

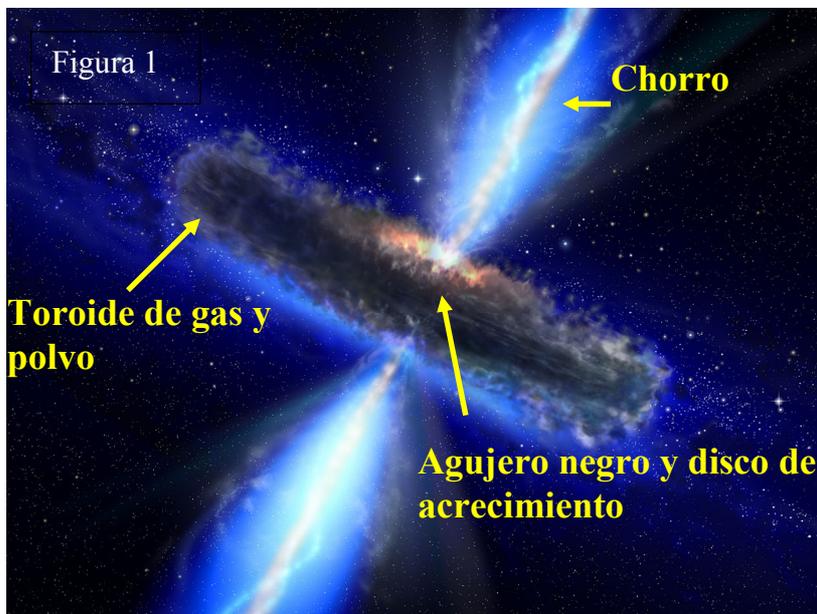
EL CENTRO DE LA VÍA LÁCTEA

Antxon Alberdi

Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA)
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Las galaxias activas tienen núcleos que brillan tanto, que pueden llegar a ser más luminosos que la galaxia que los alberga. Estas galaxias activas se caracterizan porque en sus núcleos ocurren procesos no-térmicos que liberan enormes cantidades de energía que parece provenir de una región muy pequeña y brillante situada en el corazón de la galaxia. Sólo aproximadamente el 1% de las galaxias tienen un núcleo activo pero, a lo largo de la historia del Universo, los núcleos activos han emitido casi tanta energía como todas las galaxias juntas.

Con el descubrimiento de estos núcleos activos de galaxias (AGN) surgió la necesidad de encontrar un mecanismo de emisión que fuera capaz de liberar la cantidad tan enorme de energía que producen estos objetos. Se encontró que esa energía debería de tener un origen gravitatorio, siendo producida por un objeto muy masivo. Diversos indicios favorecen la hipótesis de que dicho objeto es un agujero negro muy masivo (del orden de 1000 millones de veces la masa del Sol), con un tamaño de un minuto-luz a varios días-luz. La enorme fuerza gravitatoria que ejercen estos agujeros negros atrae el gas y las estrellas de las inmediaciones que son materialmente "trituras" por efectos de marea. Esta



nube de gas en rotación en torno al objeto central toma una forma aplanada por los efectos de la gravedad y de la conservación del momento angular. Se forma así el denominado disco de acrecimiento que está en rotación diferencial en torno al objeto masivo, y que está ubicado a unos pocos meses-luz del centro de la galaxia. El modelo

de "agujero negro + disco de acrecimiento" es el más satisfactorio hoy en día para explicar las propiedades de los núcleos activos de galaxias. Esta estructura estaría rodeada por un toroide de gas y polvo. A su vez, en un 10% de los AGNs se observa una intensa emisión radio proveniente de flujos bipolares (denominados chorros o *jets*) de partículas relativistas que emanan

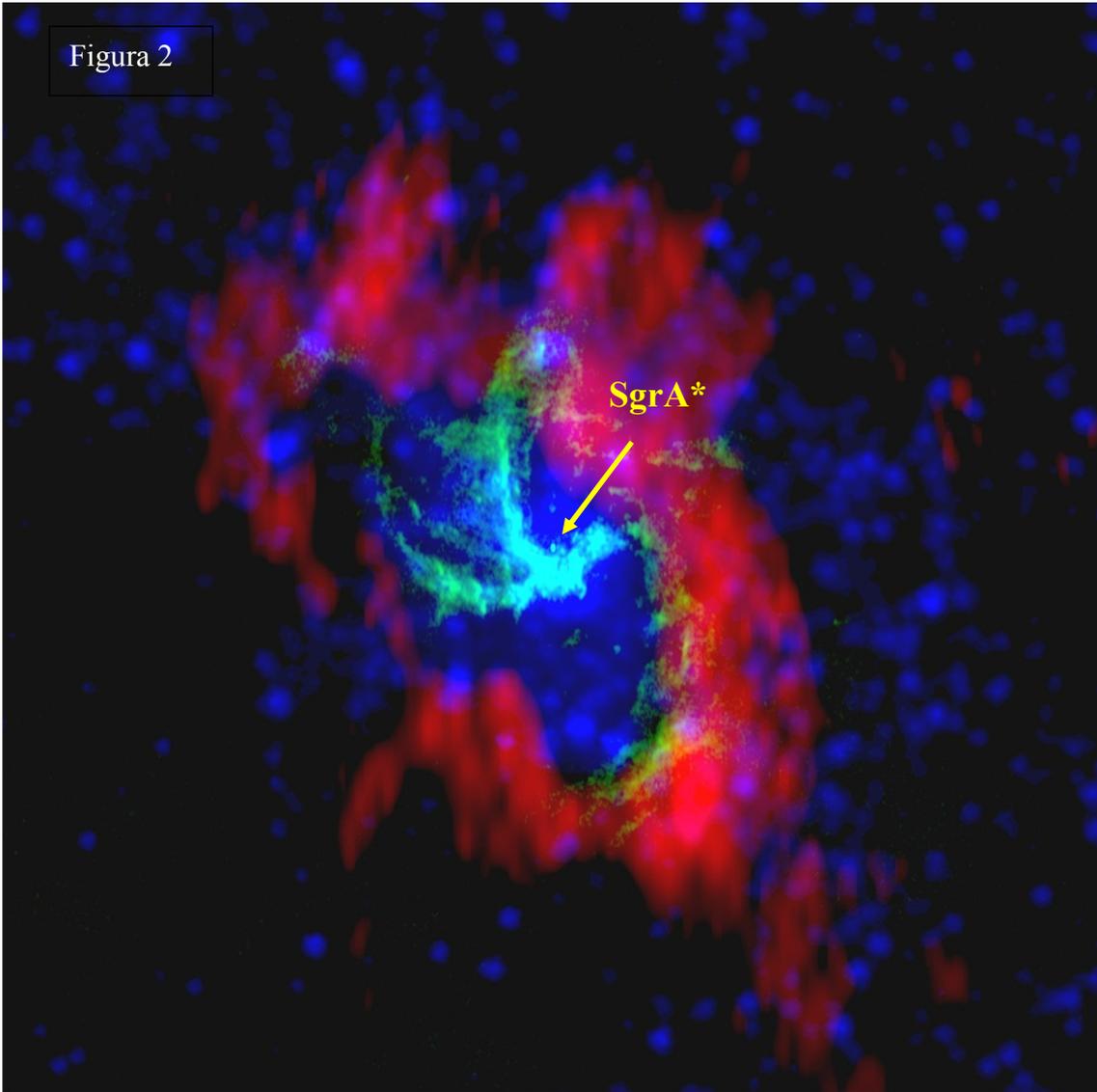
del núcleo central y alcanzan distancias de hasta varios megapársec (véase la Figura 1). Todavía se desconoce cómo se generan estos jets relativistas: aún tratándose de los aceleradores de partículas más energéticos del cosmos, apenas sabemos cómo se forman. Simulaciones magnetohidrodinámicas recientes muestran como un campo magnético fuertemente enrollado por rotación puede generar un jet relativista, acelerarlo y colimarlo.

La principal característica de los agujeros negros, y que le da el nombre, es que ni siquiera la luz puede salir de su entorno y por lo tanto no son observables salvo por los efectos que su tremendo campo gravitatorio ejerce sobre los objetos cercanos. Así, existen diferentes evidencias observacionales que sugieren la presencia de estos objetos supermasivos. Sirvan como ejemplo los indicios de carácter dinámico que están basados en el movimiento de las estrellas (dinámica estelar) y del gas (dinámica del gas) en torno al objeto central. Uno de los resultados experimentales más recientes y concluyentes es el descubrimiento y detección de la línea de Hierro a 6.4 kilo-electronvoltios (situada en el rango de los rayos X). Esta línea presenta una deformación gravitatoria que puede interpretarse de un modo sencillo asumiendo que se origina en las regiones del disco de acrecimiento más próximas al agujero negro.

EL Centro de la Vía Láctea

Pero ¿qué pasa con nuestra galaxia? La Vía Láctea recuerda en muchos aspectos a un núcleo activo de baja luminosidad. De hecho, comparte muchos de los elementos que forman parte del núcleo de una Galaxia Activa (véase Figura 2): i) un objeto compacto en el centro dinámico de la Galaxia, SgrA*, candidato a agujero negro supermasivo; ii) un disco circumnuclear de material molecular que envuelve el objeto central (disco en rojo de la figura 2), similar al toroide de gas y polvo del modelo estándar; iii) un cúmulo estelar en las regiones centrales (objetos puntuales en azul de la Figura 2). Sin embargo, no se detecta ni el disco de acrecimiento característico de los AGNs ni los chorros relativistas, probablemente debido al bajo ritmo de acrecimiento de material hacia el objeto central (del orden de 10^{-7} o 10^{-8} masas solares por año). En la Figura 2 puede observarse además la presencia de unos brazos de gas ionizado, que orbitan en torno al objeto central, y que trazan un flujo coherente de material desde el disco circumnuclear hacia el núcleo.

Figura 2



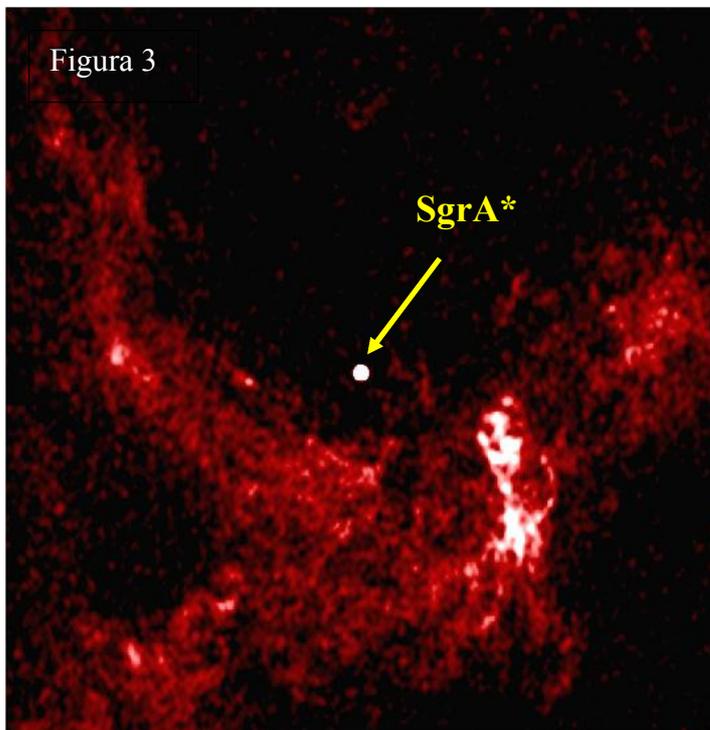
Astrónomos alemanes y americanos aportaron una prueba casi definitiva de la existencia de un agujero negro en el centro de nuestra Galaxia y determinaron, además, que era coincidente con SgrA*. Su descubrimiento es espectacular: estudiaron el movimiento de las estrellas en la vecindad del centro de la Vía Láctea. Mostraron que las estrellas vecinas alcanzan velocidades enormes, entre 100 y 500 kilómetros por segundo y en algunos casos de hasta 1500 kilómetros por segundo, aumentando la velocidad conforme nos acercamos al centro de la galaxia, lo que sugeriría la existencia de un objeto con una masa de alrededor de 4 millones de masas solares y una densidad característica de un agujero negro. Así, podemos afirmar que en el centro de la Galaxia, a una distancia de 24000 años luz de la Tierra, se encuentra un agujero negro, SgrA*, que estaría `alimentándose' con una estrella equivalente a nuestro Sol cada 100.000 o 1.000.000 años.

Existen otras evidencias a favor de que SgrA* albergue un agujero negro supermasivo:

- Mediante observaciones radiointerferométricas (véase Figura 2 y 3), se ha podido obtener una imagen directa de SgrA*. Se ha comprobado que está situado en el centro dinámico de nuestra Galaxia, y se ha determinado un tamaño intrínseco inferior a 1 Unidad Astronómica (una Unidad Astronómica es la distancia media de la Tierra al Sol) . Considerando que SgrA* tiene una masa de cuatro millones de masas solares, un tamaño de una Unidad Astronómica correspondería a 12.6 veces el Radio de Schwarzschild (el Radio de Schwarzschild nos da una idea del “tamaño” del agujero negro), muy cerca de la última órbita estable de material cayendo hacia el Centro de nuestra Galaxia.

Observaciones recientes a 230 GHz han demostrado que el tamaño de SgrA* es inferior a 0.3 ± 0.12 UA, que corresponde a $3.7 \pm 1.5 R_{sch}$, en la proximidad del horizonte del agujero negro. Estas observaciones permiten cartografiar por primera vez los efectos de la Relatividad General cerca del agujero negro supermasivo.

- Observaciones en el infrarrojo y en rayos X han demostrado que SgrA* se detecta a ambas longitudes de onda y que es variable, con escalas temporales de varias decenas de minutos. Por argumentos de causalidad, estas observaciones proporcionan una cota superior para el tamaño de SgrA* del orden de la Unidad Astronómica, lo que cuadra perfectamente con los resultados obtenidos en longitudes de onda de radio.



De este modo, i) las observaciones de los movimientos propios de las estrellas en torno a SgrA*, ii) las imágenes obtenidas con técnicas radiointerferométricas y iii) las escalas de variabilidad medidas en infrarrojo y rayos X, favorecen la caracterización de SgrA* como un agujero negro de 4 millones de masas solares, con un tamaño inferior a 5 minutos-luz, en el centro dinámico de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

8 arcsec
1 light year