

RADIOASTRONOMÍA

MOTOR DE DESARROLLO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO



“La astronomía fue el camino a través del cual la civilización global actual primero desarrolló la física Newtoniana, y es a través de la física Newtoniana que esencialmente toda la tecnología del mundo moderno surgió. La astronomía es un camino excepcional –en mi opinión, el mejor por lejos– de introducir a los más jóvenes en la ciencia –no sólo en los resultados de la ciencia, sino más importante aún, en los métodos de la ciencia”.

Carl Sagan, carta al Dr. Antonio Mercader, Ministro de Educación y Cultura de Uruguay, 10 de setiembre de 1993.

Introducción

Esta publicación pretende ilustrar de una forma concisa y a la vez abarcativa, por qué es necesario y posible que países aun con economías emergentes apuesten por el desarrollo de la radioastronomía, en particular a través de proyectos de reconversión de antenas de telecomunicaciones en radiotelescopios.

La radioastronomía es una disciplina que conjuga, como pocas y de forma indisoluble, investigación básica y aplicada. Y es que para posibilitar el desarrollo de la radioastronomía en un país es condición casi *sine qua non* el disponer de un instrumento radioastronómico, es decir de un radiotelescopio. Y ello requiere de personal técnico calificado en áreas diversas de la ingeniería: eléctrica, electrónica, de sistemas, civil, mecánica.

Las inversiones asociadas a la instalación y operación de un radiotelescopio han estado tradicionalmente por fuera de las capacidades de los Estados con economías emergentes, al menos de sus presupuestos típicos destinados a I+D+i (investigación, desarrollo e innovación).

Afortunadamente, en la última década, ha surgido una oportunidad para estos países de incursionar en el mundo de la radioastronomía a través de inversiones accesibles. Se trata de la reconversión de grandes antenas de telecomunicaciones en desuso total o parcial, en radiotelescopios.

Estas antenas, desplegadas a lo ancho y largo del mundo fundamentalmente en la primera mitad de la década del '80, se han vuelto obsoletas en los últimos años como consecuencia del advenimiento de la fibra óptica. Su reconversión en instrumentos científicos constituye una oportunidad única para Estados emergentes de desarrollar una disciplina que como se ejemplifica aquí, tiene un impacto a corto, mediano y largo plazo en su desarrollo científico, tecnológico e industrial.

¿Qué es la radioastronomía?

Los astrónomos utilizan la **radioastronomía** para observar ondas de radio que se originan en estrellas, planetas, galaxias, nubes de polvo y de gas molecular. La mayoría de las personas están familiarizadas con la **astronomía visible**, es decir la que observa el Universo en la parte visible del espectro electromagnético (luz visible), que es lo que ven nuestros ojos.

Pero existe además un Universo oculto a nuestros ojos, que se nos revela al utilizar instrumentos capaces de detectar ondas electromagnéticas en otras partes del espectro, por ejemplo en la parte correspondiente a las **ondas de radio**.

Las ondas electromagnéticas tienen asociado un parámetro que se denomina longitud de onda, íntimamente ligado a su **frecuencia**. Las ondas de radio tienen frecuencias de entre **3 kHz y 900 GHz**, es decir que incluyen las frecuencias utilizadas en radiodifusión (radio y TV), telecomunicaciones móviles (desde GSM a LTE y aun 5G), Wi-Fi, entre muchas otras aplicaciones que utilizamos diariamente.

Los instrumentos que utilizan los astrónomos para observar las ondas de radio que se originan naturalmente en el Universo, se denominan **radiotelescopios** y no son sino antenas capaces de detectar estas ondas.

¿Qué nos ha aportado la radioastronomía?

La radioastronomía consiste en recibir señales muy débiles en ambientes ruidosos, lo cual significa un permanente desafío tecnológico. Eso hace que esta disciplina esté permanentemente empujando la ingeniería a niveles superiores a través de soluciones innovadoras a problemas complejos. A continuación se presentan algunos de los ejemplos más notorios de desarrollos tecnológicos surgidos de proyectos astronómicos vinculados a la radioastronomía. [1]



Medicina

Los aportes de la radioastronomía a la medicina han redundado en mejoras de las técnicas diagnósticas, particularmente las realizadas a partir del procesamiento de imágenes.

Una de las transferencias tecnológicas más claras de la radioastronomía a la medicina es la interferometría, utilizada por los radioastrónomos para obtener imágenes de alta resolución del cielo en radiofrecuencias.

La interferometría es una técnica que implica simular el efecto de una antena muy grande a través de la combinación de las señales eléctricas de muchas antenas pequeñas, distribuidas a distancias grandes unas de otras.

La técnica de combinar datos de múltiples telescopios para producir una sola imagen se conoce como “apertura sintética”, y fue desarrollada por el radioastrónomo y Premio Nobel Martin Ryle. Una aplicación importante de apertura sintética es la Resonancia Magnética, que permite ver los detalles de una imagen y reducir los tiempos de escaneo en diagnósticos médicos. La Imagenología por Resonancia Magnética (RMI, por su sigla en inglés) requiere de receptores de radiofrecuencias que registran y procesan ondas de radio, en una imagen similar a una imagen interferométrica [1].

TIC

El procesamiento de datos astronómicos ha sido el motor del desarrollo de métodos computacionales más eficientes, incluyendo computación grid y distribuida.

En las últimas décadas, la cantidad de datos que generan los distintos instrumentos radioastronómicos ha crecido dramáticamente. Los radiotelescopios nuevos contribuyen permanentemente al desarrollo de herramientas y métodos de análisis de datos novedosos e innovadores. Son necesarios vastos

recursos computacionales para procesar esta información. La computación grid, que implica que las computadoras están distribuidas y conectadas entre sí en una red común, es un método eficiente de compartir y usar una vasta cantidad de recursos distribuidos[1].

Los últimos proyectos de gran envergadura en radioastronomía como ALMA (y en un futuro cercano, SKA) están recolectando información a ritmos exponenciales, generando lo que se conoce como “**big data**” (grandes volúmenes de datos), que está cambiando la forma de hacer ciencia. El ejemplo más paradigmático es el megaproyecto SKA actualmente en ejecución, que en su Fase 1 generará datos a una tasa de unos 3 Tb/s. Por ello, requerirá de supercomputadoras mucho más rápidas que cualquiera de las existentes, así como de una tecnología de red que permita un tráfico mayor que todo el que actualmente circula por Internet [2].

Por su envergadura tanto en términos económicos (presupuesto estimado en unos 1.500 millones de Euros para la Fase 1) y cantidad de países involucrados (Australia, Canadá, China, Francia, Alemania, India, Italia, Países Bajos, Nueva Zelanda, Portugal, Sudáfrica, España, Suecia, Suiza, y el Reino Unido), así como por el impacto científico que tendrá, es considerado uno de los mayores proyectos científicos de la Historia.

El *Square Kilometer Array (SKA)*, es un proyecto científico y tecnológico a escala global para construir el radiotelescopio más grande del mundo, en desiertos de Australia y Sudáfrica. Supone un gran salto tanto en investigación como en ingeniería e I+D, con objeto de construir un instrumento único cuyo diseño detallado se encuentra en marcha.

SKA contará con un kilómetro cuadrado (un millón de metros cuadrados) de área colectora, formada por miles de antenas parabólicas y hasta un millón de antenas más pequeñas que



permitirán a los astrónomos realizar observaciones con un detalle sin precedentes, además de explorar todo el cielo más rápidamente que cualquier otro sistema existente en la actualidad.

Se trata de uno de los mayores retos científicos y tecnológicos de la historia, y como tal reunirá a una gran cantidad de los mejores científicos, ingenieros y gestores del mundo, con el fin de asegurar el éxito del proyecto.

El SKA liderará una nueva era de descubrimientos científicos desde tierra, de manera complementaria al resto de grandes telescopios ópticos e infrarrojos que se están construyendo y que serán lanzados al espacio en las próximas décadas.

Aunque el pilar fundamental del SKA está formado por 13 países miembros, alrededor de 100 organizaciones de 20 países están participando en el diseño y desarrollo del radiotelescopio más grande del mundo [2].

Wi-Fi

De las muchas herramientas, dispositivos y métodos desarrollados a través de la radioastronomía, quizá el más popular sea el estándar 802.11, popularmente conocido como Wi-Fi.

Utilizando técnicas desarrolladas para el análisis de emisión de radio de agujeros negros, un equipo de científicos de la Organización de Investigación Industrial y Científica del Commonwealth (CSIRO, por su sigla en inglés) en Australia, desarrolló una técnica novedosa para transferir información de forma inalámbrica en ambientes ruidosos. Desarrollaron un microchip que permitía recibir adecuadamente las ondas de radio en entornos complejos, en los que la reflexión de muchas superficies interfiere la transferencia de información.

La patente de esta invención allanó el camino para que compañías de todo el mundo comenzaran a utilizar Wi-Fi para intercambiar información entre redes y dispositivos.

Telecomunicaciones

La era de las comunicaciones satelitales se originó en primer lugar para servicios de telefonía pero se extendió rápidamente a la TV, radio y tráfico de datos. En buena medida, esta era nació del desarrollo y construcción de grandes antenas parabólicas reflectoras que los radioastrónomos utilizaron para detectar ondas de radio de objetos celestes. Estas débiles señales requieren de reflectores del orden de entre 25 y 70 metros de diámetro que fueron desarrollados en estrecha relación entre profesionales en radioastronomía e industria. Varias compañías en el mundo utilizaron las capacidades adquiridas en el desarrollo de estos proyectos con el objetivo de ingresar en el campo de las estaciones terrenas para comunicaciones satelitales.

Una posibilidad al alcance de nuestras economías

Con el advenimiento de la fibra óptica de gran capacidad, el tráfico a través de las grandes antenas en estaciones terrenas fue mermando progresivamente a partir de fines de los '90. Paralelamente, y fruto del desarrollo tecnológico sobre todo de receptores, fue posible utilizar antenas más pequeñas para obtener las mismas prestaciones, con la consecuente reducción de costos de instalación y mantenimiento. Ambos fenómenos ocasionaron que buena parte de las antenas de gran porte (típicamente de entre 25 y 35 m de diámetro), en la primera década del 2000, estuvieran prácticamente obsoletas.

Hoy, la situación a nivel global de estas antenas es que aproximadamente un tercio han sido desmanteladas o están totalmente en desuso, un tercio continúan operando sobre todo para servicios de TV satelital y el tercio restante han sido reconvertidas en radiotelescopios.



Ejemplos de esto último son la reconversión de las estaciones Ceduna en Australia (con una antena de 30 m, reconvertida en los '90), Yamaguchi en Japón (32 m, reconvertida en 2001), Goonhilly en Reino Unido (26 m, reconvertida en 2011), entre otras. Ejemplos más recientes son el de la Estación Terrena de Warkworth en Nueva Zelanda (con su antena reconvertida oficialmente en 2014), el de la Estación de Sicaya en Perú (cuyo proceso de reconversión finalizó en 2011) y Nkutunse en Ghana (reconvertida en 2017).

Por su complejidad, tanto el diseño y la construcción, como también la operación y el mantenimiento de un radiotelescopio requieren de la existencia de una masa crítica de personas de diversas áreas de la ciencia y la tecnología: ingeniería en radiofrecuencias, antenas, control, electrónica y eléctrica de potencia, tecnología de la información y por supuesto una comunidad científica que utilice el instrumento con fines astronómicos, y eventualmente no astronómicos (por ejemplo para geodesia, ciencia que estudia la forma y magnitud de la Tierra). Por otro lado, esta masa crítica necesaria para la operación y mantenimiento de un radiotelescopio difícilmente pueda desarrollarse sin la existencia de un radiotelescopio.

El Centro Astronómico de Yebes, en Guadalajara (España), es hoy el observatorio radioastronómico más importante de España. En 1976, la radioastronomía era prácticamente inexistente en el país ibérico y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) se proponía instalar un radiotelescopio provisto por una compañía norteamericana, para realizar estudios geodésicos. Una vez instalado el instrumento, comenzó en torno suyo un proceso de generación de una comunidad compuesta por profesionales de las ciencias e ingeniería, necesaria para la operación y mantenimiento del instrumento. Menos de quince años después, en

1990, el IGN pasó a ser miembro de pleno derecho del Instituto hispano-franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM), demostrando una madurez en el desarrollo de la radioastronomía en el país ibérico [3].

Hasta hace pocos años las inversiones asociadas a un radiotelescopio excedían las posibilidades de los recursos disponibles para I+D+i de los Estados con economías emergentes. La reconversión en radiotelescopios de grandes antenas de telecomunicaciones en desuso, es una oportunidad de desarrollar la radioastronomía en estos países, mediante una inversión moderada, con todas las ventajas que ello significa para el desenvolvimiento de capacidades locales en áreas diversas de la ciencia y la ingeniería, y de una industria local de vanguardia.

VLBI: una oportunidad posible

En 2019 la primera imagen de un agujero negro recorrió el mundo y se volvió tendencia en redes sociales y medios de comunicación. Muchas personas pudieron entonces saber que existía una técnica llamada VLBI (interferometría de muy larga base), consistente en observar un mismo objeto con radiotelescopios en distintas partes del mundo (es decir, separados varios cientos o miles de km), y construir así una imagen de alta resolución imposible de lograr con un solo radiotelescopio.

Esta técnica requiere, además de los radiotelescopios, infraestructura adicional de costo moderado, particularmente relojes atómicos en cada una de las estaciones que conforman la red, llamados máseres de hidrógeno. Y por supuesto, capacidades locales con sólida formación en la operación de una estación de estas características. Ello lleva tiempo, aunque al final –o comienzo– de ese camino, el disponer de una estación VLBI abre las puertas a comunidades globales e investigaciones de frontera, con todos los desafíos y oportunidades que eso significa.



Co-localización: ecosistema de industria e investigación

La co-localización de un radio observatorio con una estación terrena que provea servicios satelitales es una opción atractiva que permite financiar total o parcialmente los costos de operación y mantenimiento de un radio observatorio.

Es un esquema que está siendo implementado en los países africanos que participan de la Red Africana de VLBI. Los servicios satelitales que se ofrecerán estarán fuertemente vinculados a las necesidades del sector productivo de estos países, en particular la agricultura, minería, forestación y pesca.

También la Estación Terrena de Goonhilly en Reino Unido –icónica en la historia de las telecomunicaciones– constituye un ejemplo paradigmático de co-localización de un radio observatorio y una estación terrena, aunque con un esquema distinto al africano y una fuerte participación del sector privado. Goonhilly es hoy un verdadero complejo espacial con una proyección enmarcada dentro de los objetivos de la política nacional británica de promoción del sector espacial, enfocada en una de las regiones con indicadores socioeconómicos más bajos de la isla, como es Cornualles.

El rol de los Estados en estas iniciativas es crucial, a través de sus Agencias Espaciales que son o bien propietarios y operadores de las estaciones terrenas (caso africano), o bien los que fijan la política global dentro de la que se enmarca su actividad.

Las ventajas que estas iniciativas de co-localización ofrecen son numerosas, pero podemos destacar la centralización de la generación, manejo y distribución de datos satelitales utilizados por las administraciones, lo cual evita la duplicación de conjuntos de datos y los sobrecostos que esto conlleva, así como la soberanía que brinda disponer de infraestructura propia.

Asimismo, brinda la posibilidad de generar un ecosistema que facilite la generación de *startups* tecnológicas vinculadas al sector espacial, con la consiguiente generación de empleos altamente calificados.

IVIA: una iniciativa de Cooperación Sur-Sur

En 2019 surgió la INICIATIVA VLBI IBEROAMERICANA (IVIA), una instancia de trabajo conjunto orientado al desarrollo de la radioastronomía en Iberoamérica, tomando como eje conceptual el desarrollo de la radio astronomía en la región y la implementación de una red VLBI en Latinoamérica, en colaboración con España y Portugal.

En su conformación actual hay representantes de instituciones de Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México, Perú y Uruguay. Asimismo, se propone promover la participación de los demás países de la región. Participan también el Instituto Conjunto para VLBI (JIVE, con sede en Países Bajos, organización que centraliza el procesamiento de datos de la red europea de VLBI, llamada EVN), el Instituto Geofísico Nacional de España y el Instituto de Telecomunicações de Portugal.

La iniciativa implica un trabajo colaborativo en la conversión de antenas de telecomunicación en radiotelescopios y su adecuación para VLBI, y el desarrollo de todas las tecnologías relacionadas. Con la unión de los recursos de las instituciones participantes, se pretende alcanzar una masa crítica para aprovechar al máximo los recursos e infraestructura existente en cada país.

De esta forma, el objetivo final es crear un proyecto de colaboración internacional que tenga un gran impacto en el desarrollo integral de la región.

La iniciativa contribuye fuertemente a disminuir la brecha existente entre el número de observatorios radioastronómicos del Hemisferio Sur, y los existentes en el Hemisferio Norte, lo cual también desde el punto de vista científico reviste gran importancia.



Instituciones participantes de IVIA:

- Instituto de Radioastronomía y Astrofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Centro de Investigaciones Espaciales, Universidad de Costa Rica.
 - Observatorio Astronómico de Córdoba, Argentina.
 - Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Universidad Nacional del Centro del Perú.
 - Universidad ECCI, Bogotá, Colombia.
 - Oficina Regional Andina de Astronomía para el Desarrollo, Bogotá, Colombia.
 - Universidad de Sao Paulo, Brasil.
 - Ministerio de Industria, Energía y Minería, Uruguay.
 - Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.
 - Observatorio Astronómico de Quito de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
 - Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento, España.
 - Instituto de Telecomunicações, Aveiro, Portugal.
 - Joint Institute for VLBI ERIC (sede en Países Bajos).
-



Referencias

[1] IAU (2019). *From medicine to Wi-Fi – Technical applications of astronomy to society*. [Online] Disponible en: <https://www.iau.org/static/archives/announcement/s/pdf/ann19022a.pdf>

[2] SKA (2020). *El Proyecto SKA* [Online] Disponible en: <https://spain.skatelescope.org/ska-project/>

[3] Gómez González, J. (2012). *Apuntes sobre 20 años de actuaciones en el Real Observatorio de Madrid*. Anuario del Observatorio Astronómico de Madrid, ISSN 0373-5125, N° 1, 2012, págs. 417-458.

