

ARTÍCULO

## RADIOASTRONOMÍA EN LA ERA DE ALMA

Luis Felipe Rodríguez Jorge

Centro de Radioastronomía y Astrofísica-UNAM



## Radioastronomía en la Era de ALMA

**Resumen:** La radioastronomía estudia al Universo mediante las ondas de radio que distintos cuerpos celestes emiten de manera natural. Con las técnicas de interferometría, se pueden alcanzar calidad y detalle en las imágenes que igualan e inclusive rebasan las obtenidas en otras bandas del espectro electromagnético. En este artículo repasamos brevemente los inicios de la interferometría de radio y describimos las características de ALMA, el gran conjunto de radiotelescopios para las ondas milimétricas y sub-milimétricas que se construye en el desierto de Atacama, Chile y que se espera revolucionará nuestro entendimiento de los orígenes de planetas, estrellas, y galaxias.

**Palabras clave:** Radioastronomía, interferometría, formación de planetas, estrellas y galaxias.

## Radio Astronomy in the ALMA Era

**Abstract:** Radio astronomy studies the Universe using the radio waves that different celestial bodies emit in physical processes. With the techniques of interferometry, the quality and detail of the images obtained matches and sometimes surpasses those obtained in other windows of the electromagnetic spectrum. In this article, we briefly review the beginnings of radio interferometry and describe the characteristics of ALMA, the Atacama Large Millimeter/Sub-millimeter Array, the instrument that is expected to revolutionize our understanding of the origin of planets, stars, and galaxies.

**Key words:** Radio astronomy, interferometry, formation of planets, stars and galaxies.

### Introducción

La radioastronomía estudia al Universo pero ya no usando la luz, como lo hace la astronomía clásica, sino las ondas de radio que de manera natural emiten distintos cuerpos celestes. A partir de la observación de estas ondas de radio es posible hacer imágenes de los cuerpos que la emiten, así como determinar sus parámetros físicos tales como su composición química, su temperatura y su densidad, entre otros.

Mucho de lo que sabemos del Universo lo hemos aprendido estudiando la luz que emana de los objetos que hay en él, principalmente las estrellas y las galaxias (que son conglomerados de miles de millones de estrellas). La luz, como las olas del mar, es una onda. Su color depende de la distancia entre las crestas, la llamada longitud de onda. La luz roja, por ejemplo, la de longitud de onda más grande, tiene una longitud onda de 0.7 micra (una micra es la milésima parte de un milímetro). La violeta, la de longitud de onda más pequeña, de unas 0.4 micras. Entre estos dos colores están los restantes del arco iris. Pero ésta es sólo la luz visible. Si aumentamos la longitud de onda, más allá del color rojo encontramos la radiación infrarroja y

después las ondas de radio, invisibles a nuestros ojos, pero que pueden captarse y estudiarse con la instrumentación apropiada. Los astrónomos de la actualidad miran al Universo en todo el espectro electromagnético y ya no sólo en el visible.

El instrumento mediante el cual los astrónomos captan las ondas de radio es el radiotelescopio, que típicamente es una gran superficie metálica de forma parabólica que refleja estas ondas y las concentra en el foco de dicha superficie o plato, como a veces se le llama. Los detalles más pequeños que se pueden distinguir en las fuentes celestes, lo que técnicamente se conoce como la resolución angular, es proporcional a la longitud de la onda observada e inversamente proporcional al diámetro del telescopio. Entonces, al construir un telescopio más grande ganamos tanto porque se capta más energía como porque la resolución angular mejora.

Sin embargo, conforme se construían mayores telescopios y radiotelescopios pronto quedó claro que no era técnicamente posible construirlos más allá de un cierto tamaño. La gravedad los distorsionaría más allá de lo admisible. En el caso de la radioastronomía, el límite se encuentra por los 100 metros de diámetro y existen radiotelescopios de un solo plato en Alemania y en los Estados Unidos de este diámetro (ver Figura 1). El radiotelescopio de Arecibo, en Puerto Rico, alcanza los 300 metros de diámetro, pero no tiene capacidad de movimiento y solo puede estudiar a los cuerpos que pasan cerca de su cenit (el punto más alto del cielo). El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica está a cargo de la construcción de un radiotelescopio de 50 metros de diámetro ubicado en Cerro La Negra, Puebla, el cual se espera funcionará en las longitudes de onda milimétricas.



Figura 1. El radiotelescopio de Green Bank, en el estado de Virginia Occidental, EUA, tiene un diámetro de 100 metros. Este es el tamaño más grande que se ha logrado alcanzar para radiotelescopios de un solo plato que tengan la capacidad de moverse y apuntar cualquier región del cielo.

## La interferometría de radio

La solución a este problema de construir radiotelescopios más grandes la dio una técnica llamada de interferometría. Es posible demostrar que si en lugar de un gran plato metálico, distribuimos sobre la superficie de la Tierra un gran número de pequeños platos, podemos tener algunas de las características que tendría un solo plato con un diámetro igual al de la máxima separación entre las antenas pequeñas. En particular, podemos igualar la resolución angular de un plato que tuviera ese gran tamaño. El término de interferometría viene de que las señales de cada uno de los pequeños radiotelescopios se hace “interferir” con la de todos los otros y es el resultado de estas interferencias (o correlaciones, como se les podría llamar más apropiadamente) el que nos permite, mediante el uso intensivo del cómputo, reproducir la capacidad que tendría una gran antena sola.

El primer radioastrónomo en llevar a la realidad este concepto fue el británico Sir Martin Ryle, quien comenzó a trabajar en esta idea después de la Segunda Guerra Mundial y que construyó cerca de la Universidad de Cambridge, en Inglaterra, el primer interferómetro de radio de gran capacidad. Por esta contribución compartió el Premio Nóbel de Física de 1974.

## El desarrollo de la interferometría de radio

Las primeras décadas de la interferometría de radio estuvieron dominadas por los ingleses y los holandeses. Sin embargo, en 1980 los EUA inauguraron un interferómetro de radio conocido como el VLA (por sus siglas en inglés, Very Large Array o Conjunto Muy Grande) que se convirtió en el instrumento más poderoso de su género (ver Figura 2). Originalmente, este radiotelescopio estaba capacitado para detectar ondas de radio con longitudes de onda que iban de los 20 centímetros hasta 1.3 centímetros. En estas bandas están incluidos importantes procesos de emisión en el continuo (o sea, de banda ancha) como la radiación sincrotrónica que producen los electrones moviéndose a velocidades relativistas en un campo magnético, así como emisiones de líneas que ocurren a longitudes de onda específicas, como la famosa línea de 21-cm del hidrógeno neutro y las líneas del vapor de agua y el amoníaco en la región de 1.3 cm. El VLA contaba con la capacidad de distribuir sus 27 antenas en cuatro distintas configuraciones que permiten un efecto tipo “zoom”, mediante el cual es posible estudiar estructuras relativamente extendidas (poniendo los radiotelescopios cerca entre sí) o bien los finos detalles de alguna fuente de interés especial (separando los radiotelescopios lo más posible).



Figura 2. El interferómetro de radio VLA, en las planicies de San Agustín, New Mexico, EUA. Está constituido por 27 platos, cada uno de 25 metros de diámetro que pueden separarse hasta por 35 kilómetros. En esta imagen solo se ven algunos de los platos.

Sin embargo, la calidad de las superficies de los platos del VLA no permitían estudiar ondas de radio de longitud pequeña, las llamadas ondas milimétricas y sub-milimétricas. Con la colaboración de México (gracias a un proyecto aprobado por CONACyT), EUA, y Canadá fue posible extender el funcionamiento del VLA hasta 0.7 cm, así como cambiarle todos los receptores y la electrónica para lograr una mayor sensibilidad. A este proyecto, que está próximo a concluirse, se le bautizó como el EVLA (Expanded Very Large Array o Conjunto Muy Grande Expandido). El EVLA promete realizar nuevos descubrimientos en las bandas centimétricas y los radioastrónomos mexicanos se encuentran involucrados en varios de los proyectos mayores que el instrumento comienza a llevar a cabo y de hecho publicaron uno de los primeros artículos científicos realizado con el EVLA (Loinard & Rodríguez 2010). De cualquier manera, el EVLA no puede cubrir las importantes bandas milimétricas y sub-milimétricas tanto porque sus antenas no tiene la calidad de superficie necesaria como porque el sitio no es lo suficientemente seco y elevado, y para esto era necesario desarrollar un proyecto diferente.

### **La interferometría en el milimétrico**

Las observaciones de ondas milimétricas y sub-milimétricas son más difíciles que las que se realizan de las ondas más largas. En primer lugar, mientras uno puede observar a 21 cm en medio de la lluvia (lo cual hizo muy atractivo el estudio en estas bandas para países como Inglaterra y Holanda, de clima no apropiado para la astronomía óptica), conforme nos movemos

a las longitudes de onda cortas es necesario contar con sitios muy secos y muy elevados. El vapor de agua atmosférico absorbe las ondas milimétricas y mientras más seco y alto sea el sitio habrá menos vapor de agua sobre nuestras cabezas.

Además, las ondas milimétricas tienen, por supuesto, longitud de onda pequeña, lo cual implica que los radiotelescopios que se usan para captarlas y enfocarlas tienen que ser de muy alta calidad, aproximándose a los precisos espejos que se usan en la astronomía óptica. Finalmente, los receptores y toda la electrónica que se usa para amplificar y procesar estas señales también tienen que ser de altísima calidad. Todo esto ha hecho que, históricamente, se halla desarrollado primero la radioastronomía de las ondas centimétricas y posteriormente la de ondas milimétricas y sub-milimétricas. Los interferómetros para estas ondas muy cortas existentes hasta hace poco eran relativamente modestos, desarrollados por universidades que querían explorar esta región del espectro electromagnético y sus posibilidades. Hacía falta un gran proyecto nacional o multinacional que permitiera una gran inversión y la construcción de un interferómetro muchísimo más potente que lo hasta entonces disponible.

## **El proyecto ALMA**

Para fines del pasado milenio varios países se habían convencido de que la radioastronomía en las ondas milimétricas y sub-milimétricas era la nueva frontera que querían explorar. La gran promesa de estas bandas es que nos permitirán estudiar el origen de las cosas, puesto que durante su formación los planetas, las estrellas y las galaxias emiten precisamente en estas bandas. La formación de estos cuerpos astronómicos ocurre cuando gigantescas nubes de gas y polvo cósmico se contraen por la gravedad. En estas etapas la luz visible queda atrapada dentro de estas nubes pero se produce radiación milimétrica y sub-milimétrica copiosamente.

En 1999 un consorcio formado por Europa, Norteamérica, Asia Oriental y Chile decidió construir el radiotelescopio ALMA (por sus siglas en inglés Atacama Large Millimeter/Sub-millimeter Array o Gran Conjunto Milimétrico/Sub-milimétrico de Atacama). México podrá competir por tiempo en este instrumento gracias a nuestra participación en el proyecto EVLA, anteriormente mencionado.

Todo es extraordinario en ALMA. El costo total de proyecto se estima en 1,400 millones de dólares, sin precedentes en la radioastronomía, donde aún los mayores proyectos anteriores tenían un costo de aproximadamente una décima parte. El sitio, a 5,000 metros de altura en el altiplano de Chajnantor, en el desierto de Atacama, en la parte norte de Chile es de extraordinaria altitud y sequedad. Pero su utilización ocurrirá a un precio. Ahí el aire está tan enrarecido que los trabajadores se tienen que auxiliar con oxígeno complementario. De hecho, los radioastrónomos no subirán hasta el sitio donde se encuentran las antenas (ver Figura 3),

sino que tendrán que conformarse con operarlas remotamente desde sitios menos hostiles. Solo un equipo selecto de ingenieros y técnicos subirá de manera cotidiana hasta el altiplano de Chajnantor para darle mantenimiento al equipo.



Figura 3. Las primeras antenas de ALMA se encuentran ya colocadas en el seco e inhóspito desierto de Atacama, al norte de Chile.

El interferómetro estará constituido por 54 antenas de doce metros de diámetro, más 12 antenas de siete metros de diámetro. Las antenas podrán distribuirse hasta sobre un diámetro de 18.5 kilómetros. A diferencia de otros interferómetros, ALMA se reconfigurará de manera continua. O sea, cada cierto número de días se moverá una de las antenas a una posición diferente. Desde el cielo, ALMA se verá como una mancha de antenas que se extiende y contrae cíclicamente. En su configuración más extendida, ALMA alcanzará una resolución angular de 5 mili-segundos de arco, diez veces mejor a la alcanzada por el telescopio espacial Hubble.

Al final del proyecto cada antena estará equipada de diez receptores diferentes, que cubrirán las longitudes de onda desde 10 hasta 0.3 milímetros. Esta cobertura tan amplia en longitud de onda permitirá estudiar una gran diversidad de procesos de emisión molecular y de polvo cósmico.

## Las grandes metas científicas del proyecto ALMA

Por su gran versatilidad, ALMA podrá emprender una gran diversidad de proyectos científicos. Pero, para centrar ideas, se ha acordado hablar de tres grandes metas científicas:

-La habilidad de detectar emisión molecular del monóxido de carbono o el carbono una vez ionizado de galaxias normales como nuestra Vía Láctea, pero que se encuentran a un corrimiento al rojo de  $z = 3$  (esto es, cuando el Universo tenía una edad de solo 16% de la actual), en una observación de menos de 24 horas de duración.

-La habilidad de producir imágenes de la cinemática del gas en protoestrellas (estrellas aún en formación) y discos protoplanetarios (las estructuras alrededor de las protoestrellas, de las cuales se formarán posteriormente planetas) alrededor de estrellas jóvenes que con el paso del tiempo serán como el Sol y que están ubicadas en las nubes moleculares más cercanas, a unos 500 años-luz.

-La habilidad de proporcionar imágenes de alta calidad con una resolución angular de 0.1 segundos de arco.

Sin embargo, lo que la experiencia demuestra es que un gran instrumento de esta naturaleza alcanzará sus mayores logros en áreas inesperadas, que ni siquiera estaban bien definidas en el momento de su construcción. La serendipia (el descubrimiento o hallazgo importante, afortunado e inesperado) seguramente jugará un papel en ALMA como lo ha hecho en otros grandes instrumentos científicos de la historia.

## El manejo de datos en la era de ALMA

Un reto adicional que presenta el proyecto ALMA para sus usuarios es el del manejo de datos. Hasta recientemente el tamaño típico de una base de datos producida por un interferómetro como el VLA era de 100 MB a 1 GB. Esto podía transmitirse fácilmente a través de Internet y analizarse e interpretarse en una computadora de modesta capacidad.

Sin embargo, con interferómetros como el EVLA y ALMA las bases de datos que se esperan irán de los 100 GB a los 100 TB. Esta nueva situación plantea un reto en dos aspectos:

1. ¿Cómo hacer llegar estas grandes bases de datos al usuario?, y
2. ¿Cómo analizarlas e interpretarlas de manera rápida y eficiente?

Con respecto a la primera pregunta se plantean dos posibilidades: un aumento importante en el ancho de banda entre los observatorios que producen los datos y las instituciones que los analizan, o bien el envío por mensajería de discos de nueva tecnología que permiten el grabado

de grandes volúmenes de datos. Esta segunda opción seguramente funcionará en los países del Primer Mundo, pero en México podría ocasionar problemas aduanales, así que esperamos contar con el gran ancho de banda requerido.

Con respecto a la segunda pregunta, las instituciones necesitarán contar con nuevas y mucho más poderosas computadoras, con costos de 10 a 100 veces mayores que los de las máquinas que tenemos disponibles en la actualidad. No todas las instituciones podrán hacer frente a esta inversión y en nuestro Centro estamos promoviendo, con apoyo de CONACyT, la posibilidad de tener un nodo de reducción de datos interferométricos de radio que de servicio a la propia comunidad de nuestro Centro, así como a los colegas del país y de Latinoamérica.

El pasado 31 de marzo de 2011 ALMA lanzó la primera convocatoria para hacer ciencia temprana con el telescopio aún sin estar completamente terminado (lo cual ocurrirá hasta 2012). Los radioastrónomos de todo el mundo, incluyendo a México, estamos trabajando en las propuestas que competirán por las primeras preciosas horas de tiempo de observación de este extraordinario radiotelescopio.

## Referencias

Laurent Loinard & Luis F. Rodríguez, “Expanded Very Large Array Observations of the H66 $\alpha$  and He66 $\alpha$  Recombination Lines Toward MWC 349A”, *The Astrophysical Journal Letters*, 722, L100-L103 (2010).

Thomas L. Wilson, Kristen Rohlfs y Susanne Hüttemeister, *Tools of Radio Astronomy*, (Astronomy and Astrophysics Library) , 2010, Springer.

A. Richard Thompson, James M. Moran y George W. Swenson Jr, *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 2001, Wiley.

La Página oficial de ALMA, con información en español: <http://www.almaobservatory.org/es>

