

RADIOTELESCOPIOS



RESUMEN

En esta unidad se introduce a los alumnos al estudio de los radiotelescopios mediante la comparación de éstos con los telescopios ópticos, la explicación de su funcionamiento y la descripción de sus partes.

Para acercar a los estudiantes a este mundo se propone una práctica elemental de radiotelescopios basada en la utilización de una radio doméstica para escuchar las emisiones del planeta Júpiter.

CONTENIDOS

Cómo funciona un telescopio

Telescopios terrestres:

Los telescopios ópticos

Los telescopios de regiones "invisibles"

¿Cómo funciona un radiotelescopio?

Las antenas

Las dimensiones

Importancia de la Radioastronomía

La Radioastronomía del futuro

Mejor resolución angular

Mayor sensibilidad

Longitudes de onda poco estudiadas

Interferometría de muy larga base espacial

Interferometría milimétrica: SMA y ALMA

Práctica de Radiotelescopio Elemental: Oír la voz de Júpiter

Bibliografía

REFERENCIA

Actividades Sencillas de Astrofísica, Publicaciones ApEA no5 Junio 2003

Taller de Astronomía, Akal ediciones (Madrid, 1996).

NIVEL

Segundo ciclo de ESO y Bachillerato

AUTORES

Juan Ángel Vaquerizo Gallego

Ricardo Moreno Luquero

COLABORADOR

Manuel Baixauli Sanchis

RADIOTELESCOPIOS

Escrutan el cielo captando las ondas electromagnéticas de baja frecuencia.



Fig. 1.-El radiotelescopio de Owens Valley, en California. El paraboloide de 40 m de diámetro, con montura altoacimutal, trabaja con ondas comprendidas entre un centímetro y un metro.

EL OJO HUMANO es sensible a una banda muy estrecha de las ondas electromagnéticas: la comprendida entre 0,4 y 0,8 μm , que se denomina banda de la luz visible y que constituye la llamada "ventana óptica" al cosmos, la única utilizable hasta hace unas pocas décadas. Pero, en realidad, las ondas electromagnéticas se extienden desde las brevísimas longitudes de onda de los rayos gamma (del orden de milmillonésimas de milímetro) hasta los miles de metros de las ondas de radio. La fotografía, en uso astronómico desde hace poco más de un siglo, además de ofrecer otras muchas ventajas había ampliado un poco la "ventana óptica". Para captar las ondas muy cortas, como los rayos gamma y X, que quedan completamente bloqueadas por la atmósfera, ha sido preciso esperar hasta el inicio de la era espacial

La "ventana radio", por su parte, que se extiende en longitud de onda desde un milímetro hasta una decena de metros, tras las observaciones pioneras de los años 30 ha comenzado a abrirse hace apenas cuarenta años, con la aparición de los radiotelescopios.

Cómo funciona un telescopio

Telescopios terrestres

Los telescopios ópticos

Un telescopio es un instrumento que recoge la luz de un objeto y reconstruye su imagen en un punto llamado *foco*. Los telescopios ópticos pueden ser *reflectores*, si utilizan espejos para controlar el camino de los rayos de luz, o *refractores*, si lo que utilizan son lentes.

Los telescopios son, básicamente, instrumentos diseñados para recoger fotones. Por este motivo, en Astronomía se necesitan telescopios muy grandes, para que puedan recoger la mayor cantidad posible de luz. La cantidad de luz que una lente o un espejo es capaz de recoger depende de su superficie, que, si d es su diámetro, sigue la relación:

$$S = \left(\frac{\pi}{4}\right)d^2$$

El **poder de captación de luz** (LGP de las siglas en inglés *Light Gather Power*) de un telescopio es, por tanto, proporcional al cuadrado de su diámetro. Este valor es relativo y se usa para comparar dos instrumentos y saber cuanta luz recoge uno más que otro. Por ejemplo, si queremos comparar un telescopio con un objetivo de 50 cm de diámetro con nuestro ojo, cuya pupila tiene un diámetro aproximado de 0.5 cm, podemos decir que el telescopio tiene un poder de recogida de luz de:

$$LGP = (50/0.5)^2 = 100^2 = 10\ 000, \text{ con respecto al ojo humano.}$$

Una segunda característica importante de los telescopios es su *poder de resolución (PR)*. Ésta es la facultad que tiene un telescopio de mostrar claramente separados dos objetos que están juntos en el cielo. Suele estar expresada en función del ángulo mínimo que debe haber entre dos objetos en el cielo para que su imagen aparezca claramente separada:

$$PR = \frac{1}{\theta_{\min}}$$

Donde θ_{\min} es el ángulo mínimo que se puede resolver, o la resolución del telescopio.

El poder de resolución depende de dos parámetros: del diámetro del objetivo (cuanto más grande, mayor poder de resolución) y de la longitud de onda observada (cuanto más pequeña, mayor poder de resolución), de manera que:

$$\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

El valor de 206265 es el número de segundos de arco en un radián, λ es la longitud de onda y d es el diámetro del objetivo medido en las mismas unidades que la longitud de onda.

Por ejemplo, un telescopio de 10 cm, trabajando a una longitud de onda de 5000 Å (longitud de onda del centro del rango visible), sería capaz de resolver un ángulo:

$$\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{5 \times 10^{-7}}{0.1} = 1.03 \text{ arc sec}$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta también el *patrón de difracción* producido por una apertura circular. Cuando la luz se encuentra con un obstáculo, en los extremos del mismo se producen fenómenos de interferencia constructiva y destructiva, apareciendo franjas oscuras y claras en lo que se conoce como patrón de difracción. El efecto de esta difracción es una disminución del poder de resolución, al que hay que multiplicar, en el rango óptico, por un factor 1.22 para obtener el poder de resolución real. En el ejemplo anterior, el resultado que tendremos será entonces, en lugar de 1.03 segundos de arco, 1.25 segundos de arco.

Esto quiere decir que si un telescopio de 10 cm apunta a dos estrellas que están separadas más de 1.25 segundos de arco y las observa en el rango visible, teóricamente éstas se diferenciarán perfectamente en la imagen, viéndose claramente que hay dos estrellas distintas.

En las observaciones reales, los efectos de la atmósfera tienen una importancia fundamental, ya que la turbulencia atmosférica impide alcanzar el poder de resolución teórico. Si no existiese esta turbulencia las estrellas se observarían en direcciones fijas y bien definidas. Sin embargo, dentro de la atmósfera, el aire se mueve en celdas de unas decenas de centímetros, provocando que los rayos de luz procedentes de las estrellas se tuerzan y desvíen. Por este motivo, al observar una estrella con un telescopio de diámetro mayor de 10 cm, los rayos de luz que lleguen al objetivo habrán pasado por celdas turbulentas distintas, lo que hará que cada uno haya sido desviado de una manera diferente. Por tanto, en lugar de percibir un único punto, se observará una mancha extensa que es el resultado de la superposición de múltiples imágenes en movimiento. El tamaño de esta mancha será el que realmente determine la resolución del telescopio. Este efecto se denomina *seeing* o *visibilidad*.

Los telescopios de las regiones "invisibles"

La observación de las longitudes de onda "invisibles" desde la Tierra está condicionada principalmente por las ventanas atmosféricas. Son pocas las regiones, aparte de la región óptica, que no son absorbidas por la atmósfera terrestre. Las longitudes de onda cortas, como los rayos gamma, X y UV, son absorbidas en la *ionosfera* y en la *estratosfera* (capa de ozono), impidiendo cualquier observación de este rango desde la superficie terrestre. Parte de la radiación infrarroja es absorbida por el vapor de agua y el CO₂, que está localizado en la zona de la atmósfera más cercana a la Tierra, por lo que existen algunos telescopios infrarrojos situados en las cimas de las altas montañas.

¿Cómo funciona un radiotelescopio?

Los principios básicos de funcionamiento de un radiotelescopio son muy similares a los de los telescopios ópticos reflectores. Los tipos más comunes de radiotelescopios están compuestos por un gran plato que actúa de reflector de las ondas de radio, focalizándolas en un punto que contiene los detectores de radiofrecuencias.

La pequeña corriente producida por la radiación concentrada en el foco se amplifica en un receptor de radio, de forma que pueda ser medida y registrada. A continuación se emplean filtros electrónicos para amplificar selectivamente determinados intervalos de frecuencia que se denominan habitualmente *bandas*. Incluso se pueden utilizar complejas técnicas de procesamiento de datos para detectar simultáneamente miles de estrechas bandas de frecuencias. De esta forma se puede analizar la distribución espectral de la radiación. Como veremos más adelante, la intensidad relativa de la radiación en distintas frecuencias y su polarización nos permite averiguar muchas cosas sobre la naturaleza de las fuentes de ondas de radio.

Los radiotelescopios tienen un bajo poder de resolución. Si recordamos la sección anterior, la resolución era directamente proporcional a la longitud de onda dividido entre el diámetro del recolector de fotones. Las ondas de radio tienen una longitud de onda típicamente cien mil veces mayor que la luz visible, por lo que, si un radiotelescopio tuviese el mismo diámetro que un telescopio óptico su poder de resolución sería también cien mil veces *menor*.

Por ejemplo, para que un radiotelescopio tuviese el mismo poder de resolución que un telescopio óptico de 5 m, su diámetro debería ser cien mil veces el diámetro de este telescopio, es decir, alrededor de 500 km. Evidentemente, esto no es factible pero los radioastrónomos han buscado una solución al problema de la resolución angular: la *interferometría*.

Óptico de 5m con $\lambda \approx 5 \text{ \AA}$ por (1) tendríamos: $\theta_{\min} = 206265 \cdot \frac{5 \times 10^{-7}}{5} = 0.0206265 \text{ arc sec}$

Radio con $\lambda \approx 0.05\text{m}$ y $\theta_{\min} = 0.0206265 \text{ arc sec}$ tendremos:

$$d = 206265 \cdot \frac{\lambda}{\theta_{\min}} = 206265 \cdot \frac{0.05}{0.0206265} = 500000\text{m} = 500\text{km}$$

Las Antenas

Un radiotelescopio se compone esencialmente de un colector de ondas de radio y de un receptor situado en el foco del colector, de forma análoga al telescopio óptico, donde el objetivo hace las veces de colector y el ojo provisto de un ocular o la cámara fotográfica o electrónica hacen las veces de receptor. El colector del radiotelescopio no se llama objetivo, sino antena, y

puede consistir en una hilera de dipolos (como las antenas corrientes de televisión) o en un paraboloide metálico (a veces también una superficie esférica o cilíndrica).

La superficie colectora de un radiotelescopio suele tener forma de paraboloide de revolución. Esta superficie actúa como un espejo, de forma que las ondas planas que le llegan de la fuente se reflejan en ella y son enviadas hacia el denominado *foco primario*.

La forma paraboloide de la superficie colectora permite filtrar interferencias procedentes de otras fuentes a las que no se está apuntando, ya que las ondas que no incidan frontalmente con dicha superficie no serán reflejadas hacia el foco primario.

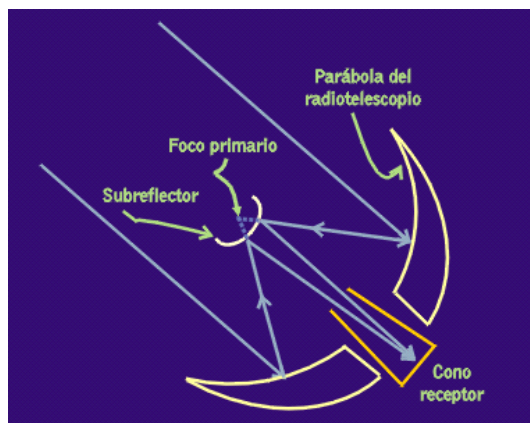


Fig. 2. Camino de las ondas en una antena hasta el receptor.

En los telescopios más simples el receptor está situado en el foco primario y desde allí la señal pasa hacia los instrumentos ópticos que la analizan. Sin embargo, en telescopios más grandes, en los que hay receptores para varias bandas, la disposición más usada es la que se presenta en la figura 2, denominada *Cassegrain*. En esta disposición en el lugar del foco primario se sitúa el *subreflector*, que tiene forma de hiperboloide de revolución y vuelve a reflejar las ondas enviándolas hacia los conos receptores, situados en la base del primer reflector. De este modo se facilita el acceso a la instrumentación del receptor para su mantenimiento y reparación, y se permite que soporte un peso mayor por estar en un punto más estable.

Puesto que las ondas electromagnéticas "no ven" agujeros de dimensiones inferiores a su longitud de onda, una antena para ondas decimétricas o métricas puede estar constituida por una estructura reticular con un entramado convenientemente abierto.



Fig. 3. El gran radiotelescopio de Arecibo (Puerto Rico). El colector, de 305 m de diámetro, está constituido por 27.000 paneles de aluminio densamente perforados para permitir el drenaje del agua de lluvia. El instrumento está orientado hacia el cenit, pero el receptor que, sostenido por tres pilares se encuentra en el foco del colector, se puede desplazar lateralmente para poder observar hasta una distancia de 20° del cenit. Por sus grandes dimensiones, este instrumento es adecuado para ser utilizado como transmisor en estudios con radar.

Algunas antenas están orientadas al meridiano y sólo se pueden hacer girar en altura para apuntarlas hacia las distintas declinaciones. Con instrumentos de este tipo, un objeto celeste determinado sólo se puede observar cuando transita por el meridiano y, por lo tanto, sólo por breves momentos cada 24 horas sidéreas.

Nótese en este sentido que las ondas de radio no son detenidas por las nubes ni sufren los efectos de la luz difusa, por lo que es posible efectuar observaciones radiotelescópicas con el cielo cubierto, a la luz del día y a pleno sol.

Los paraboloides más pequeños suelen estar montados ecuatorialmente, mientras que los más grandes tienen montura altoacimutal.

En este segundo caso, a partir de las coordenadas ecuatoriales y del tiempo sidéreo, un ordenador procede a calcular la altura y el acimut del astro para orientar el radiotelescopio y a partir de entonces va imprimiendo, instante por instante, las oportunas velocidades de rotación con respecto a los dos ejes para seguir el movimiento diurno de la esfera celeste.

Las Dimensiones

Como en el caso de los telescopios ópticos, la potencia del instrumento crece proporcionalmente con la superficie del colector. Sin embargo, los radiotelescopios pueden alcanzar dimensiones mucho mayores. La razón de ello se comprende en seguida si se tiene en cuenta la diferente precisión de elaboración requerida para la superficie reflectante que, en cualquiera de sus puntos, no puede diferir de la superficie ideal (por ejemplo, de un paraboloide) en más de una décima de la longitud de onda. En caso contrario, el resultado es una disminución de la capacidad de resolución y de la potencia.

Para los telescopios ópticos, que trabajan con ondas de $0,5 \mu\text{m}$, la precisión requerida es del orden de una diez-milésima de milímetro, e incluso menos. En cambio, para un radiotelescopio con antena paraboloide que trabaje, supongamos, con ondas de 10 cm, bastará con que la antena no difiera de la superficie perfecta en más de un centímetro. Las modernas técnicas de construcción pueden asegurar esta precisión incluso sobre superficies metálicas de un centenar de metros de diámetro. El mayor radiotelescopio del mundo es el "fijo" de Arecibo (Puerto Rico), con un colector esférico de 305 m de diámetro.

Los gigantescos instrumentos orientables tienen montura altoacimutal porque hacer girar semejantes estructuras en torno a ejes oblicuos con respecto al plano horizontal plantearía problemas de muy difícil y costosa solución.



Fig. 4. El radiotelescopio de Effelsberg (Alemania). También la montura de este instrumento es altoacimutal. El casquete más interno (de 60 m de diámetro), que en ningún punto difiere en más de 0,6 mm del paraboloide ideal, se utiliza para las ondas milimétricas. La superficie completa se utiliza para ondas comprendidas entre 6 y 92 cm.

Importancia de la Radioastronomía

La radioastronomía ha sido la principal protagonista de la evolución de los conocimientos astronómicos en el transcurso de los últimos treinta años. Recordemos, por ejemplo, el revelamiento de los brazos espirales de la Vía Láctea mediante la observación de la radiación de 21 cm del hidrógeno o el descubrimiento de los quasars y los púlsars. Al no ser bloqueadas por el polvo difundido en el espacio interestelar, las ondas de radio han permitido observar la región central de la Vía Láctea, que permanece oculta a la observación óptica. La radioastronomía ha permitido, así mismo, comenzar a penetrar en los secretos de las grandes y frías nubes moleculares que pueblan los brazos espirales de la galaxia, revelando la presencia de numerosas moléculas orgánicas que, a tan baja temperatura, sólo emiten radiaciones milimétricas y centimétricas. La entrada en funcionamiento en los últimos años de telescopios para ondas milimétricas ha permitido descubrir en el medio interestelar moléculas de óxido de carbono, de ácido cianhídrico, de metilamina, de alcohol metílico, de alcohol etílico y otras muchas más.

La radioastronomía del futuro

La radioastronomía sigue avanzando y, continuamente, se plantean nuevos proyectos para abordar retos científicos más ambiciosos. Los radiotelescopios que se construirán en las próximas décadas superarán a los actuales en varios aspectos:

- *Mejor resolución angular:*

Permitirá estudiar el Universo cada vez con mayor detalle. Por ejemplo, en el caso de sistemas solares en formación, nos gustaría poder distinguir el nacimiento de planetas individuales. Para lograr mejorar la resolución angular necesitamos interferómetros con líneas de base (separaciones entre antenas) muy grandes, longitudes de onda cortas, o ambas.

- *Mayor sensibilidad:*

Para detectar fuentes muy débiles, por ser muy lejanas, frías, o de pequeño tamaño. En este caso, necesitaremos interferómetros con superficies colectoras (es decir, el área total de todas las antenas) muy grandes, o una combinación de muchas antenas que equivalga a una superficie muy grande.

- *Longitudes de onda poco estudiadas:*

Hay fenómenos físicos interesantes o determinadas moléculas que emiten en ciertas longitudes de onda. Sin embargo, hay longitudes de onda que son difíciles de observar, como ocurre con el rango submilimétrico (longitudes de onda inferiores a 1 mm), porque la atmósfera es poco transparente a ellas. Varios radiotelescopios futuros intentarán estudiar estas ondas submilimétricas.

Presentamos a continuación algunos proyectos que intentan abordar estos objetivos:

Interferometría de muy larga base espacial

Ya hemos mencionado que con la interferometría se consiguen resoluciones espaciales equivalentes a las que conseguiría una antena cuyo diámetro fuese el mismo que la mayor distancia entre antenas del interferómetro. Por lo tanto, realizando interferometría con los radiotelescopios con los que hoy contamos (sobre la superficie de la Tierra), la mayor línea de base que podemos conseguir será igual al diámetro de la Tierra.

Si queremos obtener líneas de base mayores, para mejorar la resolución angular, debemos utilizar radiotelescopios situados en el espacio.

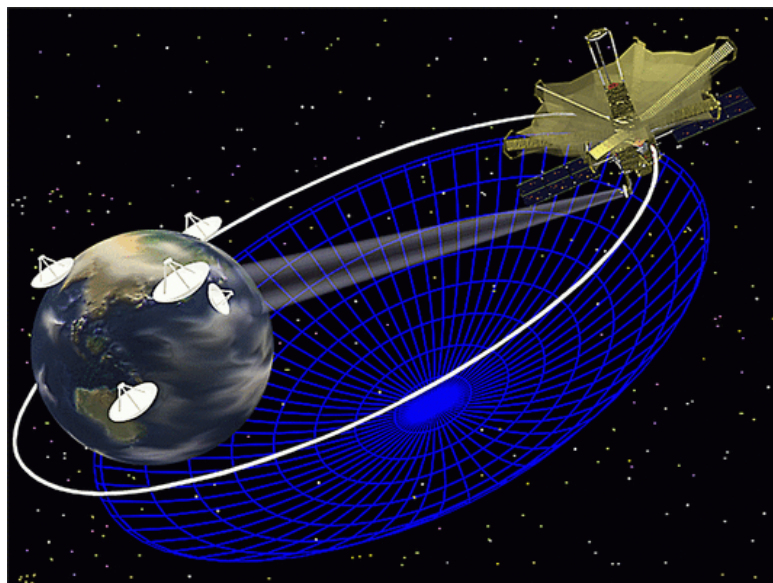
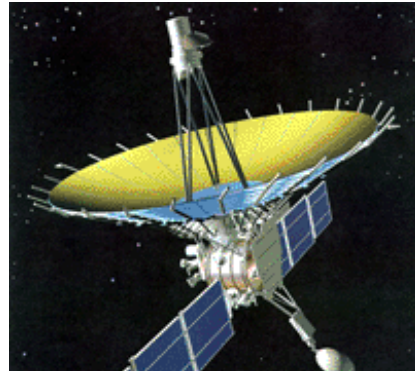


Fig. 5. Representación del satélite HALCA en órbita. Cortesía de JPL e ISAS.

El primer proyecto de interferometría espacial VSOP - VLBI Space Observatory Programme) ya se llevó a cabo con éxito entre los años 1997 y 2002. Consistió en la puesta en órbita del satélite japonés HALCA (ver fig.5), con un radiotelescopio de 8 m que contaba con receptores de entre 1.3 y 18 cm. Realizando observaciones coordinadas con radiotelescopios terrestres, se consiguieron resoluciones angulares de hasta 50 microsegundos. Si nuestros ojos tuvieran esa resolución podríamos ver desde Madrid una moneda de un céntimo que estuviera en Barcelona y distinguir perfectamente todos los detalles del dibujo de la Catedral de Santiago que aparece en la moneda.

En los próximos años se lanzarán al espacio nuevos radiotelescopios, como:

- RadioAstron. Es un proyecto ruso para poner en órbita una antena de 10 m, cuyo lanzamiento está previsto para el 2006.
- VSOP2. Proyecto japonés, que sería la continuación de VSOP-HALCA. La antena espacial será de 10 m y el lanzamiento está previsto para el 2007. Se espera conseguir una sensibilidad 10 veces mejor que con VLSOP.
- ARISE (ver fig.1.16). Es un proyecto estadounidense que consiste en una antena hinchable de 25 m, que conseguirá superar en 50 veces la sensibilidad de VSOP. Esta antena trabajará en longitudes de onda entre 3 mm y 6 cm y se espera conseguir una resolución angular de 10 microsegundos Su lanzamiento está previsto para 2008.



Interferometría milimétrica: SMA y ALMA

Estos ambiciosos proyectos pretenden abordar los tres retos que mencionamos anteriormente: mejorar la resolución angular, aumentar la sensibilidad y explorar longitudes de onda poco estudiadas.

- "Submillimeter Array" (SMA) (ver fig.7). Es un proyecto desarrollado por el Smithsonian Astrophysical Observatory (EE.UU.) y el Instituto de Astronomía y Astrofísica de la Academia China de Ciencias (Taiwan). El proyecto actual contempla la construcción de 8 antenas de 6 m en la cima del volcán extinto Mauna Kea, en Hawái, donde ya se encuentra un importante observatorio con otros 12 telescopios. SMA trabajará en longitudes de onda de entre 350 micras y 3 mm, y logrará resoluciones de 0.1 segundos. A finales de 2002, 4 de las antenas ya estaban en funcionamiento, y se han ido publicando los primeros resultados científicos obtenidos. Se espera que para finales de 2003 las 8 antenas se encuentren ya a pleno rendimiento.



Fig. 7. Cuatro de las antenas de SMA. Al fondo, algunos de los telescopios de Mauna Kea. Cortesía de Smithsonian Astrophysical Observatory.

- "Atacama Large Millimeter Array" (ALMA)(ver fig.8). Hace unos 15 años, instituciones de diferentes países se encontraban desarrollando proyectos de similares características, todos ellos con el objetivo de construir un gran interferómetro milimétrico-submilimétrico en algún lugar del hemisferio sur. Así, el National Radio Astronomy Observatory (EE.UU.) preparaba su proyecto *Millimeter Array*, mientras que Europa y Japón desarrollaban el *Large Southern Array* y el *Large Millimeter and Submillimeter Array*, respectivamente. Evidentemente, es mucho más interesante aunar esfuerzos y financiación económica para construir un instrumento tres veces mejor que tres instrumentos iguales compitiendo por estudiar lo mismo. Finalmente la lógica se impuso y se inició el proyecto conjunto ALMA, en el que participan instituciones de diferentes países, incluido el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España. Según la versión actual del proyecto, ALMA contará con 64 antenas de 12 m que trabajarán con longitudes de onda de entre 350 micras y 4 mm. Las primeras operaciones están previstas para el 2007. En [esta página](#) puedes ver vídeos con simulaciones de ALMA en movimiento.

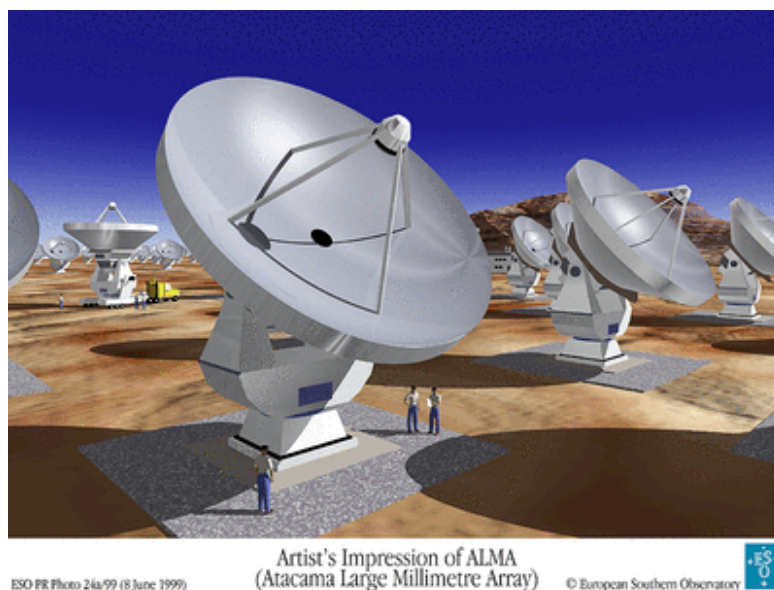


Fig. 8. Representación del interferómetro ALMA. Cortesía del European Southern Observatory.

Las longitudes de onda inferiores a 1 mm constituyen el eslabón entre las ondas de radio y las infrarrojas (1 a 100 micras). Observar estas ondas submilimétricas supone superar muchas dificultades técnicas. En primer lugar, para este rango del espectro electromagnético, la atmósfera terrestre ya no es tan transparente como para las ondas de radio más largas. Las moléculas de la atmósfera, fundamentalmente las de agua, tienen una especial predilección por absorber estas ondas. Sólo para unas determinadas zonas del espectro submilimétrico la transparencia de la atmósfera aumenta lo suficiente como para poder observar desde tierra. Son las llamadas *ventanas submilimétricas*. Pero aun en el caso de estas ventanas, la opacidad de la atmósfera es bastante grande.

Por lo tanto, no todos los lugares son igual de adecuados para construir un radiotelescopio submilimétrico. Para minimizar la absorción atmosférica deben buscarse lugares secos y a gran altitud. De esta forma, conseguiremos que por encima del radiotelescopio exista el menor número posible de moléculas de agua que puedan absorber la radiación.

En el caso de los dos proyectos que hemos mencionado en esta sección, el SMA se está construyendo en Mauna Kea a una altitud de 4000 m ([aquí](#) se puede ver la imagen de Mauna Kea en este momento, aunque es probable que cuando mires, allí sea de noche), mientras que ALMA se situará en los Llanos de Chajnantor, una meseta de los Andes chilenos en la zona del [desierto de Atacama](#) (el más seco del mundo), a 5000 m.

ALMA será, con mucha diferencia, el observatorio más potente en longitudes de onda submilimétricas. Podrá alcanzar una resolución angular de 50 milisegundos en 800 micras. Esta resolución es suficiente para poder distinguir planetas individuales en formación en torno a otras estrellas.

Práctica de Radiotelescopio Elemental:

Oír la voz de Júpiter

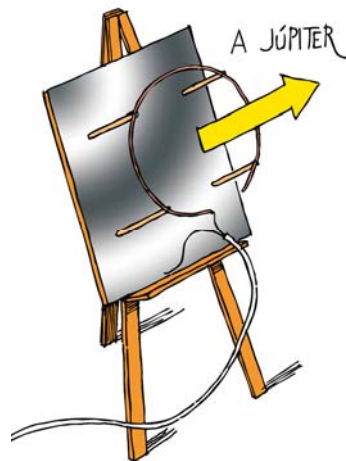
Objetivo: Escuchar las emisiones de radio del planeta gigante.

Material:

- Radio doméstica que tenga Onda Corta (SW), con dial que llegue hasta 18-22 MHz.
- 165 m de alambre de cobre rígido.
- Cuatro palos de madera de unos 30 cm de largo.
- Una plancha de madera de 60 x 60 cm.
- Papel de aluminio.
- Cable coaxial (del que se usa en las antenas de TV).

Procedimiento:

1. Júpiter emite ondas de radio en varias frecuencias. No está clara su procedencia, pero parece que tienen que ver con su campo magnético y también con su luna, lo. Una emisión es en la banda de frecuencias de 18 a 22 MHz, con un máximo en 21 MHz. Esos valores entran dentro de la capacidad de bastantes receptores caseros. Deben tener Onda Corta (SW) y llegar el dial a esos valores.
2. Las emisiones de Júpiter no son continuas. Tiene tres chorros más o menos equidistantes que giran con el planeta cada diez horas. Además, esos chorros a veces están activos y a veces no. Igual que en otros campos, en Astronomía la paciencia es una virtud.
3. Sintoniza la radio en algún punto de esa banda en que no haya mucho ruido de fondo, y espera. Las emisiones suenan como olas de mar en una playa, que llegarán con una frecuencia de unas tres por segundo aproximadamente. Su intensidad crece hasta un máximo que dura algunos minutos —o segundos a veces—, y después decae. La experiencia dice que si estás 20 minutos a la escucha tienes 1 probabilidad entre 6 de oírlas. Como es lógico, Júpiter debe estar en el cielo, aunque no le interfieren las nubes.
4. La propia antena de la radio es adecuada, aunque es omnidireccional, y captará ondas que procedan de todas las direcciones. Si se quiere mejorar la escucha y, además, asegurar que procede de Júpiter hay que construirse una antena direccional que sustituya a la normal.
5. Coge 165 cm de alambre de cobre, y haz una circunferencia con ella sin cerrarla. Sujétala a cuatro palos de 30 cm de longitud. Forra una madera de 60 x 60 cm por una cara con papel de aluminio. Clava en ella la circunferencia de cobre. Coge un cable coaxial de antena y conecta el cable interior a la circunferencia de cobre, y la malla exterior al aluminio. Conecta el otro extremo a la antena de la radio. Por último, dirige la antena hacia Júpiter.



Material adicional

- "Experimentos para todas las edades", R. Moreno y L. Cano, editorial Rialp, Madrid 2008
- Instrumentos y Métodos, P Tempesti Astronomía Video ORBIS-FABRI 1992
- Proyecto Académico con el Telescopio de la Nasa en Robledo- Partner (LAEFF-INTA)

<http://www.laeff.inta.es/partner/>



NANCY ROMAN GRACE
LA MADRE DEL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE

Fue la primera mujer en conseguir un puesto ejecutivo en la NASA y la principal impulsora del proyecto del telescopio espacial Hubble.



CATHERINE CESARSHY
LIDERANDO LA ASTRONOMÍA MUNDIAL

Directora general del Observatorio Europeo Austral (ESO) entre 1999 y 2007, ha sido la primera presidenta de la Unión Astronómica Internacional (IAU) entre 2006 y 2009.

HACIENDO VISIBLE LO INVISIBLE



Recreación del Telescopio Extremadamente Grande. ELT, © Observatorio Europeo Austral (ESO).



MARÍA LUISA GARCÍA VARGAS
DOMINANDO LA TECNOLOGÍA

Ha participado en el proyecto del instrumento MEGARA en el Gran Telescopio de Canarias (GTC) y ha sido la primera mujer en crear una empresa privada especializada en instrumentación astronómica y desarrollo de software.

MARIAM AL ASTURLABI
FABRICANTE DE ASTROLABIOS



Vivió en Alepo (actual Siria) en el siglo X y fue conocida por su maestría en la construcción de astrolabios. Los complejos cálculos matemáticos que manejó le permitieron innovar en el diseño de esos instrumentos y en el desarrollo de técnicas de navegación. Su apodo, Al Asturlabi, sugiere el reconocimiento público a su trabajo.

