EPISTEMUS
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SALUD
ISSN: 2007-8196

Desde la Academia

EPISTEMUS 2024; Núm. 36, Vol. 19

DOI: https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i36.301
www.epistemus.unison.mx

Radioastronomía, el universo visto con otros ojos

MARÍA EUGENIA CONTRERAS[1], LORENZO OLGUÍN[2]

RESUMEN

Ya que nuestros ojos pueden ver solamente en un rango específico de longitudes de onda del espectro electromagnético, llamada región visible, el estudio del Universo en este intervalo particular es muy común e intuitivo para los humanos. Sin embargo, es posible descubrir nuevas estructuras y fenómenos al observar los mismos objetos celestes en longitudes de onda diferentes a las visibles. En este trabajo se describe una interesante, aunque poco conocida, rama de la astronomía, la radioastronomía. Se presenta algo de historia, técnicas de observación y descubrimientos recientes y sorprendentes logrados por los radioastrónomos.

Palabras clave: *Longitud de onda, Espectro Electromagnético, Antena, Arreglos de Antenas, Radioastronomía*

[1]Dra. en Física (Astronomía), Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, eugenia.contreras@unison.mx, Orcid https://orcid.org/0000-0001-5684-303X.
[2]Dr. en Física (Astronomía), Departamento de Investigación en Física, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México, lorenzo.olguin@unison.mx, Orcid https://orcid.org/0000-0001-7458-0405.

Autor de Correspondencia: María Eugenia Contreras, eugenia.contreras@unison.mx

Recibido: 07 / 03 / 2023
Aceptado: 06 / 11 / 2023
Publicado: 22 / 01 / 2024

Cómo citar este artículo:

Contreras Martínez, M. E., & Olguín Ruiz, L. Radioastronomía, el universo visto con otros ojos. EPISTEMUS, 19(36), e3601301. https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i36.301

Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Radio Astronomy, the Universe seen with other Eyes

ABSTRACT

Since our eyes can only see at a specific range of electromagnetic spectrum wavelengths (called visible region), the study of the Universe in this particular range is a widespread and intuitive activity for humans. However, it is possible to discover new structures and phenomena by observing the same celestial objects at wavelengths that are different from the visible ones. This work describes an interesting, although not well-known, branch of astronomy, the radio astronomy. This paper presents some history, observing techniques, and recent astonishing discoveries achieved by radio astronomers.

Key words: *Wavelength, Electromagnetic Spectrum, Antenna, Antenna Arrays, Radio Astronomy.*

Introducción

La astronomía es una ciencia que estudia los cuerpos y fenómenos celestes que se encuentran en el Universo principalmente a través de la luz que llega hasta nosotros. Desde tiempos remotos, nuestros ojos han sido el principal instrumento para detectar esta luz, formalmente llamada radiación electromagnética. Debido a las condiciones en que nuestro planeta se formó, los ojos humanos evolucionaron de tal forma que la radiación que son capaces de captar es la llamada *luz visible*. Sin embargo, la radiación electromagnética está formada por una infinidad de "tipos de luz". Este hecho se puede notar claramente al observar un arcoíris en el cielo, pues la luz blanca se descompone en diferentes colores. Estos colores se diferencian entre sí por su longitud de onda, que no es más que la distancia entre dos crestas (o dos valles) consecutivas, la cual se denota por la letra griega "lambda", λ. De hecho, hay muchos colores que nuestros ojos no son capaces de detectar. Así, la luz visible realmente es un conjunto de ondas electromagnéticas con diferente longitud de onda o "color" y en general al conjunto de todas las longitudes de onda que componen la luz, se le llama espectro electromagnético. Este espectro va desde las longitudes de onda muy cortas (nanómetros) correspondientes a los rayos-X y rayos gamma, hasta longitudes de onda largas (metros) correspondientes a la región de radio.

La astronomía estudia lo que ocurre en el Universo detectando la luz en varios intervalos de longitud de onda a lo largo del espectro electromagnético. Actualmente se habla de la astronomía en rayos-X, la astronomía visible, la astronomía infrarroja, etc., en particular la astronomía en radio, o radioastronomía, será el centro de este artículo.

ENTONCES, ¿QUÉ ES LA RADIOASTRONOMÍA?

Cuando se piensa en la palabra radioastronomía, lo primero que viene a la mente es: ¿se pueden escuchar los objetos celestes? Y esta es una pregunta razonable, pues las longitudes de onda a las que transmite la radio que escuchamos cotidianamente son cercanas a las que se utilizan para estudiar los astros en radioastronomía. Así que se define a la **radioastronomía** como la ciencia que estudia los objetos y fenómenos celestes en longitudes de onda larga que van desde aproximadamente 0.3 milímetros hasta algunos metros.

Un poco de historia

La radioastronomía nació como algunos otros descubrimientos en ciencia, por casualidad. La compañía telefónica Bell encargó al físico Karl Jansky, que trabajaba para ellos como ingeniero eléctrico, la tarea de estudiar las fuentes de interferencia estática que pudieran afectar las comunicaciones transatlánticas que planeaba realizar. Jansky contaba con una antena rotatoria (Figura 1) para estudiar el cielo en diferentes direcciones acimutales.

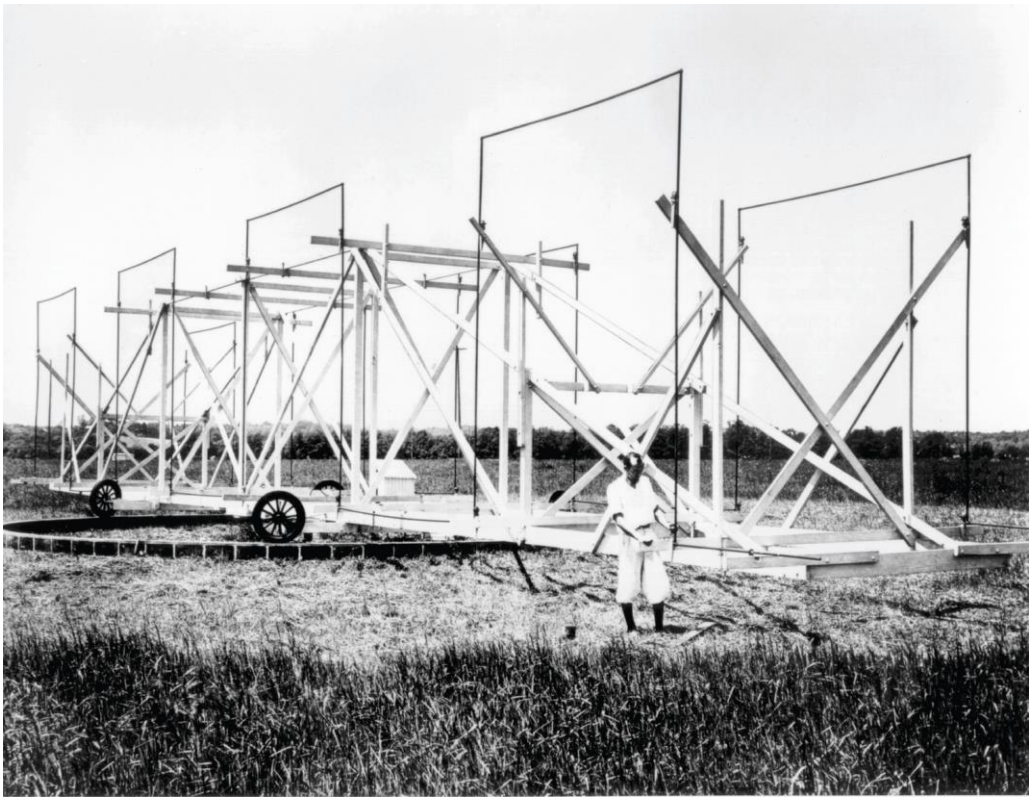

Figura 1. Karl Jansky y la antena rotatoria con la que en 1931 detectó un ruido de interferencia estática mientras trabajaba para la compañía telefónica Bell.

Crédito: National Radio Astronomy Observatory (NRAO)/Associated Universities Inc. (AUI) /National Science Foundation (NSF)

Después de varios meses de estudio y análisis de sus datos, encontró que el ruido de interferencia detectado lo podía clasificar en tres grupos: 1) tormentas eléctricas locales o cercanas, 2) tormentas eléctricas lejanas, y 3) una estática débil y estable, tipo siseo, cuyo origen era desconocido. Este último grupo de datos mostraba un comportamiento caracterizado por su estabilidad, periodicidad de 23 horas con 56 minutos y localización en el cielo muy cercana a la

posición del Sol. Por esto, Jansky [1] sugirió que este siseo estaba relacionado con el Sol. Sin embargo, después de más de un año de seguimiento y análisis de este ruido, Jansky concluyó que la interferencia provenía de más allá del sistema solar, más precisamente del centro de nuestra Galaxia [2,3]. Actualmente Karl Jansky es reconocido como el padre de la radioastronomía y de hecho, se le llama "Jansky" a la unidad básica de medida para el flujo de energía recibida a longitudes de onda de radio en honor a él.

¿CÓMO SE OBSERVA EN RADIO?

Ya que la radiación es de una longitud de onda larga, el instrumento que se utiliza para detectar o recibir las ondas de radio es una antena, o radiotelescopio, que generalmente tiene una forma parabólica. Esta antena tiene un detector llamado radiómetro, que capta las ondas provenientes del objeto astronómico que se estudia; la radiación recibida es después amplificada electrónicamente y enviada a una computadora para su análisis. Un aspecto muy interesante de la observación en radio es que la señal que llega a la computadora no es una imagen, sino un conjunto de números que después de ser procesados son convertidos en lo que se llaman "mapas". Estos mapas con colores codificados, que representan la cantidad de radiación recibida desde el objeto astronómico, son el equivalente en radio de las imágenes obtenidas a longitudes de onda en el visible.

Observaciones

La observación se puede realizar de dos maneras: 1) con solamente una antena, y 2) con varias antenas colocadas en un arreglo.

1) Antenas Individuales

Al observar con una sola antena, ésta puede ser móvil o fija; las antenas móviles más grandes que existen actualmente tienen una diámetro de 100 m y se encuentran en Alemania y Estados Unidos (Figura 2).

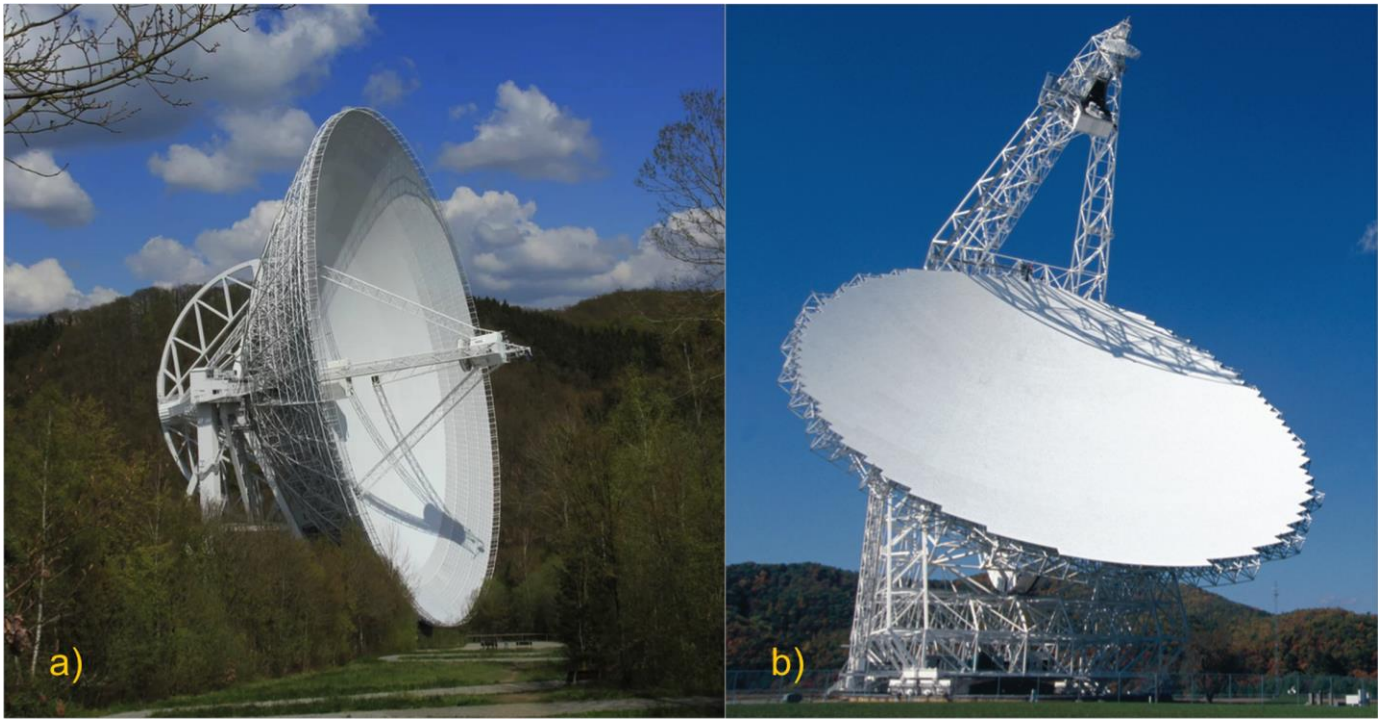

Figura 2. Antenas de 100 m de diámetro. a) Effelsberg, Alemania, b) Green Bank, Virginia del Oeste, Estados Unidos. Crédito: a) N.Junes/Max-Planck Institute für Radioastronomie(MPIfR); b) National Radio Astronomy Observatory (NRAO)/ /Associated Universities Inc. (AUI)/National Science Foundation (NSF).

Actualmente la antena fija más grande del mundo se encuentra en una cuenca natural en las montañas del sur de China y tiene un diámetro de 500 m (Figura 3).

Figura 3. Radiotelescopio más grande del mundo (FAST) con 500 m de diámetro en Guizhou, China. Crédito: Xinhua.

Este radiotelescopio es llamado *FAST* por sus siglas en inglés, Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope, o *Yiantan* en chino, que quiere decir "El ojo del Mundo". Esta antena superó en diámetro a la que se encontraba en Arecibo, Puerto Rico, hasta noviembre del 2020 cuando fue desmantelada debido a un par de accidentes que derrumbaron su receptor central; la antena contaba con un diámetro de 305 m.

2) Arreglos de Antenas

Cuando se tienen varias antenas, éstas se colocan en un cierto arreglo geométrico que optimice la observación. Todas las antenas del arreglo observan el mismo objeto, pero la radiación recibida se analiza por pares de antenas, es decir, las señales recibidas por dos antenas se combinan electrónicamente y da como resultado un número, a esta técnica se le llama *interferometría*. Cada par de antenas da un punto que representa una cantidad de energía, y así, al reunir los puntos de todos los pares posibles y procesarlos en computadora se formará el mapa que representará toda la energía, o radiación recibida desde el objeto en estudio. Los arreglos pueden tener muchas antenas y éstas en general pueden colocarse a diferentes distancias moviéndolas sobre vías. Esta movilidad de las antenas permite que la observación tenga la resolución, o "detalle", deseada por el observador, es decir, dependiendo de lo que se quiera saber acerca del objeto, será el detalle con el que se realice la observación. Al observar con los arreglos de antenas que realizan interferometría, se obtiene el equivalente a una observación con una antena mucho más grande que cualquiera de las que forman el arreglo, dando así una resolución o detalle sumamente fino del objeto celeste de interés. Por lo tanto, entre más separadas se encuentren las antenas, se obtendrá mayor resolución.

Actualmente hay varios arreglos de antenas localizados en diferentes países. Uno de los más utilizados por los radioastrónomos es el *Karl G. Jansky Very Large Array* (VLA) que se ubica en las planicies de San Agustín en Nuevo Mexico, Estados Unidos. El VLA cuenta con 27 antenas de 25 m de diámetro que están colocadas de tal manera que forman una "Y" (Figura 4).

l

Figura 4. Interferómetro Very Large Array, VLA, en Nuevo México, Estados Unidos, que cuenta con 27 antenas colocadas en una forma de Y. Crédito: NRAO/AUI/NSF.

La distancia máxima entre las antenas más separadas puede variar entre 1 y 36 km y observa el cielo en longitudes de onda entre 6 mm y 90 cm. En su configuración más extendida el arreglo es equivalente a una sola antena de 36 km de diámetro.

En el 2013 un arreglo de 66 antenas fue inaugurado en las altas montañas de Chile, en el Llano de Chajnantor en el Desierto de Atacama, a 5000 m de altitud. El arreglo es llamado *Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array* (ALMA) y es una colaboración internacional donde participan Estados Unidos, Chile, la Unión Europea, Japón, Taiwan y Canadá. El interferómetro cuenta con 54 antenas de 12 m de diámetro y 12 antenas de 7 m de diámetro, que observan en longitudes de onda entre 0.3 mm y poco menos de 1 cm, logran una máxima resolución equivalente a la que tendría una antena de 15 km, Figura 5.

Figura 5. ALMA, 66 antenas colocadas a 5000 m de altitud en el Llano de Chajnantor en las montañas de Chile. Crédito: C. Padilla, NRAO/AUI/NSF.

Algunos arreglos también muy utilizados son: el *enhanced Multi Element Remotely Linked Interferometer Network* (eMERLIN) en el Reino Unido, el *Australia Telescope Compact Array*

(ATCA) en Australia y el *Westerbork Synthesis Radio Telescope* (WSRT) en los Países Bajos, entre otros.

En general estos arreglos tienen separaciones entre sus antenas que van de unas decenas de metros a unas decenas de kilómetros. Sin embargo, ¡es posible realizar interferometría entre antenas que estén separadas cientos e incluso miles de kilómetros! Esta es la llamada Interferometría de Base Muy Larga (VLBI por sus siglas en inglés). Para realizar estas observaciones se utilizan antenas colocadas a lo largo de un país o incluso en varios países. Por ejemplo, el *Very Large Baseline Array* (VLBA) de Estados Unidos cuenta con 10 antenas ubicadas a lo largo de todo su territorio, desde Hawai (una) hasta las Islas Vírgenes (una). La máxima distancia entre antenas es de 8 600 km aproximadamente, Figura 6.

Figura 6. Antenas que forman el Interferómetro, VLBA, colocadas a lo largo de todo Estados Unidos. Crédito: NRAO/AUI.

El *European VLBI Network* (EVN) cuenta con 24 antenas, 16 distrubuídas en toda Europa, 4 en China, 3 en Corea del Sur y una en Sudafrica. Este arreglo logra una distancia máxima entre antenas de un poco más de 12 000 kilómetros.

El arreglo *Event Horizon Telescope* (EHT) cuenta con 11 antenas localizadas en diferentes países, entre ellos México, donde se alcanza una máxima separación entre antenas de aproximadamente 10 700 kilómetros. La antena de 50 m de diámetro con la que nuestro país participa en este arreglo se encuentra en la Sierra La Negra en el estado de Puebla, muy cerca del Pico de Orizaba, está a cargo del Instituto Nacional de Óptica y Electrónica (INAOE) y la Universidad de Massachusetts (UMass).

Así, la observación interferométrica puede realizar observaciones sumamente detalladas de distintos objetos en el Universo.

¿QUÉ OBJETOS CELESTES SE OBSERVAN Y ESTUDIAN EN RADIOASTRONOMÍA?

Una gran ventaja al realizar observaciones en longitudes de onda de radio es que, a diferencia de la radiación en el visible, la radiación emitida en radio (sobre todo la centimétrica) no se ve afectada por el material interestelar que existe entre el observador y el objeto de interés incluyendo la propia atmósfera terrestre. Por esto, los radioastrónomos pueden estudiar todo tipo de objetos y fenómenos astronómicos interesantes, desde la formación de estrellas hasta estrellas que se encuentran en las etapas finales de vida: nebulosas planetarias, supernovas y agujeros negros. Incluso, el origen mismo de nuestro Universo puede ser estudiado por un radioastrónomo al examinar la radiación cósmica de fondo y los llamados cuásares, siendo éstos últimos uno de los objetos observables más distantes y "antiguos" que se pueden estudiar. Además, se realiza la búsqueda seria y científica de inteligencia extraterrestre. Se dará una revisión muy breve

solamente de dos tipos de objetos celestes que se estudian en radioastronomía, ya que cada uno de los objetos merecería una publicación propia. Los objetos que se describirán son los extremos en cuanto a escala de tamaño y de evolución estelar: las estrellas en formación y los agujeros negros en galaxias activas y por supuesto sin olvidar nuestra propia galaxia, la Vía Láctea.

Protoestrellas o estrellas en formación

Las estrellas nacen en nubes de gas molecular que son obscuras y opacas si se les observa en luz visible. Sin embargo, para las longitudes de onda de radio estas nubes son prácticamente transparentes, por lo que se ha logrado detectar lo que sucede dentro de ellas. Estas observaciones apoyan la teoría de formación estelar más aceptada al día de hoy y que fue propuesta por Shu, Lizano y Adams [4]. Esta teoría nos dice que en aquellas regiones de la nube molecular donde la densidad del gas es alta, éste comienza a contraerse por efecto de la fuerza gravitacional y se va acumulando en una pequeña región central. A esta pequeña acumulación central de gas se le llama *protoestrella* y se puede decir que la estrella se ha comenzado a formar. Al pasar el tiempo, el gas sigue cayendo gravitacionalmente hacia la protoestrella pero por efectos de la rotación de la nube molecular, éste no cae directamente sino que se va acumulando alrededor de ella en una forma bastante plana, se les llama entonces *discos circunestelares*. En este disco nuevamente se pueden formar pequeñas acumulaciones de gas y polvo que darán lugar a los llamados protoplanetas. Estos planetas en formación al ir girando alrededor de la protoestrella seguirán acumulando material dejando así surcos con poco o nada de gas, se refiere entonces a estos discos como *discos protoplanetarios*. De hecho, el interferómetro ALMA con observaciones a longitudes de onda cercanas a un milímetro, ha detectado tanto discos circunestelares como discos protoplanetarios con posibles protoplanetas en él, como lo muestran:

ALMA Partnership, Brogan, Pérez, Hunter, Dent et al. [5] e Isella, Benisty, Teague, Bae, Keppler et al. [6], ver Figura 7.

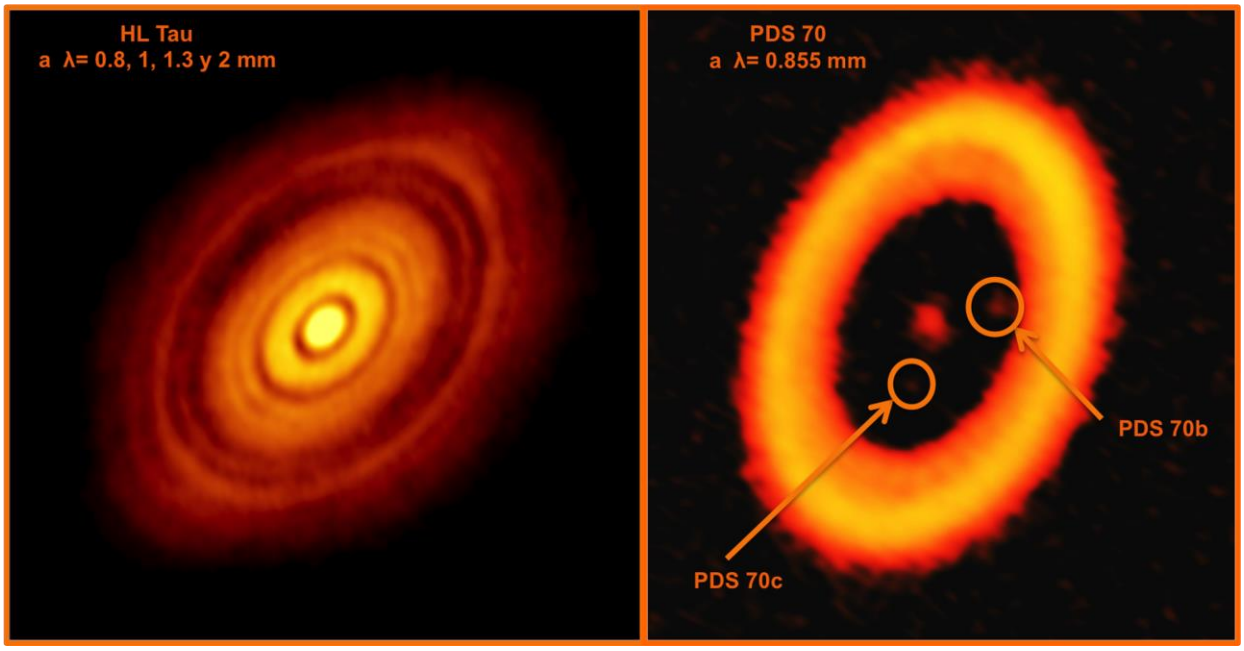

Figura 7. Izquierda: Primera detección de un disco protoplanetario en la estrella HL Tau obtenida con ALMA. Se observan surcos obscuros, interpretados como material "barrido" por uno (o más) posibles planetas en formación. Derecha: Imagen de un disco circunestelar en la estrella PDS 70, donde se han detectado por primera vez directamente dos probables protoplanetas: PDS b y PDSc. Crédito: Izq.: C. Brogan y B. Saxton (NRAI/AUI/NSF); Der.: A. Isella, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

Galaxias

Las galaxias son conjuntos de miles de millones de estrellas, muchas de ellas contienen también gas y polvo, que forman estructuras enormes, pero que a pesar de que cuentan con tantas estrellas, son débiles al ser observadas en luz visible pues están muy lejos de nosotros. Aún así, es posible observarlas, estudiarlas y encontrar fenómenos muy interesantes que ocurren en ellas,

sobre todo en la región central o núcleo. Algunas galaxias presentan un núcleo que es tan brillante que no es posible explicarlo simplemente como la suma de la radiación emitida por todas las estrellas que contiene, a este tipo de galaxias se les llama Galaxias con Núcleo Activo (AGN por su siglas en inglés, Active Galactic Nuclei) o simplemente galaxias activas. El núcleo de estas galaxias activas tiene un tamaño muy pequeño comparado con el de la galaxia completa, siendo en general aproximadamente del tamaño de nuestro sistema solar. Ahora, ¿Cómo puede generarse tanta radiación electromagnética en esta "pequeña" región?

La explicación es que existe un objeto supermasivo que provoca que el material a su alrededor se mueva en órbitas elípticas y a grandes velocidades. La idea original se remonta a los años 50, 60 y principios de los 70's, con los trabajos pioneros de Woltjer [7], Salpeter [8], Bardeen [9] y Burbidge [10]. Así, para finales de los años 70 y 80's, la idea fue tomando forma con trabajos como los de Ginzburg y Ozernoy [11], Dibai [12] y Cavaliere [13], entre otros. Todos estos trabajos apuntan hacia un agujero negro supermasivo, de entre millones a miles de millones de veces la masa del Sol, localizado en ese pequeño volumen de espacio central.

La atracción gravitacional ejercida por el agujero negro provoca que se forme un disco de material a su alrededor que rota y se acelera moviéndose en trayectorias espirales al ser arrastrado hacia él, emitiendo enormes cantidades de radiación, a este disco se le llama también disco de acreción o acrecentamiento. En algún momento, parte del material del disco se integra al agujero negro y parte es lanzada y acelerada en dirección perpendicular a él. Este material es eyectado y acelerado en forma de chorros, o "jets", que alcanzan velocidades cercanas a la velocidad de la luz, es decir velocidades relativistas, emitiendo gran cantidad de radiación. La radiación emitida por los chorros es llamada radiación sincrotrón y es muy particular, pues está concentrada en una

pequeña región que es más fácilmente detectada si apunta directamente hacia el observador. En la Figura 8 podemos ver una representación artística de lo veríamos si pudiéramos acercarnos a un agujero negro.

Figura 8. Imagen artística donde se puede apreciar la esfera obscura central que es la predicción teórica en donde se ubica ese pequeño volumen de espacio que es el agujero negro. Crédito: European Southern Observatory (ESO).

Estos chorros de material pueden alcanzar grandes distancias y formar estructuras enormes, alargadas y brillantes que son detectadas en longitudes de onda de radio. Con el paso del tiempo, el modelo de un agujero negro supermasivo central ha sufrido modificaciones para explicar los diferentes tipos de galaxias activas y sus diferentes estructuras. De hecho, se ha buscado un modelo unificador que pudiera explicar todas, o casi todas ellas, como lo describe Nezter [14].

La Figura 9 muestra una composición de la galaxia llamada Hércules, observada tanto en longitudes de onda en el visible como en radio; es posible notar la gran extensión que pueden alcanzar los chorros lanzados perpendicularmente al disco de acreción alrededor del agujero negro.

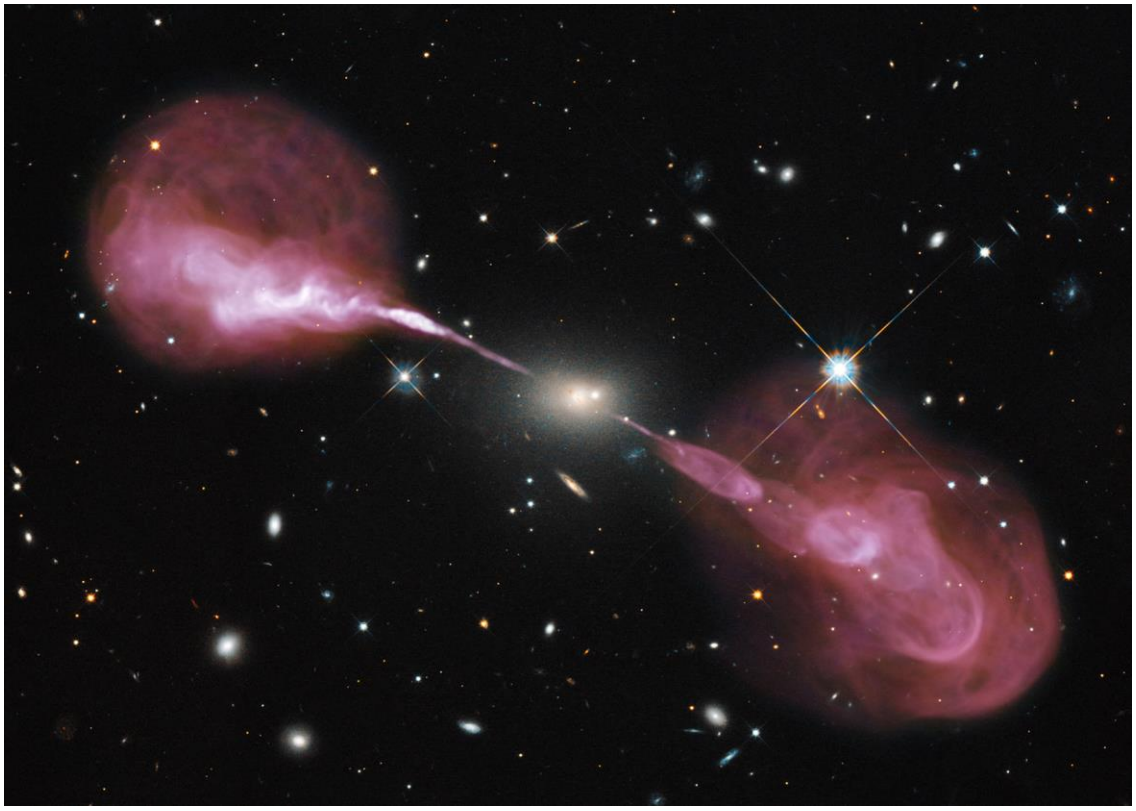

Figura 9. Imagen compuesta de la Galaxia Hercules (3C348). Se observa la galaxia en luz visible (color blanco) obtenida por el telescopio espacial Hubble. Los grandes lóbulos (tonos rosa) son una imagen de la misma galaxia en longitudes de onda de radio. Crédito: S. Baum (NASA/ESA) and C. O'Dea (RIT), R. Perley and W. Cotton (NRAO/AUI/NSF), and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

En el año 2022, el arreglo Event Horizon Telescope (EHT) mostró por primera vez la imagen de "la sombra" de un agujero negro, lo cual es un gran logro pues por ser objetos de donde incluso la luz no escapa, nunca había sido posible "observarlos directamente" y hasta entonces sólo había sido posible detectar los efectos en el material a su alrededor. El agujero negro observado por el EHT a una longitud de onda de 1.3 mm es el que se encuentra en el centro de la galaxia M87, para el que el Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, Alberdi, Alef, Asada et. al. [15,16,17] estimaron una masa de aproximadamente 6 mil millones de veces la masa del Sol, Figura 10.

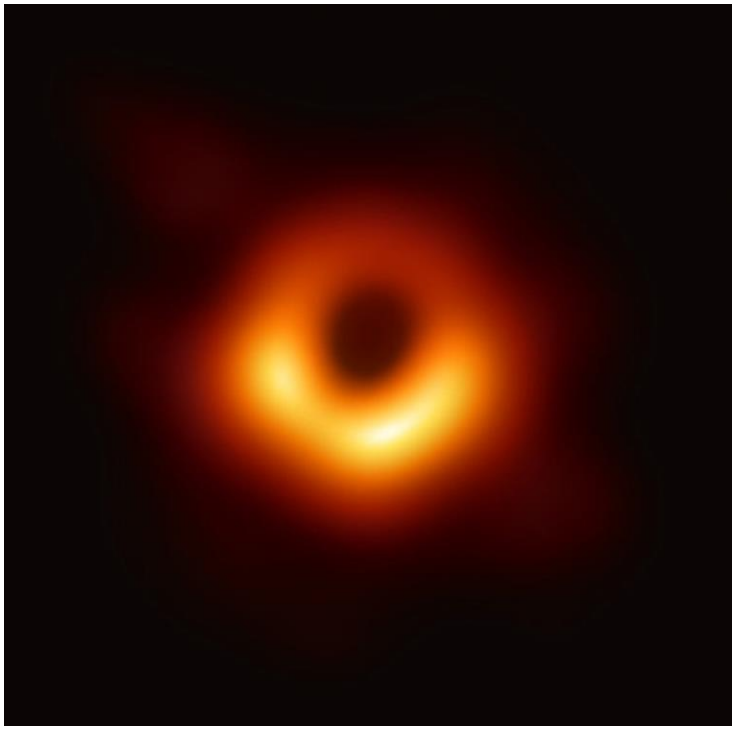

Figura 10. Imagen obtenida por el EHT a λ=1.3 mm donde por primera vez es posible observar un agujero negro supermasivo, el de la Galaxia M87. Crédito: Event Horizon Telescope Collaboration.

La Vía Láctea

¿Qué pasa en el caso de nuestra propia galaxia? ¿Cómo es la región central? ¿Existe también un agujero negro supermasivo en su núcleo? La respuesta a estas preguntas la han buscado los radioastrónomos utilizando los grandes arreglos de antenas mencionados anteriormente. Después de la detección de la "estática" proveniente del centro de la Vía Láctea realizada por Karl Jansky, Grote Reber (considerado el segundo radioastrónomo formal después de Jansky) dedicó sus estudios a la búsqueda y confirmación del origen de ésta. Y así, en sus trabajos, Reber [18, 19, 20] confirmó la detección y distribución de la emisión en radio, encontrando un máximo principal localizado en la constelación de Sagitario. A este máximo principal se le denominó Sagitario A* y es considerado hasta el día de hoy el centro de nuestra Galaxia. Al inicio de los años 70's, Lynden-Bell y Rees [21] propusieron que existía un agujero negro en el centro de nuestra propia Galaxia y que por lo tanto no solamente las galaxias activas poseían uno. Ya para los años 80's esta idea era muy aceptada, pues los estudios en varias longitudes de onda desde los rayos-X hasta las ondas de radio apuntaban claramente a ello, como lo presentan el compendio de Hazard y Milton [22] y los trabajos de Genzel y Townes [23], Genzel, Hollenbach y Townes [24] y más recientemente Ghez, Duchêne, Matthews, Hornstein, Tanner et al. [25], Revnivtsev, Churazov, Sazonov, Sunyaev, Lutovinov et al. [26] y Lu, Krichbaum, Roy, Fish, Doeleman et al. [27], entre otros. De hecho, hasta hace apenas unos años, los radioastrónomos utilizaron una combinación de observaciones con un arreglo de antenas y de una sola antena para obtener imágenes detalladas de los fenómenos que están ocurriendo en el centro de nuestra Galaxia tal como lo discuten Heywood, Camilo, Cotton, Yusef-Zadeh, Abbott, et al. [28] entre otros, Figura 11.

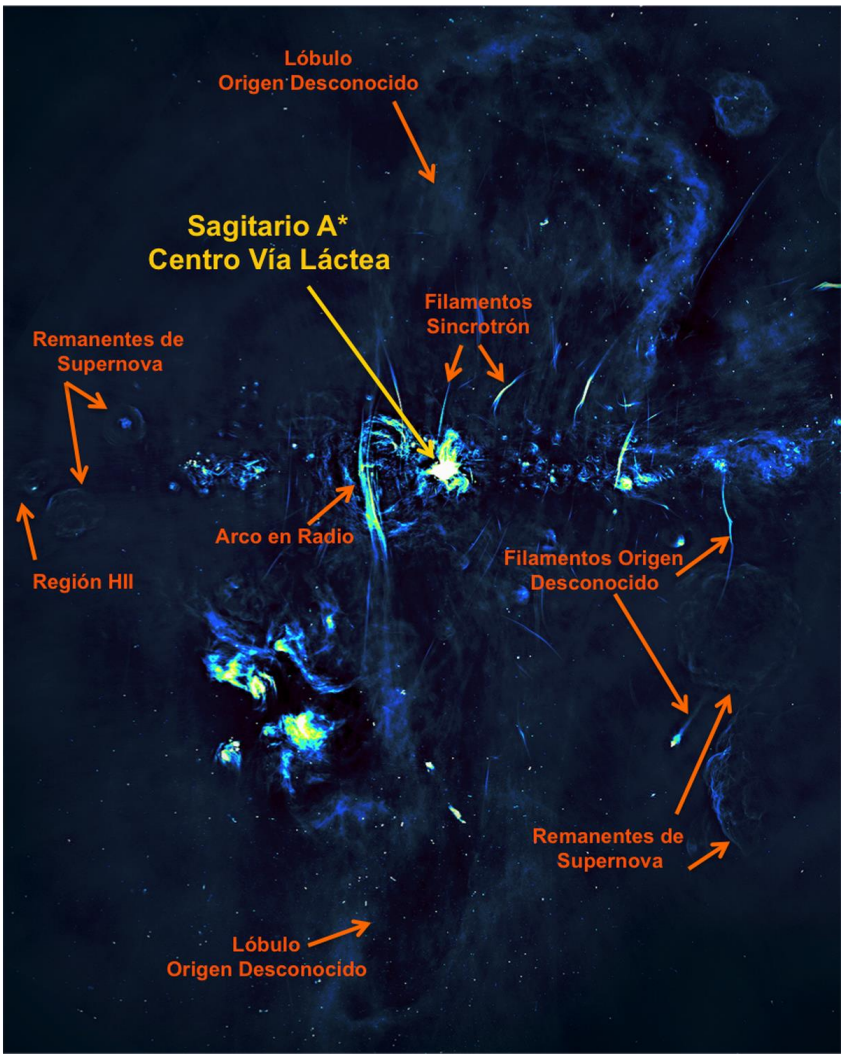

Figura 11. Imagen del Centro de Nuestra Galaxia observada a una λ=23 cm. Se puede observar toda la actividad que está ocurriendo allí. Crédito: I. Heywood, Oxford/SARAO.

En la imagen se observa en tonos azules la emisión en radio a una longitud de onda de 23 cm proveniente tanto de regiones de hidrógeno ionizado, llamadas Regiones HII, como de Remanentes de Supernova, así como de algunos fenómenos que aún no han sido explicados del todo, como filamentos de radiación sincrotrón y lóbulos de gran extensión.

Así, después de muchas observaciones y estudios de las estrellas y las regiones centrales de nuestra galaxia se llegó a la conclusión de que debería existir un agujero negro supermasivo en el centro de nuestra galaxia. Y fue apenas en mayo del 2022, que un grupo internacional de radioastrónomos, Event Horizon Telescope Collaboration, Akiyama, Alberdi, Alef, Algaba, Anantua et. al. [29, 30, 31], mostraron la primera imagen en radio del agujero negro en el centro de nuestra Galaxia obtenida utilizando el arreglo EHT a una longitud de onda de 1.3 mm, Figura 12.

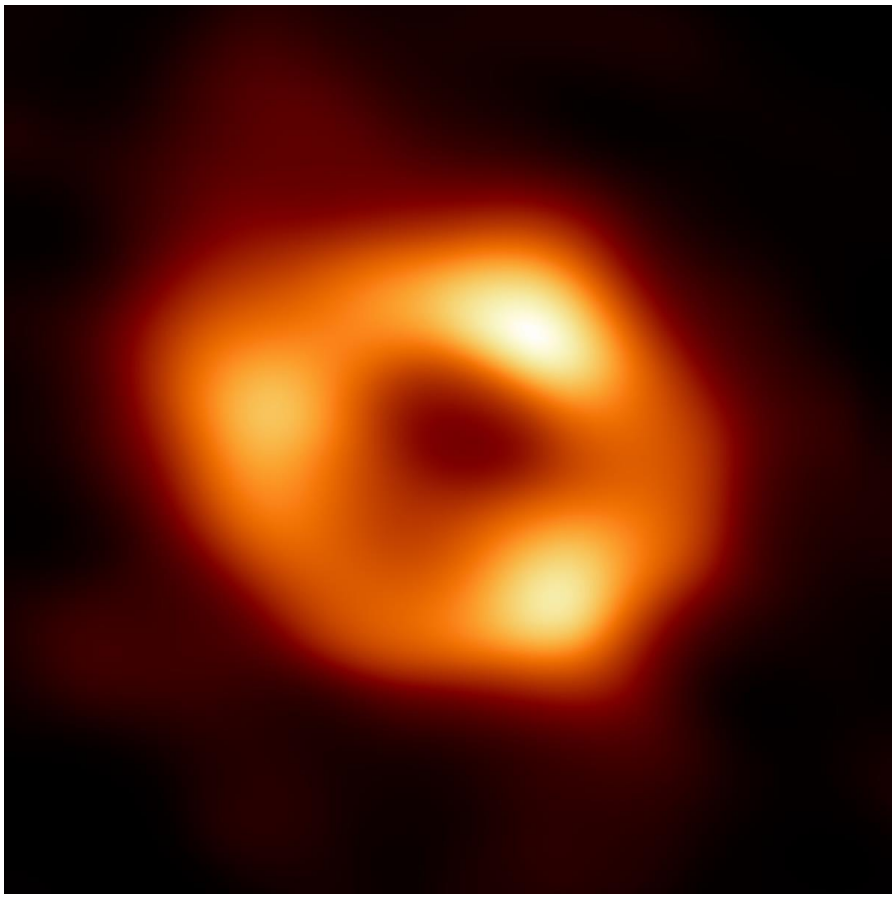

Figura 12. Agujero negro detectado por el EHT en el centro de nuestra Galaxia. Crédito: EHT Collaboration.

Al comparar esta imagen con la del agujero negro en la galaxia M87 (Figura 13) vemos la gran similitud que existe entre ellos, lo cual apoya la idea de que, aunque una galaxia no sea activa es muy probable que exista un agujero negro en su centro, siendo quizá la masa de dicho agujero la diferencia entre cada una de las galaxias.

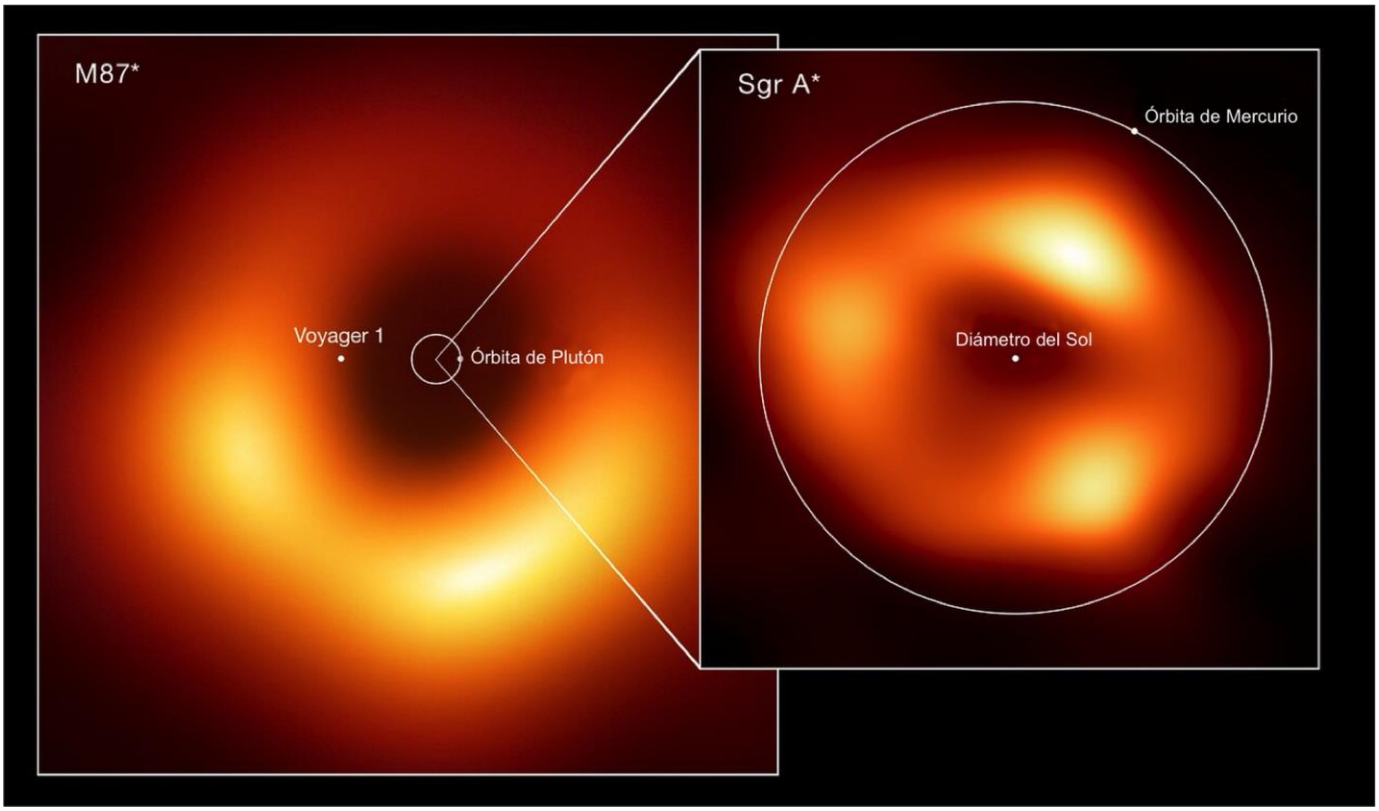

Figura 13. Comparación entre los agujeros negros de la galaxia M87 y nuestra Galaxia. Se muestran las órbitas de Plutón y Mercurio, así como el diámetro del Sol (punto blanco) para tener una mejor visión de las escalas. Crédito: EHT Collaboration.

A manera de resumen de lo descrito en este artículo, podemos decir que los radioastrónomos no escuchan los astros, que la radioastronomía nos permite "ver" y estudiar con otros ojos el

Universo, lo cual complementa lo encontrado al observar a otras longitudes de onda y aunque se ha avanzado mucho en el conocimiento de éste, aún quedan muchas preguntas por contestar.

Referencias

[1] K.G. Jansky, “Directional Studies of Atmospherics at High Frequencies,” *Proc. Inst. Rad. Eng.*, vol. 20, num.12, pp.1920-1932, Diciembre 1932. DOI:10.1109/JRPROC.932.227477

[2] K.G. Jansky, “Radio Waves from Outside the Solar System” , *Nature*, vol. 132, 3323, pp. 66-66, Mayo 1933. DOI:10.1038/132066a0

[3] K.G. Jansky, “Electrical Disturbances apparently of Extraterrestial Origin”, *Proc. Inst. Rad. Eng.*, vol. 21, num. 10, pp. 1387-1398. Octubre 1933. DOI:10.1109/JRPROC.1933.227458

[4] F.H. Shu, F.C. Adams, S. Lizano, “Star Formation in Molecular Clouds”, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, 25, pp. 23-81, Septiembre 1987. DOI:10.1038/132066a0

[5] ALMA Partnership, C.L. Brogan, L.M. Pérez, T.R. Hunter, W.R.F. Dent et al. “The 2014 ALMA Long Baseline Campaign: First Results from High Angular Resolution Observations Toward the HL Tau Region”, Julio 2015. DOI:10.1088/2041-8205/808/1/L3

[6] A.Isella, M. Benisty, R. Teague, J. Bae, M. Keppler et al., “Detection of Continuum Submillimeter Emission Associated with Candidate Protoplanets”, *ApJL*, 879, L25, Julio 2019. DOI:10.3847/2041-8213/ab2a12

[7] L. Woltjer, “Emission Nuclei in Galaxies”, *ApJ*, 130, pp. 38-44, Febrero 1959. DOI: 10.1086/146694

[8] E.E. Salpeter, “NOTES: Accretion of Interstellar Matter by Massive Objects”, *ApJ*, 140, pp. 796-800, Agosto 1964. DOI: 10.1086/147973

[9] J.M. Bardeen, “Kerr Metrics Black Holes”, *Nature*, 226, pp. 64-65, Abril 1970. DOI: 10.1038/226064a0

[10] G.R. Burbidge, “The Nuclei of Galaxies”, *Ann.Rev.Astron.Astrophys*., 8, pp. 369-460, 1970. DOI: 10.1146/annurev.aa.08.090170.002101

[11] V.L. Ginzburg y L.M. Ozernoy, “On the Nature of Quasars and Galactic Nuclei”, *Astrophysics and Space Science*, 50, pp. 23-41, Agosto 1977. DOI: 10.1007/BF00648516

[12] É. A. Dibai, “Mass of the Central Bodies of Active Galactic Nuclei”, Soviet Astronomy Letters, 3, pp. 1-3, Febrero 1977.

[13] A. Cavaliere, “Active Galactic Nuclei”, in *16th International Cosmic Ray Conference*, 14, pp. 91-103, University of Tokyo: Institute for Cosmic Ray Research, Ed. M. Saburo, 1979.

[14] Netzer, H., “Revisiting the Unified Model of Active Galactic Nuclei”, *Ann.Rev.Astron.Astrophy*., 53, pp. 365-408, Agosto 2015. DOI:https://doi.org/10.1146/annurev-astro-082214-122302

[15] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, A. Alberdi, W. Alef, K. Asada, R. Azulay, et. al., “First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole ”, *ApJL*, 875, L1, Abril 2019. DOI: https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab0ec7

[16] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, A. Alberdi, W. Alef, K. Asada, R. Azulay, et. al., “First M87 Event Horizon Telescope Results. IV. Imaging the Central Supermassive Black Hole ”, *ApJL*, 875, L4, Abril 2019. DOI: 10.3847/2041-8213/ab0e85

[17] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, “First M87 Event Horizon Telescope Results. VI. The Shadow and Mass of the Central Black Hole ”, *ApJL*, 875, L6, Abril 2019. DOI: 10.3847/2041-8213/ab1141

[18] G. Reber, “Notes: Cosmic Static”, *ApJ*, 91, pp. 621-624, 1940. DOI:10.1086/144197

[19] G. Reber, “Cosmic Static”, *ApJ*, 100, pp. 279-287, Mayo 1944. DOI:10.1086/144668

[20] G. Reber, “Radio Astronomy”, *Sci. Am*., Vol. 181, Núm. 3, pp. 34-41, Septiembre 1949. DOI:10.1038/scientificamerican0949-34

[21] D. Lynden-Bell y M.J. Rees, “On Quasars, Dust and the Galactic Center”, *MNRAS*, 152, pp. 461-475, Julio 1971. DOI: 10.1093/mnras/152.4.461

[22] C. Hazard y S. Mitton, “Active Galactic Nuclei”, Cambridge University Press, Abril 1980.

[23] R. Genzel y C.H. Townes, “The Nucleus of our Galaxy”, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, 25, pp. 377-423, Septiembre 1987. DOI: 10.1146/annurev.aa.25.090187.002113

[24] R. Genzel, D. Hollenbach y C.H. Townes, “The Nucleus of our Galaxy” , *Rep. Prog. Phys.* 57, 417, Mayo 1994. DOI:10.1088/0034-4885/57/5/001

[25] A.M. Ghez, G. Duchêne, K. Matthews, S.D. Hornstein, A. Tanner et al., “The First Measurement of Spectral Lines in a Short-Period Star Bound to the Galaxy´s Central Black Hole: A Paradox of Youth”, *ApJ*, 586, L127-L131, Abril 2003. DOI:10.1086/374804

[26] M.G. Revnivtsev, E.M. Churazov, S.Yu. Sazonov, R.A. Sunyaev, A.A. Lutovinov et al., “Hard X-ray View of the Past Activity of SgrA* in a Natural Compton Mirror”, *Astron.Astrphys*., 425, L49-L52, Agosto 2004. DOI: 10.1051/0004-6361:200400064

[27] R. Lu, T.P. Krichbaum, A.L. Roy, V.L. Fish, S.S. Doeleman et al., “Detection of Instrinsic Source Structure at 3 Schwarzschild Radii with Millimeter-VLBI Observations of SAGITARIUS A”, *ApJ*, 859, 60 , Mayo 2018. DOI: 10.3847/1538-4357/aabe2e

[28] I. Heywood, F. Camilo, W.D. Cotton, F. Yusef-Zadeh, T.D. Abbott, et al. “Inflation of 430-parsec bipolar radio bubbles in the Galactic Centre by an energetic event ”, *Nature*, 573, pp. 235-237, Septiembre 2019. DOI: 10.1038/s41586-019-1532-5

[29] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, A. Alberdi, W. Alef, J.C. Algaba, R. Anantua, et. al., “First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole in the Center of the Milky Way”, *ApJL*, 930, L12, Mayo 2022. DOI: 10.3847/2041-8213/ac6674

[30] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, A. Alberdi, W. Alef, J.C. Algaba, R. Anantua, et. al., “First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. III. Imaging of the Galactic Center Supermassive Black Hole ”, *ApJL*, 930, L14, Mayo 2022. DOI: 10.3847/2041-8213/ac6429

[31] Event Horizon Telescope Collaboration, K. Akiyama, A. Alberdi, W. Alef, J.C. Algaba, R. Anantua, et. al., “First Sagittarius A* Event Horizon Telescope Results. IV. Variability, Morphology, and Black Hole Mass”, *ApJL*, 930, L15, Mayo 2022. DOI: 10.3847/2041-8213/ac6736

Cómo citar este artículo:

Contreras Martínez, M. E., & Olguín Ruiz, L. Radioastronomía, el universo visto con otros ojos. EPISTEMUS, 19(36), e3601301. https://doi.org/10.36790/epistemus.v19i36.301