CAPÍTULO 2. Observación de la radiación electromagnética

1. Rangos de observación

2. Instrumentos para la observación astronómica

2.1. Telescopios terrestres

2.2. Satélites

3. Observaciones en radio

4. La antena de PARTNeR: DSS-61

1. Rangos de observación

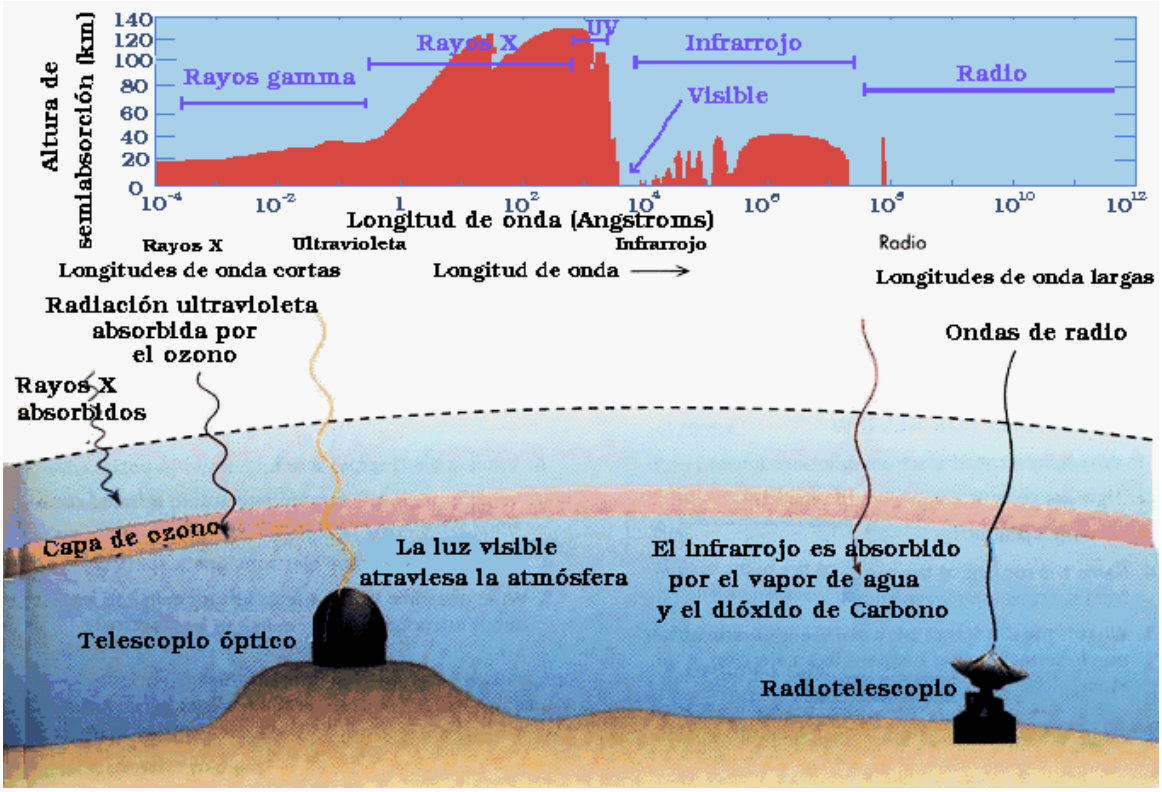
Las observaciones son una parte fundamental dentro de la Astronomía. Hay ciencias que se basan en la experimentación, porque mediante experimentos se pueden reproducir las condiciones para que se den determinados fenómenos en un laboratorio y puedan ser estudiados. Sin embargo, en Astronomía pocas cosas pueden ser reproducidas en un laboratorio, y las únicas vías para avanzar en el conocimiento son la vía observacional, que trata de tener constancia de la realidad astronómica y la vía teórica, que intenta elaborar modelos que sean capaces de reproducir esa realidad.

El desarrollo de instrumentos cada vez más potentes para las observaciones astronómicas ha sido determinante en el avance de los conocimientos en esta ciencia, ya que estos se han ido desarrollando a lo largo de los años a la par que las observaciones.

Las primeras observaciones astronómicas que se realizaron, fueron utilizando los instrumentos "naturales" que el ser humano tiene para la observación: los ojos. Estos instrumentos fueron los únicos participantes en los primeros descubrimientos acerca de los movimientos de los planetas y el brillo de las estrellas.

Sin embargo, aunque la obsevación a simple vista puede proporcionar imágenes muy bellas, es evidente, con las técnicas que conocemos en la actualidad, que no es el método más práctico para el desarrollo científico de la Astronomía. Por una parte, porque el uso de grandes telescopios permite la observación de objetos muchísimo más lejanos que los que pueden ser alcanzados a simple vista, y por otra parte, no menos importante, porque nuestros ojos están restringidos a un pequeño rango del espectro electromagnético, y no nos permiten recoger la información que nos llega en longitudes de onda distintas del visible.

Otro problema que existe al realizar observaciones desde la Tierra, independientemente del instrumento que utilicemos para ello, es que la atmósfera es opaca para la mayoría de las longitudes de onda, permitiéndonos sólo la observación de aquellas regiones que la pueden traspasar. En la siguiente figura vemos el comportamiento de la atmósfera para las distintas regiones espectrales:



En la gráfica de la parte superior de la figura, la zona roja indica aproximadamente las alturas en las que la radiación es absorbida en la atmósfera para cada longitud de onda. Vemos, por tanto, que la amósfera tiene algunas "ventanas" que permiten el paso de ciertas longitudes de onda hasta la superficie terrestre. Las ventanas más importantes son las que aparecen listadas en la siguiente tabla:

Longitudes de onda	**Ventana**
< 300 nm	Atmósfera opaca por absorción por el ozono
3000-9000 A	Ventana UV-Visible-IR cercano
1-5 micras	Ventana IR entre H_2O y CO_2
8-20 micras	Ventanas IR
1.3 cm-1.9 mm	Ventanas centimétricas-milimétricas
1.8-1.1 mm	Ventana milimétrica
0.8, 0.45, 0.35 mm	Ventanas submilimétricas
2 cm-10 m	Ventana de radio
>10 m	Atmósfera opaca por absorción por la ionosfera

Por tanto, la única información que desde la Tierra podemos obtener del espacio, es la correspondiente a las

ventanas citadas en el cuadro anterior. Así vemos que los únicos telescopios que tienen razón de ser en la tierra son los del rango óptico, algunas regiones del infrarrojo y en radio, incluyendo longitudes de onda milimétricas y submilimétricas.

Subir

2. Instrumentos para la observación astronómica

A lo largo de la historia, el hombre ha desarrollado instrumentos que le ayudasen a observar el cielo. Primero lo hizo buscando aquellos instrumentos que amplificasen la potencia de sus ojos (los telescopios ópticos) y más tarde buscando instrumentos que abarcasen longitudes de onda distintas a las que se podían observar visualmente (radiotelescopios, telescopios infrarrojos). Por último, con el desarrollo de la tecnología espacial, decidió poner telescopios en órbita para evitar el efecto de la atmósfera sobre las observaciones.

Dedicaremos una parte importante de esta sección a los telescopios ópticos, ya que ayudarán a comprender algunas de las nociones importantes dentro de la radioastronomía y, en general, todos estamos más familiarizados con el comportamiento de las lentes y los espejos que con el de los amplificadores.

2.1 Telescopios terrestres

Los telescopios ópticos

Los telescopios ópticos comenzaron a desarrollarse como una extensión del ojo humano. De hecho, los primeros telescopios se elaboraron, hacia principios del S. XVII, con lentes que se usaban para corregir defectos de la visión ya desde el S. XV. Haz click **aquí** si quieres acceder a una página donde se explica el origen de los telescopios (en inglés).

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 fórmula:

$$S = (\pi/4)\, d^2$$

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:

$$LGP = (50/0.5)^2 = 100^2 = 10\,000,$$

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:

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

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

$$\theta_{min} = 206265\, \lambda/d$$

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), tendría un poder de resolución de:

$$\theta_{min} = 206265(5x10^{-7}/0.1) = 1.03 \text{ arcsec}$$

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 (este fenómeno se verá con más detalle en el **Capítulo 4**). 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*.

En los grandes telescopios en los que se cuidan al máximo las condiciones terrestres que pueden determinar la visibilidad, el valor del seeing puede llegar a ser, en los casos mejores, del orden de medio segundo de arco, aunque generalmente rondará un segundo de arco. Por este motivo, aunque el cálculo teórico del poder de resolución dé un valor mucho mejor que éste, en la realidad, vendrá determinado casi únicamente por el "seeing". Para evitar este efecto, la única solución que se ha encontrado es utilizar telescopios espaciales que eviten directamente el efecto de la atmósfera al trabajar por encima de ella.

Subir

Los telescopios de las regiones "invisibles"

La observación de las longitudes de onda "invisibles" desde la Tierra está condicionada principalmente por las ventanas atmosféricas que revisamos en la **sección 1**. Hemos visto que 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 CO_2, 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. Ejemplos de este tipo de telescopios son el **Telescopio Carlos Sánchez** en Tenerife o el **UKIRT** (United Kingdom Infra-Red Telescope) en Hawaii.

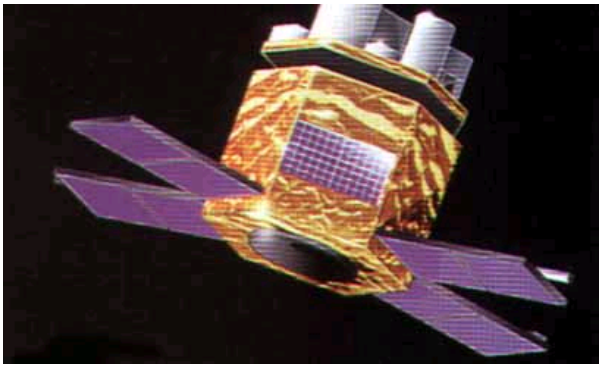
Gracias a la ventana de radio, sí que se pueden observar desde la Tierra las emisiones celestes en esta región del espectro electromagnético. Aunque la atmósfera no es absolutamente transparente a todo el rango del radio, como demuestra que para la transmisión de ondas de radio en la Tierra se utilice el rebote en la atmósfera, sí que lo es en un amplio espectro que permite la utilización eficiente de radiotelescopios en la superficie terrestre, como veremos en la **sección 3**.

Subir

2.2 Satélites

Como hemos visto, es imposible llevar a cabo observaciones de Astronomía de altas energías desde la superficie

terrestre. Por este motivo, en cuanto el desarrollo técnico lo permitió, se comenzaron a realizar observaciones desde lugares por encima de la atmósfera terrestre. En los primeros tiempos, esto se realizó utilizando aviones o globos, y después de la Segunda Guerra Mundial se emplearon misiles alemanes modificados. Aunque sus vuelos duraban solamente unos pocos minutos, permitieron la observación del Sol y de otros objetos celestes en estas longitudes de onda.



Representación artística del satélite Minisat-01

Con el desarrollo de la astronáutica se logró poner en órbita satélites que transportasen telescopios y permitiesen realizar observaciones durante un período más largo de tiempo. Así, el primer satélite astronómico enviado al espacio fue el *Ariel 1*, lanzado por Gran Bretaña en 1962, que estudió los rayos cósmicos y la radiación X y ultravioleta procedente del Sol. Y después de éste, otros muchos han orbitado alrededor de la Tierra abriendo nuevas puertas al conocimiento del Universo. Para ver una relación completa de satélites astronómicos enviados al espacio (en inglés) puedes pulsar **aquí**.

Ha habido varios satélites especialmente relevantes. El satélite *IRAS (Infrared Astronomical Satellite)* en el rango infrarrojo, fue lanzado en enero de 1987 y su misión duró hasta finales de noviembre de 1987. En estos 10 meses, cartografió completamente el cielo en cuatro bandas fotométricas del infrarrojo lejano (12, 25, 60 y 100 micras). El satélite *IUE, International Ultraviolet Explorer*, en el rango ultravioleta, fue lanzado en 1978 y tuvo una vida activa de 18 años, algo insólito para un satélite espacial, durante los cuales realizó importantes descubrimientos. En la región de los rayos gamma, cabe destacar la labor del *Compton Gamma Ray Observatory* (observatorio Compton de Rayos Gamma), puesto en órbita en 1991 y que terminó su misión en el año 2000.

No hay que olvidar el satélite *MINISAT-01* de INTA, el primer satélite completamente diseñado y construido en España, que fue lanzado en 1997 y terminó su período activo en febrero de 2002. En sus 5 años de vida realizó importantes observaciones. EURD, uno de sus intrumentos, estudió el gas caliente que rodea al Sistema Solar, procedente de la explosión de una supernova.

Los satélites más importantes que actualmente están en activo son el *XMM*, en la región de rayos X, y el *HST (Hubble Space Telescope*) en el óptico. Este último es uno de los proyectos espaciales más ambiciosos realizados hasta el momento. Fue lanzado en 1990 y, después de la corrección de su óptica, en 1993, ha proporcionado las imágenes en el rango visible más espectaculares obtenidas hasta el momento sobre objetos celestes, y ha servido también para favorecer grandes avances científicos.

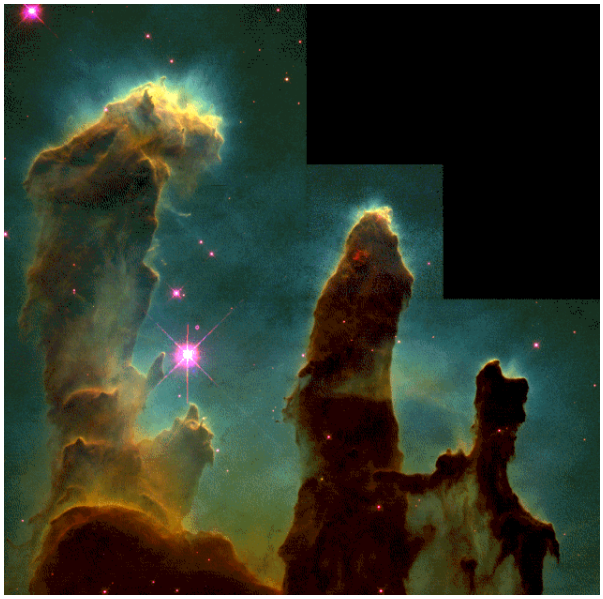


Imagen obtenida por el *Hubble Space Telescope*. Región de formación estelar en M16. J.Hester y P.Scowen (AZ State Univ.),NASA.

Subir

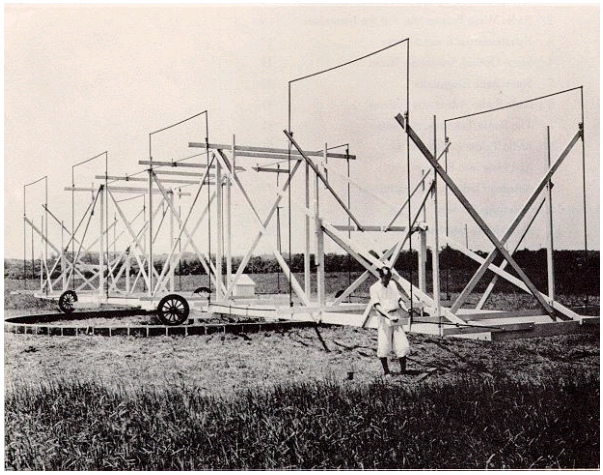
3. Observaciones en radio

Un poco de historia

Como pasa a veces en el mundo de la ciencia, las ondas de radio de origen extraterrestre se descubrieron en realidad

mientras se investigaba otra cosa. En 1931, a Karl G. Jansky, un ingeniero de radio de los laboratorios Bell en Holmdel, Nueva Jersey (Estados Unidos), se le asignó la tarea de estudiar las interferencias en las ondas de radio producidas por los relámpagos de las tormentas, con el fin de ayudar a construir una antena que minimizase el ruido estático en las transmisiones transoceánicas de señales telefónicas en radio. Para ello, construyó un artefacto extraño, más parecido a un tiovivo de madera que a una antena moderna o a un radiotelescopio, que estaba sintonizado para detectar radiación de longitud de onda de 14.6 m y que podía dar una vuelta completa alrededor de su centro en 20 minutos, apoyado sobre ruedas de automóviles Ford de aquella época. La antena estaba conectada a un receptor y su señal era registrada en una cinta continua.

El resultado de sus estudios indicaba que, a pesar de que una fracción significativa del ruido estático podía ser atribuida a tormentas locales o distantes, todavía quedaba una componente importante que se denominó "ruido constante de naturaleza desconocida". Girando la antena fue capaz de determinar que la posición de esta fuente de ruido estático desconocida cambiaba gradualmente hasta describir un círculo completo en 24 horas. Dado que Karl Jansky no era astrónomo de profesión, tardó en darse cuenta de que este desplazamiento correspondía al movimiento aparente de una fuente extraterrestre debido a la rotación de la Tierra.



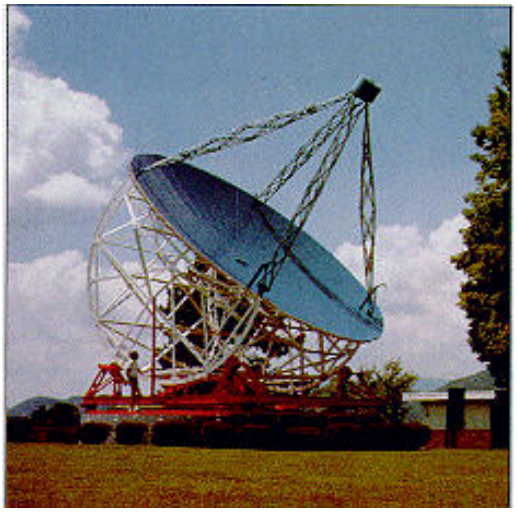
Jansky construyendo su radiotelescopio.

En un principio, Jansky atribuyó el origen de la radiación al Sol. Sin embargo, un análisis detallado de los tiempos indicaba que la fuente aparecía siempre 4 minutos antes que el día anterior. Esto indicaba que la fuente describía un círculo completo en lo que los astrónomos llaman un día sidéreo, que difiere justamente en 4 minutos respecto a un día solar. Un día sidéreo es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta completa alrededor de su eje y que podemos medir tomando como referencia las estrellas lejanas, cuyas posiciones relativas no varían significativamente en dicho período. Un día solar es el tiempo que tarda el Sol en pasar dos veces consecutivas por la misma posición (habitualmente el meridiano local). Veremos en el **capítulo 5** la razón de esta diferencia.

El hecho es que esos cuatro minutos de diferencia implicaban que la fuente de ese ruido se encontraba a una distancia mucho mayor que la que separa la Tierra del Sol. Jansky siguió investigando y finalmente llegó a la conclusión de que el origen de la emisión era nuestra propia galaxia (la Vía Láctea) y en 1933 publicó por primera vez el resultado de sus investigaciones.

A pesar de que el trabajo de Karl Jansky tenía consecuencias muy importantes tanto en el diseño de receptores de radio como para la radioastronomía en general, lo cierto es que sus hallazgos pasaron inicialmente inadvertidos. Hasta que en 1937, Grote Reber, otro ingeniero de radio, recogió los descubrimientos de Jansky y construyó en el patio trasero de su casa de Wheaton (Illinois) el primer prototipo de lo que hoy conocemos como radiotelescopio. En un principio el radiotelescopio estaba diseñado para detectar ondas de radio de longitudes de onda cortas, pensando que éstas serían más fáciles de detectar. No tuvo suerte y tuvo que modificar la antena para detectar radiación de 1.87 metros (aproximadamente la altura de una persona). En esta longitud de onda detectó emisiones intensas provenientes del plano de nuestra Galaxia.

Reber continuó investigando y en 1944 publicó los primeros mapas del cielo en frecuencias de radio. Al



Radiotelescopio de Reber.

final de la Segunda Guerra Mundial seguía siendo el único radioastrónomo del mundo, pero ya antes, los operadores de rádar británicos habían detectado emisión en ondas de radio procedentes del Sol. Después de la guerra, la radioastronomía empezó a desarrollarse cada vez más rápidamente, hasta convertirse en lo que es hoy: una herramienta fundamental para la observación y el estudio del Universo.

¿Cómo funciona un radiotelescopio?

Los principios básicos de funcionamiento de un radiotelescopio son muy similares a los de los telescopios ópticos reflectores de los que se trató en la **sección 2.1**. 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, el poder de 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 menor 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*.

La interferometría se basa en el uso de de varias antenas observando simultáneamente el mismo objeto, de manera que la resolución total del sistema es mucho mayor que la resolución de una antena por separado. De hecho, la resolución es equivalente a la que tendría una antena cuyo diámetro fuese igual a la separación máxima de las antenas. Si quieres saber más sobre el funcionamiento de un interferómetro pincha **aquí**.

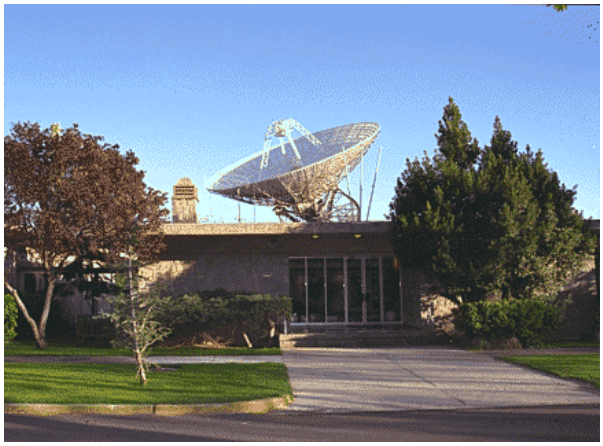
Actualmente, el observatorio astronómico más importante es el **VLA** siglas de (*Very Large Array* o, en español, "Red Muy Grande"). Está situado en Nuevo Méjico (EEUU) y consta de 27 antenas de 25 m de diámetro cada una, distribuidas en forma de Y. Las antenas son móviles, lo que permite distintas configuraciones más o menos alejadas unas de otras.

Cortesía del *National Radio Astronomy Observatory*.

Una resolución todavía mayor se puede conseguir con la técnica VLBI (siglas de *Very-Long Baseline Interferometry* - Interferometría de Muy Larga Base). En este tipo de observaciones se utilizan antenas situadas en distintos continentes, cuyas señales son grabadas en cintas magnéticas y combinadas después en un ordenador. El límite de la máxima separación entre las antenas en este caso viene dado por el diámetro de la Tierra (*L= 12 000 km*) y, por tanto, el poder de resolución que se alcanza es elevadísimo, del orden de tres milésimas de segundos de arco para la línea de hidrógeno en 21 cm.

Subir

4. La antena de PARTNeR: DSS-61



Edificio de operaciones de la Estación de Robledo de Chavela. Al fondo la antena DSS-61. *Cortesía de MDSCC*

Aunque los detalles técnicos de la antena se desarrollarán en el **Manual técnico** del radiotelescopio DSS-61, vamos aquí a adelantar algunos aspectos fundamentales. DSS-61 es un radiotelescopio de tipo Cassegrain que se encuentra en Robledo de Chavela (Madrid). Tiene 34 metros de diámetro y un sistema de apuntado y seguimiento ecuatorial (en ángulo horario y declinación, ver **Capítulo 5**). Está equipado con receptores y amplificadores de bajo ruido (de estado sólido) en las **bandas** S y X.

Inicialmente era parte de la Red de Espacio Profundo (Deep Space Network) y de ahí el nombre de DSS-61 (Deep Space Station 61). DSS-61 fue diseñada como una antena de comunicaciones de 26 metros de diámetro, pasó los tests de funcionamiento en mayo de 1965 y comenzó a tomar parte en las operaciones de comunicación con el Mariner 4 en julio de ese mismo año. Posteriormente, participó en tareas similares ligada a las misiones Mercury y Gemini.

Más tarde, DSS-61 formó parte del grupo de 6 antenas que NASA empleó para las comunicaciones de la MSFN o Red de Vuelos Espaciales Tripulados con las naves del programa Apolo de exploración lunar. Las seis antenas estaban repartidas por parejas entre EEUU, Australia y España. Cada par de antenas se encargaba, de mantener contacto con el módulo orbital la primera y con el módulo lunar la segunda.

Después del aterrizaje de la nave espacial Viking en la superficie marciana en 1976, NASA empezó a proyectar misiones a planetas exteriores del sistema solar: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Este cambio implicaba una modificación sustancial de las antenas de seguimiento de la DSN. El primer paso en este sentido fue convertir la subred de antenas de 26 metros (a la que pertenecía DSS-61) en una red de 34 metros. El nuevo diámetro era compatible con las nuevas necesidades de sensibilidad para las comunicaciones y, al mismo tiempo, factible desde

un punto de vista estructural. En 1976 se finalizó la conversión de las antenas.

Ahora, la antena ha sido desligada de la Red DSN y se ha reconvertido para su uso como radiotelescopio dentro del proyecto PARTNeR que pretende facilitar su uso con fines educativos a través de Internet.

Subir