

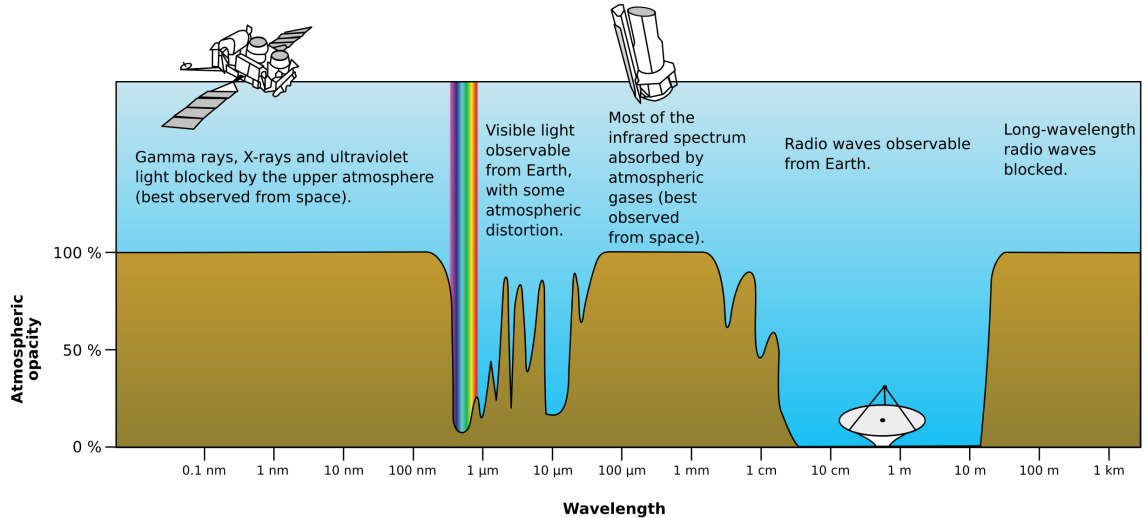
Técnicas de observación en Radioastronomía

Dr. Daniel Estévez (EA4GPZ / M0HXM)

SETI Institute

17 Febrero 2024
Micrommeet, Guadarrama

Una ventana al universo



← → ↺ 🏠 archive-new.nrao.edu/vlass/HIPS/All_VLASS/Quicklook/ ☆ 🔍 Search 🛡️ ⬇️ 📖 📱 📧 ☰

J2000 **15 06 38.423 -197 32 24.74**

Base image layer

PanSTARRS DR1 color

Color map:
native Reverse

Overlay layers

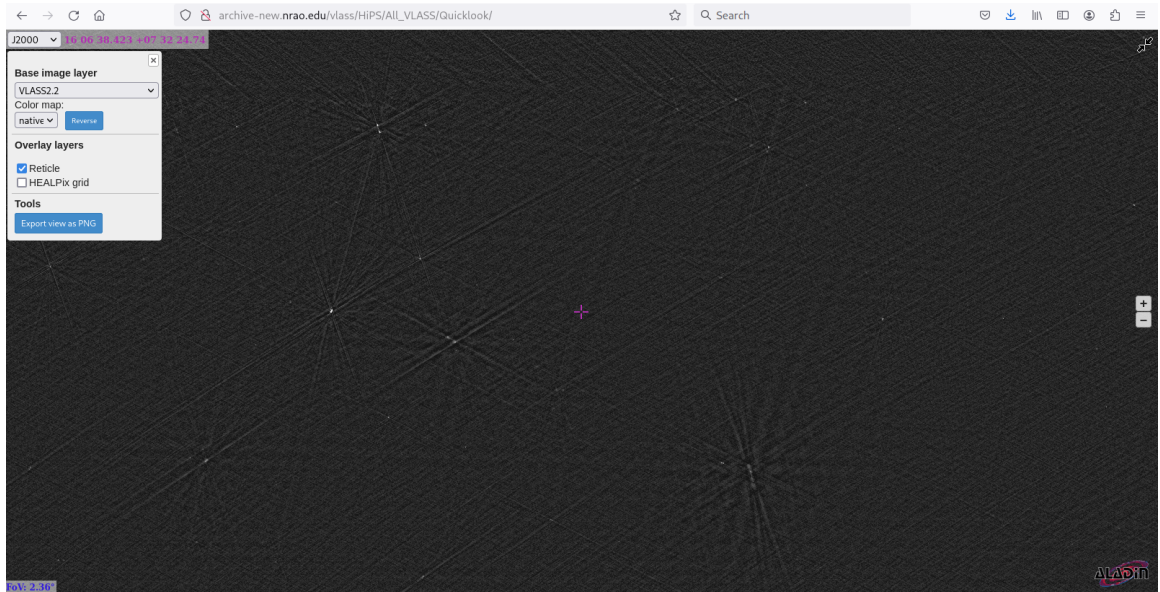
☒ Reticle
☐ HEALPix grid

Tools

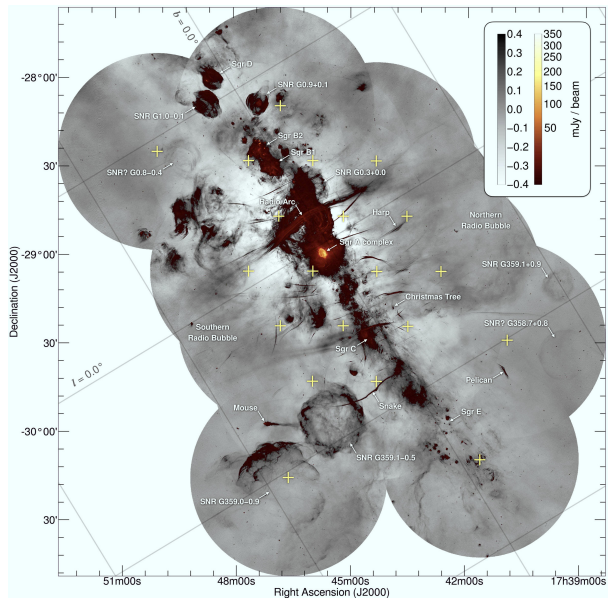
Export view as PNG

ALADIN

Field of View: 2.36°



Heywood etl., The 1.28 GHz MeerKAT Galactic Center Mosaic

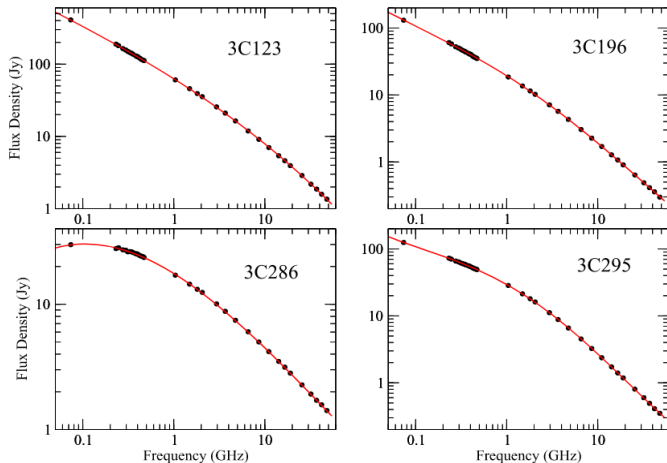


¿Qué objetos son observables en radio?

- Radiación térmica: planetas y lunas del sistema solar.
- El sol.
- Líneas espectrales de átomos, moléculas e iones en el medio interestelar.
- Radiogalaxias, cuasares.
- Pulsares.
- Fast Radio Bursts.
- Fondo de microondas.

Tipos de señales: radiación de continuo

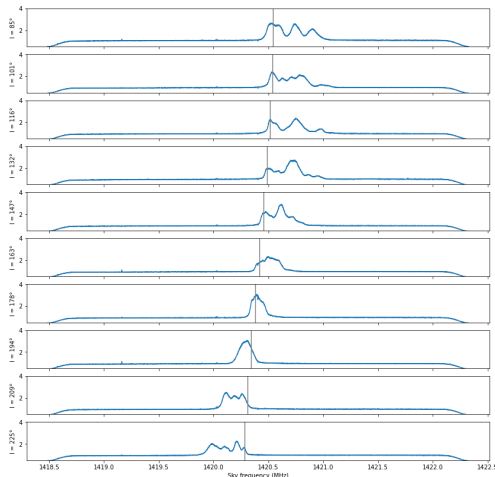
Ruido Gausiano en todo el espectro.



Perley, Butler, An Accurate Flux Density Scale from 50 MHz to 50 GHz

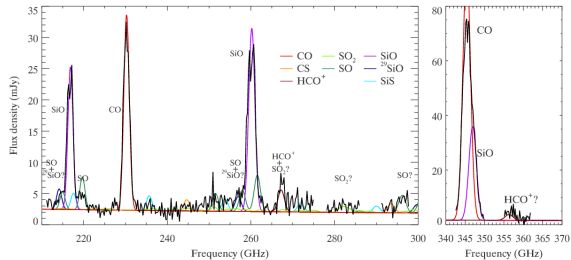
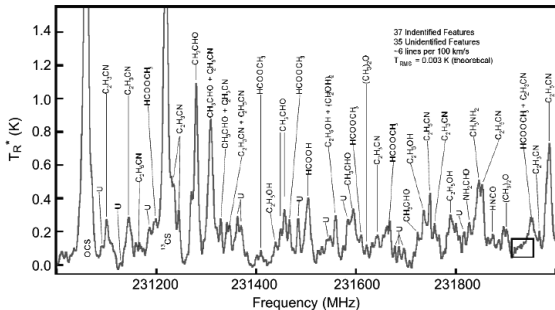
Tipos de señales: líneas espectrales

Ruido Gausiano en una banda estrecha. El ancho de banda está producido por la dispersión de Doppler.



Tipos de señales: líneas espectrales

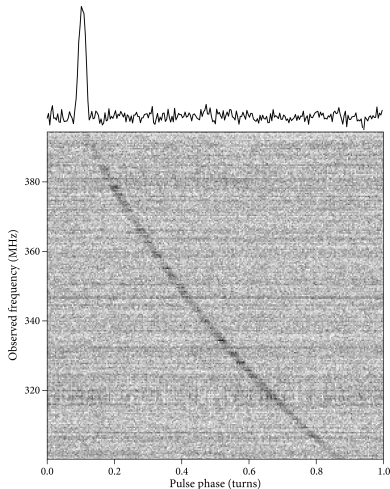
Nube molecular SgrB2(N) y restos de supernova SN 1987A (ALMA)



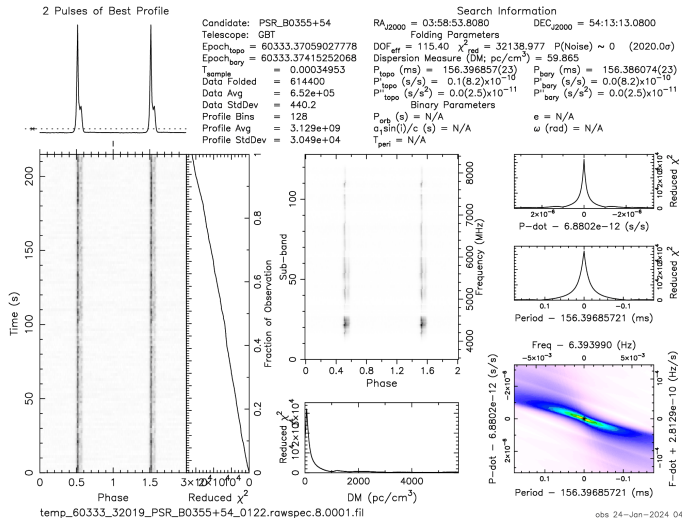
Matsuura etl., ALMA observations of Molecules in Supernova 1987A

Tipos de señales: transitorios

Pulsos breves de ruido de banda ancha. Pulsares y FRBs. Dispersados por el medio interestelar.

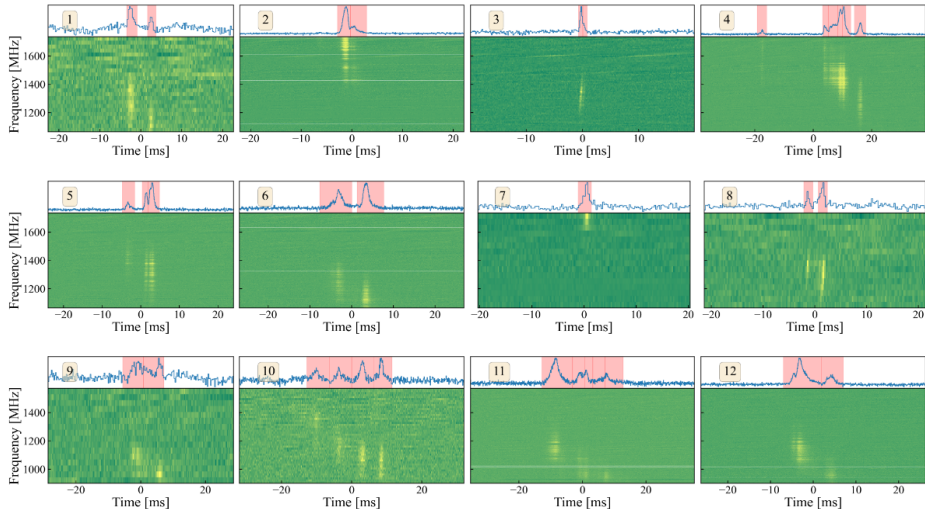


Tipos de señales: transitorios



Tipos de señales: transitorios

Seikh etl., Characterization of the Repeating FRB 20220912A with the Allen Telescope Array



Una ecuación muy importante: la ecuación del radiómetro

$$\text{SNR} = \frac{T_A \sqrt{BT}}{T_{\text{sys}}}$$

- T_A es la temperatura de antena en K: la señal producida en la antena por el objeto observado.
- B es el ancho de banda observado en Hz.
- T es el tiempo observado en s.
- T_{sys} es la temperatura del sistema en K (figura de ruido).

Tipos de instrumentos

- Casi cualquier radiotelescopio moderno es “tipo SDR”: la señal se digitaliza y se procesa en FPGA o GPU.
- Los distintos instrumentos son “software” en el backend.
- Un tema común es la reducción de la cantidad de datos.

Tipos de instrumentos: Espectrómetro

- Mide potencia en cada canal de frecuencia.
- Normalmente basado en FFT.
- Salida: espectro o waterfall (espectro vs. tiempo).
- Ancho de canal depende de la aplicación.
- Caso especial: radiómetro. Solamente un canal de frecuencia.
- Recibe todas las señales dentro del beam de la antena. Se puede hacer una imagen del cielo moviendo el apuntamiento, pero la resolución es mala (salvo antenas muy grandes).
- Dificultad: calibración de variaciones de ganancia del receptor.

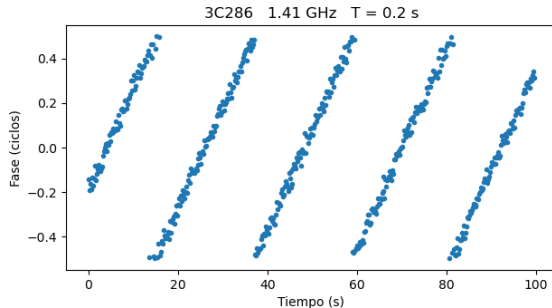
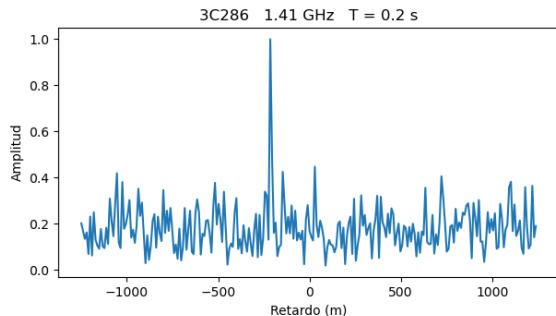
Tipos de instrumentos: Instrumentos para pulsares y FRBs

- Salida: waterfall, con adecuada resolución en tiempo y frecuencia.
- Dedispersión:
 - No coherente. Desplazar en el tiempo cada canal del waterfall.
 - Coherente. Corregir la dispersión antes de obtener el waterfall.
- Para pulsares: folding. Apila y acumula muchos pulsos. Usa/detecta efemérides del pulsar.
- Para FRBs: detección de transitorios. Algoritmos clásicos / basados en machine learning.
- Algunos experimentos necesitan un buen reloj (GPS o atómico).

Tipos de instrumentos: Correlador

- “Compara” la señal recibida por dos o más antenas.
- Concepto importante: un retardo en el dominio del tiempo es equivalente a una pendiente lineal de fase vs. frecuencia en el dominio de frecuencia.
- Para cada par de antenas: número complejo en función del tiempo y de la frecuencia/retardo.
- La fase del número complejo contiene información sobre la dirección de llegada de la señal.
- Ventajas respecto a una sola antena:
 - Mejor resolución espacial. Síntesis de apertura. “Telescopio virtual”.
 - Límite de integraciones largas dado por estabilidad en fase. Normalmente mejor que estabilidad en ganancia.

Observación de 3C286 con dos antenas del Allen Telescope Array y 30.72 MHz de ancho de banda.



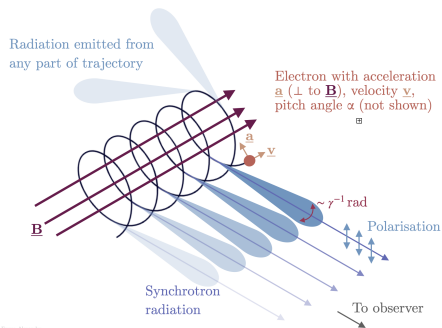
Para obtener el mismo SNR con dos antenas de 1.2 m, hace falta integrar $(6.1/1.2)^4 = 668$ veces más tiempo.

Tipos de instrumentos: beamformer

- Suma la señal de varias antenas.
- Hay que alinear los retardos y las fases de las antenas antes de sumar.
- Puede usarse con cualquiera de los instrumentos anteriores.
- Correlador y beamformer son dos caras de la misma moneda:
 - La salida de un correlador se puede utilizar para sintetizar un espectrómetro con beamformer con beams en cualquier dirección en postproceso.
 - Un beamformer forma un beam en una dirección concreta (o varias) en tiempo real.

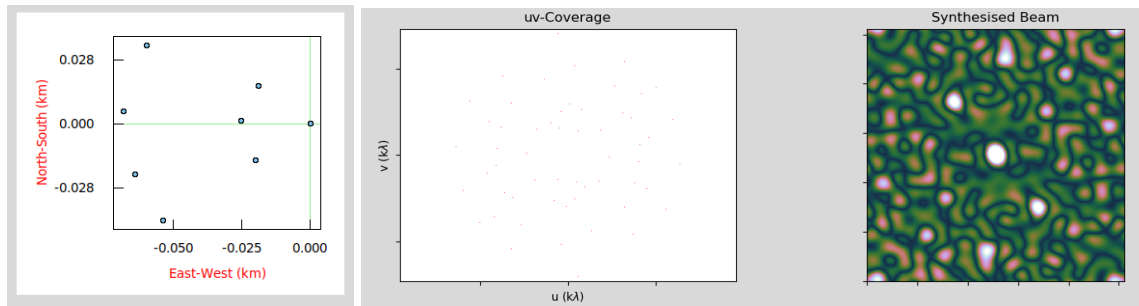
Tipos de instrumentos: polarímetro

- Mide la polarización de la señal de radio: parámetros de Stokes.
- Puede usarse con cualquiera de los instrumentos anteriores.
- La polarización suele dar información sobre campos magnéticos.
- Incluso cuando no se estudia la polarización, un radiotelescopio recibe en dos polarizaciones ortogonales (vertical/horizontal o circular), y se usan ambas (se gana $\sqrt{2}$ de SNR).



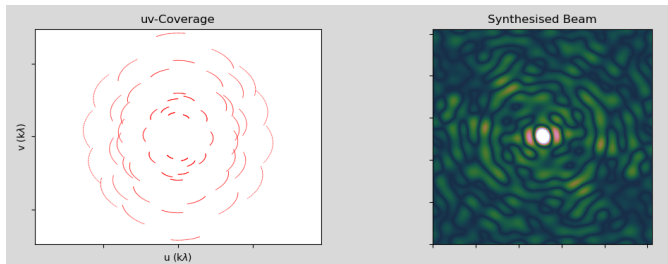
- El beamwidth de una antena es inversamente proporcional a su tamaño.
- Si hacemos agujeros a una antena grande, aparecen sidelobes, pero el beamwidth no cambia mucho.
- Si seguimos haciendo muchos agujeros, nos quedamos con unas antenas pequeñas distribuidas en un área grande. Podemos hacer beamforming: el beamwidth del haz sintético es como el de la antena grande, pero hay muchos sidelobes.
- Como la tierra rota, las posiciones aparentes de las antenas pequeñas cambian, y “rellenan” parte del área de la antena grande.
- Usa la salida de un correlador: se puede sintetizar una imagen “haciendo beamforming en cada punto de la imagen” (en la vida real se hace con una FFT).

Ejemplo con el SMA. Sin rotación terrestre (observación instantánea).

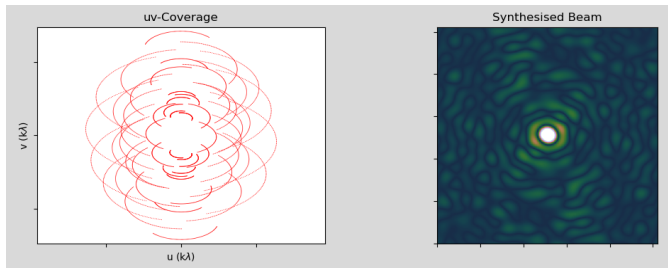


(Software friendlyVRI)

Con 3 horas de rotación terrestre.

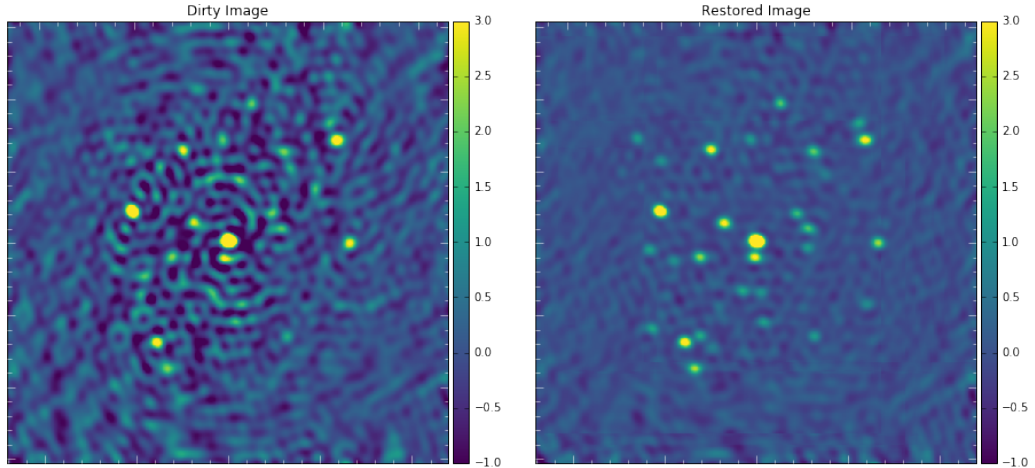


Con 8 horas de rotación terrestre.



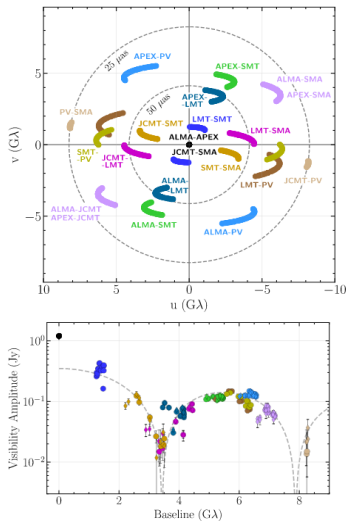
Deconvolución / CLEAN

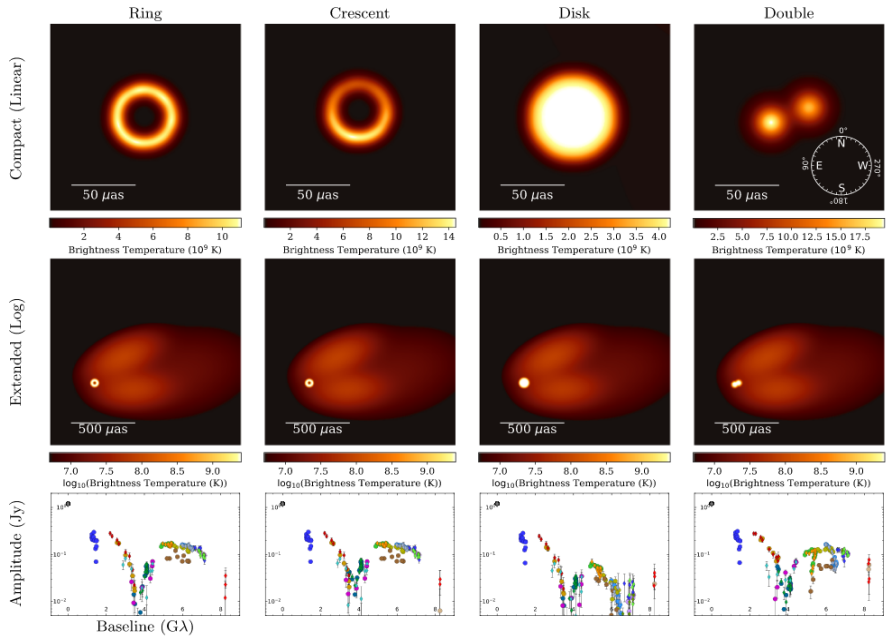
Elimina gran parte de los lóbulos laterales, produciendo una imagen “limpia”.



Análisis de datos interferométricos (visibilidades)

First M87 Event Horizon Telescope Results





¡Gracias!

