

OBSERVATORIOS IMPORTANTES QUE EMPLEAN SÍNTESIS DE APERTURA

Por primera vez los astrónomos demostraron la posibilidad de la interferometría con antenas que quedaron como rezagos de guerra. Eso fue en la década del 40. En los siguientes 20 años, sus esfuerzos condujeron a la construcción de instrumentos como el telescopio de una milla de Cambridge; un interferómetro que pudo alcanzar una resolución de unos pocos segundos de arco. Este telescopio fue expandido en tamaño a 5 kilómetros. Luego en la década del 70 se construyó un conjunto de 14 antenas a lo largo de una línea, en Westerbork, Holanda.

Al final de los '70 fue financiado un poderoso radio interferómetro llamado Very Large Array (VLA, Conjunto Muy Grande) por la National Science Foundation, en Estados Unidos. La construcción estuvo a cargo del National Radio Astronomy Observatory (NRAO). Este telescopio consiste en 27 antenas repartidas en un área de unos 40 kilómetros, en las planicies de San Agustín, Nueva México central.



Fig. 7-1 El VLA con sus antenas retraídas preparadas para observar en baja resolución.

Las imágenes de precisión de tales interferómetros revelaron un universo muy diferente al visto en longitudes de onda ópticas. Las radiofuentes más brillantes eran normalmente galaxias muy débiles y distantes, o imágenes puntuales de cuasars, que hoy se saben centros de galaxias activas lejanas. Exceptuando el sol y unos pocos planetas, las fuentes más poderosas no eran visibles al ojo desnudo, y para la mayoría de ellas, su detección óptica requiere poderosos equipos, tanto en visible como en infrarojo.

Aún antes del VLA, algunos astrónomos ambiciosos pretendían construir radio interferómetros que pudieran reunir señales desde antenas separadas por miles de kilómetros. Esos instrumentos podrían tener una resolución angular del orden de los milisegundos de arco, muy superior a la de cualquier otro telescopio. Pero esto no es tan fácil. Las antenas individuales de Interferometría de Línea de Base Muy Larga (VLBI) están muy alejadas entre sí para que sea posible juntar sus señales en tiempo real, de modo que se deben grabar los datos en cinta magnética y remitirlos a un centro de procesos. Para eso, deben sincronizarse las ondas de radio en forma absoluta, con una precisión mayor al microsegundo, de modo que el proceso de grabación requiere relojes atómicos extremadamente precisos en cada observatorio participante.

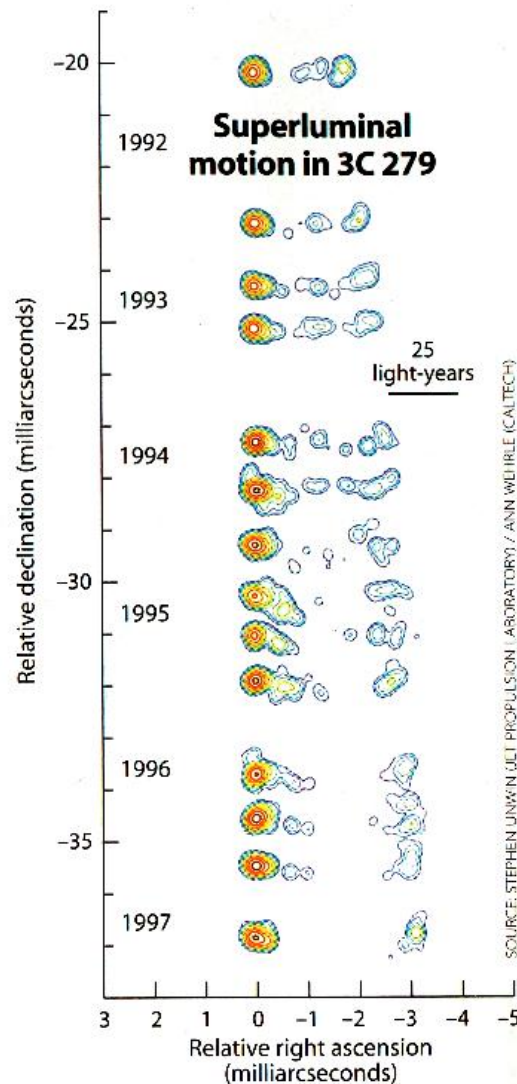
Las primeras observaciones exitosas en VLBI fueron realizadas, más o menos independientemente por tres grupos. Uno de Canadá, otro grupo de la Universidad de Cornell y el NRAO, y el tercero desde el Massachusetts Institute of Technology (MIT). Esto fue en 1967 y se usaron longitudes de onda desde 13 hasta 70 centímetros. La separación entre antenas fué desde cientos a miles de kilómetros. Al siguiente año participó el telescopio de Onsala, Suecia. Así la Línea de Base América-Europa suministró las primeras observaciones VLBI exitosas entre continentes diferentes.

El VLBI permite obtener muy alta resolución angular. Sin embargo la finita sensibilidad de los telescopios individuales solo permiten investigar a las radiofuentes más intensas. Una imagen en VLBI de Venus puede arrojar una imagen excepcional de los accidentes superficiales del planeta, pero Venus no es una radiofuente suficientemente intensa para ser detectada por las antenas reativamente pequeñas usadas en VLBI. Las fuentes observables con este sistema deben tener la característica de emitir grandes cantidades de energía desde muy pequeños volúmenes. Por ejemplo, los núcleos de galaxias activas tales como los quasars están energizados por material que cae dentro de agujeros negros supermasivos.

Estos agujeros negros tienen una capacidad de generación de energía de 10 a 100 veces mayor que la fusión nuclear existente en los centros estelares. Mucho de esta energía es convertida a radiofrecuencias detectables desde la Tierra.

Los telescopios ópticos observan predominantemente radiación térmica. Por ejemplo, las estrellas emiten luz visible pues

Fig. 7-2 El sistema VLBI muy pronto mostró que algunas radiofuentes tenían un tamaño de solo algunos milisegundos de arco. Luego, en 1971, se detectaron dos parcelas de material radio emisor saliendo de dos quasars a varias veces la velocidad de la luz. Esto hoy se conoce como movimiento superluminal, y se sabe que es una ilusión óptica causada cuando este material se mueve a una velocidad cercana a la de la luz, en dirección a la Tierra.



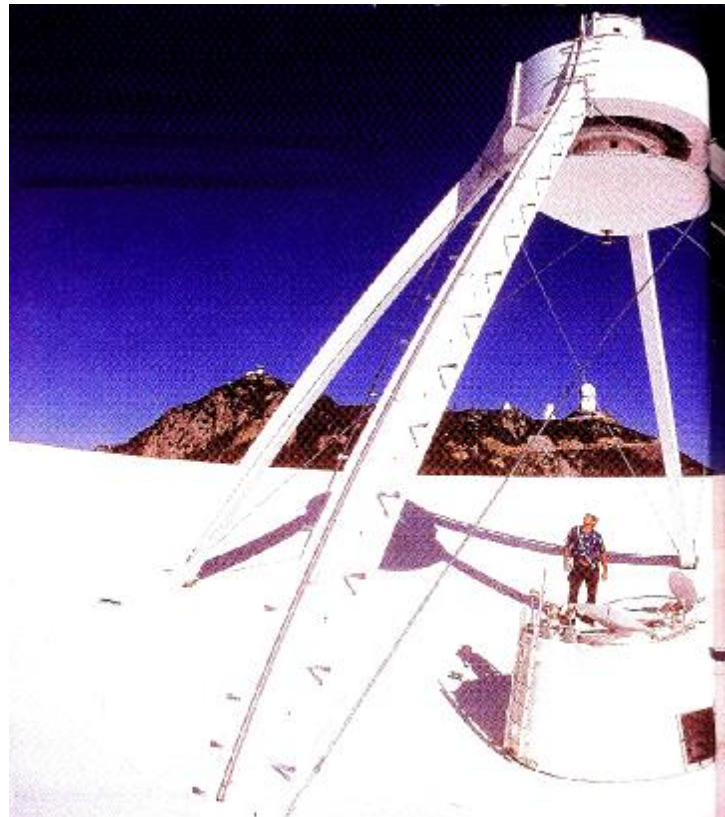
tienen temperaturas del orden de pocos miles de grados Kelvin, mientras que las regiones de gas y polvo formadoras de estrellas, observadas por telescopios infrarojos, poseen temperaturas de solo decenas o centenas de grados sobre el cero absoluto.

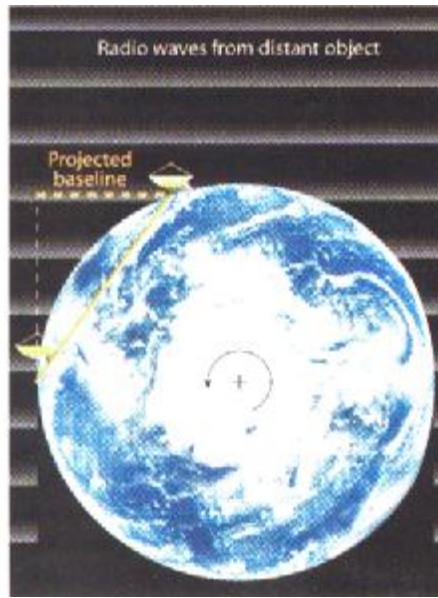
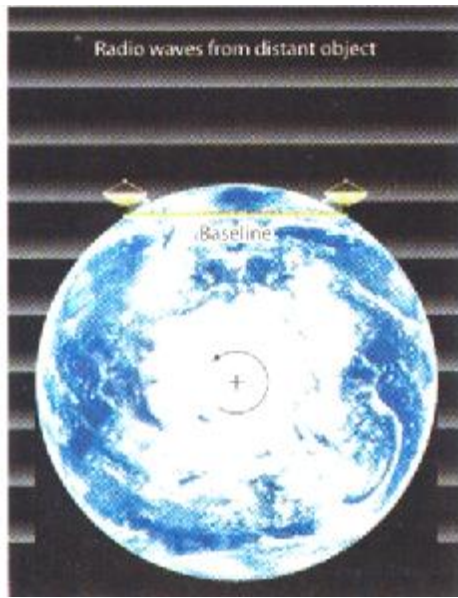
En contraste, los objetos observados por los radio astrónomos emiten típicamente radiación no-térmica causada por procesos más exóticos. Las regiones del espacio que cuentan electrones libres que se mueven a velocidades muy cercanas a la de la luz y atraviesan campos magnéticos, emiten radiación en una banda muy ancha (radiación en el continuo). El fenómeno se llama *emisión de sincrotrón*, por ser éste el nombre de los aparatos terrestres donde se descubrió el mecanismo. Esta es la principal fuente de energía que se emite en las radiogalaxias activas.

El parámetro crítico de un interferómetro es su Línea de Base proyectada sobre el plano del Frente de Onda. Como se vió antes, esta proyección cambia a medida que la Tierra rota. Esta es la clave para la interferometría por síntesis de apertura, por la cula Martin Ryle (Universidad de Cambridge) recibió el Premio Nobel de Física de 1974. Con un simple par de telescopios podemos medir una fuente a diferentes escalas (esto es, a diferentes valores de θ) simplemente esperando la rotación de la Tierra.

A medida que la Tierra rota, la Línea de Base proyectada de un interferómetro de dos antenas traza una trayectoria sobre un sistema de coordenadas bidimensional (norte-sur, este-oeste) que los astrónomos llaman plano u-v (u es la proyección de la Línea de Base sobre la dirección este-oeste, y v la otra correspondiente a la norte-sur). Las elipses resultantes tiene su eje mayor horizontal. Para tener una idea de magnitudes, la Línea de Base entre dos antenas del VLBA (Very Long Baseline Array), una en North Liberty, Iowa, y la otra en Owens Valley, California tiene aproximadamente 60 millones de λ , cuando se trabaja en 3.6 cm, llegándose a una resolución angular de 3.4 milisegundos de arco.

*Fig. 7-3
Impresionante vista
de la superficie
reflectora de una de
las antenas del VLBA
que está localizada
en Kitt Peack,
Arizona. El sistema
es de tipo
Cassegrain, con su
reflector secundario
hiperbólico en la
parte superior.
Abajo, en el centro
del reflector un
sistema revólver,
puede cambiar
rápidamente
receptores de
diferentes
características.*





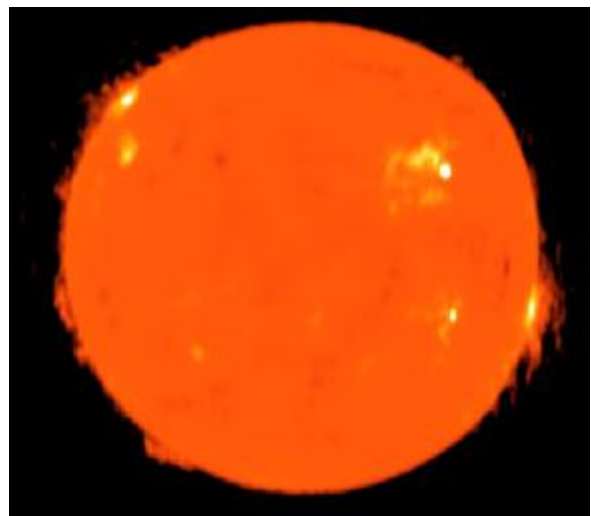
*Fig. 7-4
Vista
práctica
del cambio
de la
proyección
de la
Línea de
Base por
el
movimiento
de
rotación
terrestre.*

En Japón existe un observatorio dedicado al estudio del sol en radio. El instrumento principal es un radioheliógrafo de 84 antenas parabólicas de 1 metro de diámetro.



*Fig. 7-5 Una vista del
Radioheliógrafo de Nobeyama con
el que se pueden obtener
imágenes del sol cada 10
segundos. Son 84 antenas en
disposición norte-sur, este-
oeste.*

*Fig. 7-6 Una típica imagen
del sol. Ésta fue tomada el
22 de junio de 1999. La
resolución angular es del
orden de 10 segundos de
arco. La frecuencia de
trabajo del receptor es de
17 GHz. Se notan varias
regiones activas, con
protuberancias eruptivas y
filamentos.*



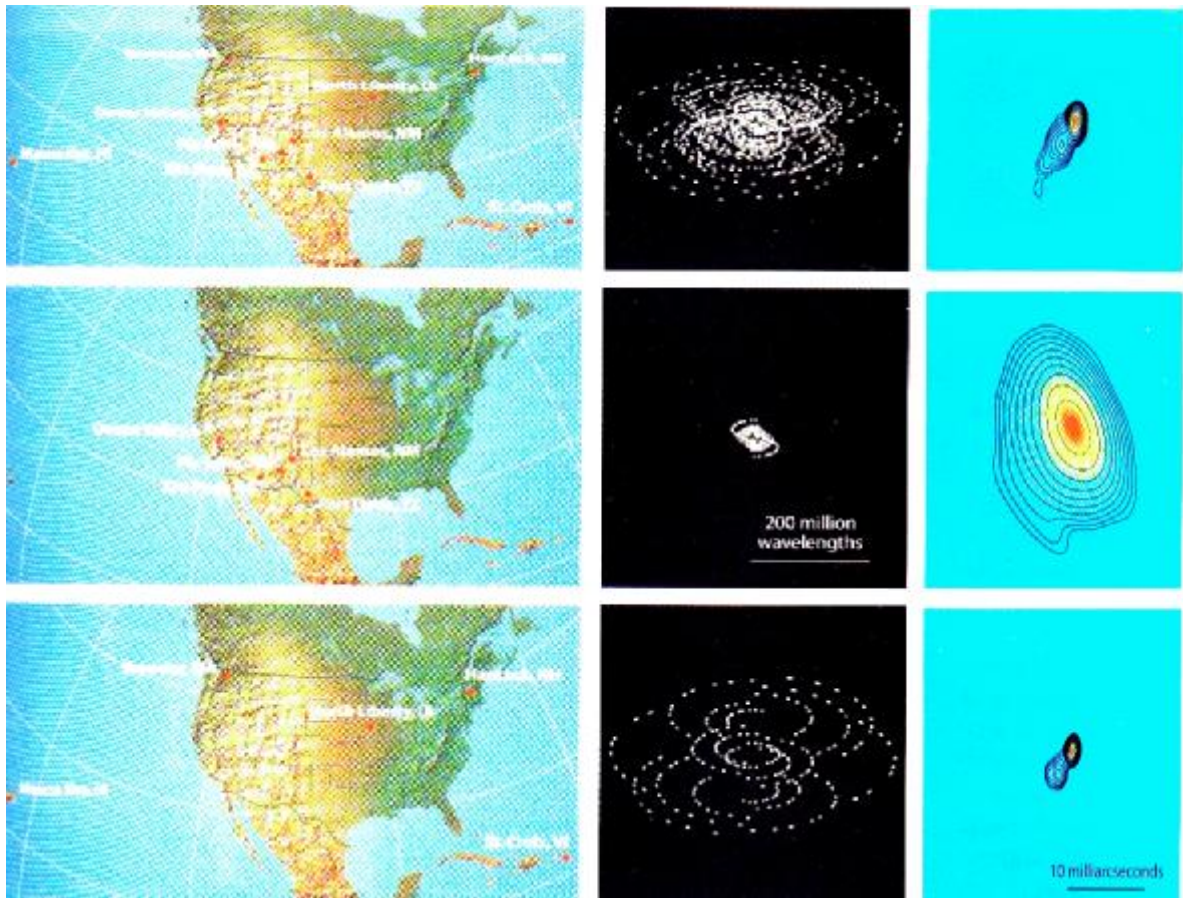


Fig. 7-7 El gráfico de arriba, de la columna central muestra la apertura efectiva completa del sistema VLBA durante una observación del quasar Q0827+243. La mayor proyección de la Línea de Base llegó a 250 millones de l, y comprende 9000 kilómetros, desde la Big Island en Hawaii y Saint Croix, en las islas Vírgenes. La figura de la derecha es la imagen resultante del quasar, cuya distancia a la Tierra es de unos 8 mil millones de años luz. La intensidad de radio se denota por contornos topográficos y pseudocolores. La componente más fuerte del quasar está presumiblemente centrada en un agujero negro supermasivo. Hacia el sureste (izq. abajo), un jet de partículas energéticas emerge del agujero negro a casi la velocidad de la luz. el jet es de unos 7 milisegundos de arco (150 años luz) de largo. Esta imagen de 0.03 segundos de arco de lado, es un poco más pequeña que un solo pixel de un imagen del telescopio espacial Hubble.

La India también integró una serie de reflectores parabólicos de 45 metros de diámetro cada uno, trabajando en frecuencias desde 38 MHz hasta 1420 MHz. Es el Radiotelescopio Gigante de Ondas Métricas (GMRT) y está distribuido en un espacio de 25 kilómetros, obteniéndose resoluciones entre 75 segundos de arco en 38 MHz hasta 2 segundos de arco para 21 centímetros.

En la isla de Mauritania se ha instalado recientemente un array de antenas helicoidales de 3.5 vueltas cada una en forma de cruz. Los brazos tiene dimensiones del kilómetro y medio y depende también de la India.

Por supuesto, el uso de un array en lugar de un colector de ondas de superficie única, como una parábola, paga un necesario tributo.

El área eficaz colectora de energía de radio de una parábola llega a ser aproximadamente la mitad de su área física. Por otro lado, el área efectiva de un elemento individual de un array es, generalmente, muy pequeña, y si no es un reflector de tipo parabólico, no tiene relación con su área física. El área efectiva colectora de un array es la suma de las de sus elementos, de modo que entre una parábola y un array del mismo tamaño, la diferencia en área colectora pesa fuertemente hacia la antena entera. Esto redundará en una menor sensibilidad de un array respecto de un área llena del mismo tamaño. Por otro lado, un array presenta una mayor cantidad de molestos lóbulos laterales lo que hace más dificultoso el proceso de imágenes.

Sin embargo la diferencia de precios puede ser muy importante, lo que posibilita realizar arrays de tamaños muy superiores a los alcanzados por superficies llenas, y con ellos se logran alcanzar resoluciones angulares imposibles de pensar en antenas llenas.