hardware* hasta los programas de control remoto de las antenas y el software de pro-

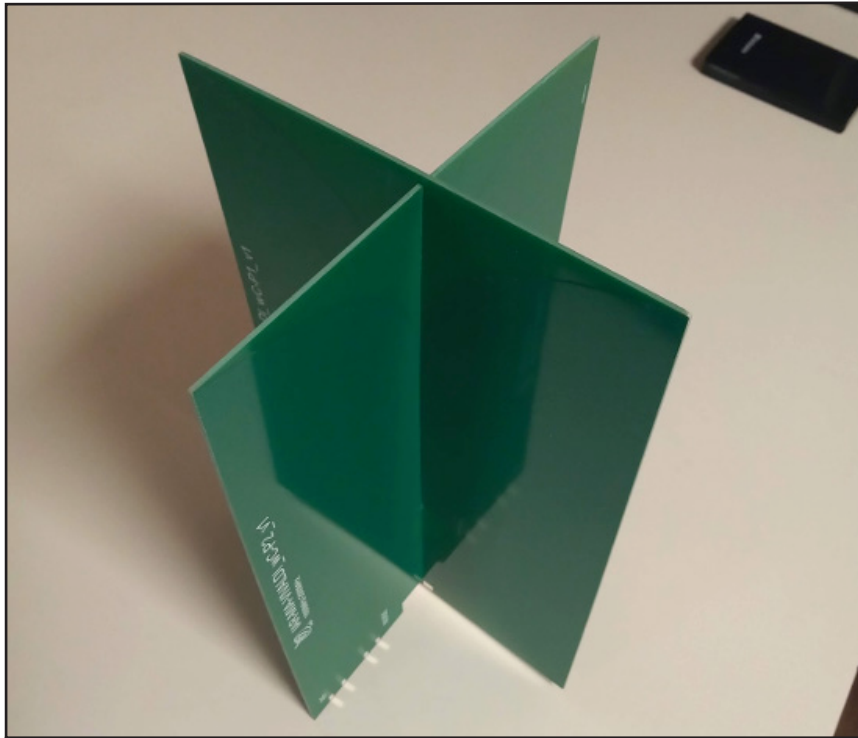


Figura 8. Antena Vivaldi construida en el IAR.

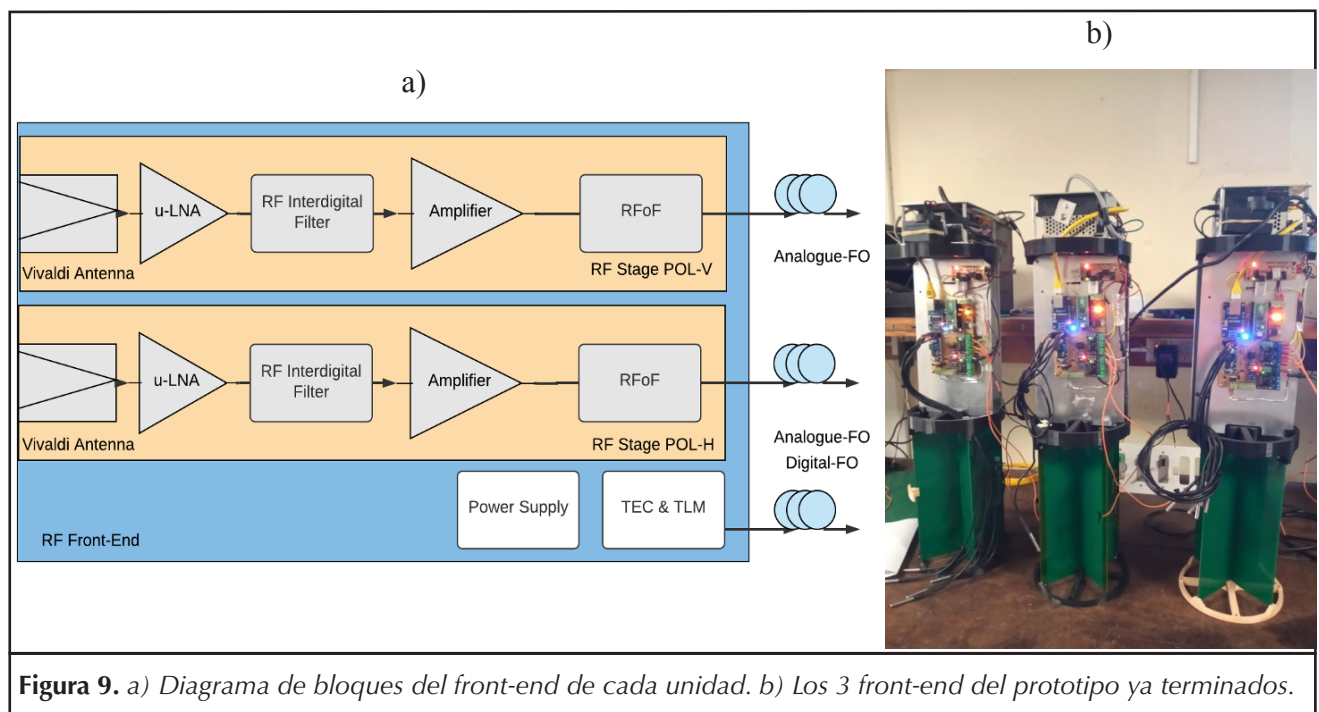


Figura 9. a) Diagrama de bloques del front-end de cada unidad. b) Los 3 front-end del prototipo ya terminados.

cesamiento. Buena parte de este paquete de programas está ya en funcionamiento en el IAR desarrollado por el Departamento de Sistemas del instituto.

En la Figura 12 mostramos el diagrama de bloques del demostrador, y en la Figura 13 las antenas finales ya instaladas en el predio del IAR.

■ EL FUTURO

Buena parte de la tecnología desarrollada por el IAR para construir el demostrador tiene inmediata aplicación en otras áreas. En particular, el instituto y su Sector de Transferencia de Tecnología están aplicando parte de esta tecnología para construir un prototipo de estación terrena de bajo costo para bajada de datos satelitales, tanto producidos por satélites geoestacionarios como de órbita baja. La experiencia adquirida en la detección de ondas de bajas frecuencias, por otro lado, ha permitido formular una nueva iniciativa

que complementa a MIA en el rango de 30 MHz a 300 MHz. Se trata de LARA², el *Lunar Antenna for Radio Astronomy*: una antena desplegable por energía elástica sensible en el rango de frecuencias mencionado, inaccesible desde la Tierra y órbitas bajas debido a la enorme cantidad de radio interferencias de origen humano (radios FM, entre otras). LARA está pensado para operar en órbita lunar, para observar desde el lado oscuro de la Luna, donde el propio satélite natural apantalla todas las interferencias. Este rango de frecuencias es importante por varias razones. Entre otras, porque permite monitorear la emisión sincrotrónica de electrones relativistas acelerados por el Sol en el campo magnético de Júpiter. Esto puede proveer información no sólo sobre Júpiter y su magnetosfera, sino también sobre el clima espacial de todo el sistema solar. En estas frecuencias, además, la línea de hidrógeno neutro primordial, fuertemente desplazada hacia el rojo por la expansión del univer-

so, debería manifestarse permitiendo investigar el proceso conocido como "reionización cósmica".

En lo que a MIA se refiere, hay a continuación dos grandes pasos a tomar, una vez que todas las pruebas se hayan concluido con el prototipo: 1) expandir el modelo de ingeniería en un radiointerferómetro que opere en el IAR incorporando las antenas de 30 m como unidades adicionales, así como otras 16 antenas más pequeñas, y 2) escoger un sitio adecuado en el oeste de la República Argentina donde desarrollar, junto a un socio internacional aún no definido, el instrumento completo con una línea de base mínima de 50 km.

Nunca el futuro de la radioastronomía argentina se ha mostrado tan promisorio ni con tantos planes en desarrollo. Es de esperar que en los próximos años esta disciplina no sólo vuelva a ocupar un lugar de excelencia como el que ocupó a mediados de la década de 1960, sino



Figura 10. Receptor digital y correlador del prototipo de tres antenas instalado en el IAR. El sistema se basa en una placa programable SNAP CASPER.



Figura 11. Unidades de almacenamiento de memoria en la sala del IAR

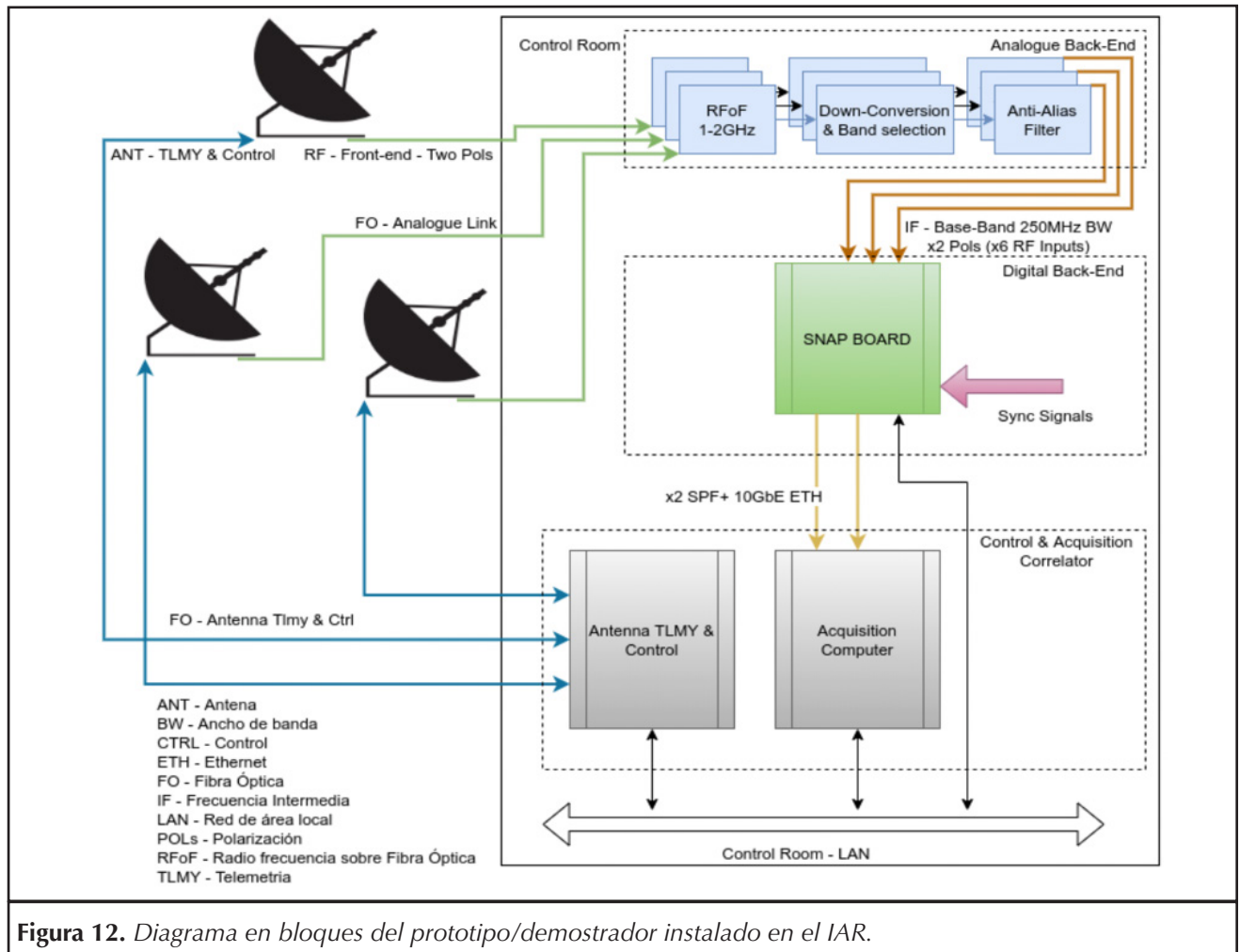


Figura 12. Diagrama en bloques del prototipo/demostrador instalado en el IAR.



Figura 13. Las tres primeras antenas en su posición en el IAR (agosto 2024).

que abra nuevos horizontes para la próxima generación de astrónomos, astrofísicos, y tecnólogos del país.

■ GLOSARIO

Antena: Parte de un radiotelescopio que colecta las ondas electromagnéticas libres.

Back-end: Parte del receptor que digitaliza las señales recibidas desde el *front-end* y las entrega para su correlación y análisis.

Binaria de rayos X: Sistema astrofísico compuesto por una estrella normal y un objeto compacto (estrella de neutrones o agujero negro) que recibe materia desde la estrella.

Byte (B): Unidad mínima de información. TB: un billón de bites.

Correlador: Instrumento que correlaciona las detecciones de varios radiotelescopios haciéndolos funcionar como un único telescopio.

Front-end: Parte del receptor que usualmente se ubica en el foco de la antena y transforma las ondas electromagnéticas libres en guiadas, amplificándolas, y luego enviándolas al *back-end*.

Hertz (Hz): Unidad de medida de la frecuencia de una onda. Es la longitud de un ciclo de la onda dividida la velocidad. MHz: un millón de Hz. GHz: 1000 MHz.

Microcuásar: Binaria de rayos X que produce chorros de plasma relativista que se propagan por el espacio.

Placa: Soporte para unidades de procesamiento de datos.

Púlsar: estrella muy compacta (radio de unos 10 km) con una masa mayor que la del Sol. Su densidad es similar a la densidad nuclear del átomo. Rota rápidamente emitiendo pulsos

electromagnéticos como si fuese un faro en el espacio.

Magnetar: Púlsar joven con un campo magnético gigantesco que puede llegar a los 10^{15} Gauss (unos 10 mil millones de veces mayor que los campos magnéticos generados artificialmente en la Tierra).

Radiotelescopio: instrumento diseñado para recibir ondas electromagnéticas en el rango de radio desde el espacio. Consta de una superficie colectora reflectante, un receptor, que a su vez tiene un cabezal comúnmente en el foco de la antena y una unidad de digitalización que procesa las señales.

Receptor: Parte electrónica de un radiotelescopio que detecta, amplifica, digitaliza y mide las ondas electromagnéticas que llegan a la antena.

AGRADECIMIENTOS: Agradezco profundamente a todo el personal del IAR por su trabajo y profesionalismo en la implementación de éste y otros muchos proyectos. En especial, agradezco a Paula Benaglia, Leandro García, y Guillermo Gancio por sus roles decisivos en la elaboración e implementación de MIA. También agradezco al CONICET por haber financiado parcialmente nuestro trabajo por medio de un PUE y varios aportes especiales, así como a la UNLP y a la CIC (PBA) por su apoyo.

■ REFERENCIAS

Bajaja, E. (2009), Historia del IAR, en: Historia de la Astronomía Argentina, Eds. G. E. Romero, S. A. Cellone & S. A. Cora, La Plata: AAA Book Series Vol. 2, pp. 217-296.

Benaglia, P. (2024), Science Research from the Instituto Argen-

tino de Radioastronomía, RMxAAC 56: 117-123.

Gancio, G., Lousto, C. O., Combi, L., et al. (2020), Upgraded antennas for pulsar observations in the Argentine Institute of Radio Astronomy, A&A 633, id. A84: 12 pp.

Gancio, G., Romero, G. E., Benaglia, P., et al. (2024), The Multipurpose Interferometric Array and the Development of its Technological Demonstrator, RMxAAC 56: 63-70.

Lousto, C. O., Missel, R., Zubieta, E., et al. (2024), Pulsar Observations at Low Latitudes and Low Frequencies, RMxAAC 56: 134-144.

Romero, G. E. (2024), The Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR): Past, present, and future, RMxAAC 56: 2-16.

Sosa Fiscella, V., del Palacio, S., Combi, L., et al. (2021), PSR J0437-4715: The Argentine Institute of Radioastronomy 2019-2020 Observational Campaign, ApJ 908(2), id.158: 14 pp.

Zubieta, E., Missel, R., Sosa Fiscella, V., et al. (2023), First results of the glitching pulsar monitoring programme at the Argentine Institute of Radio Astronomy, MNRAS 521(3): 4504-4521.

Zubieta, E., del Palacio, S., García, F., et al. (2024), Updates on the Glitching Pulsar Monitoring Campaign Performed from IAR, RMxAAC 56: 161-165.

■ NOTAS

1. <https://casper-astro.github.io/>
2. Proyecto colaborativo con la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE).