

Este artículo apareció publicado en el Anuario Astronómico del Observatorio de Madrid para el año 1996. Su apariencia puede haber cambiado al ser reprocesado con pdflatex y nuevos ficheros de estilo.

## VIAJE AL CENTRO DE LA VIA LACTEA Pablo de Vicente Abad

*Centro Astronómico de Yebes*  
Instituto Geográfico Nacional

### Nuestra galaxia: La Vía Láctea

Desde hace miles de años los hombres han podido observar durante las noches de verano más oscuras una banda de luz que cruza el cielo de extremo a extremo. Los antiguos griegos vieron en ella un rastro de leche derramado por Hera y por ello la denominaron la Vía Láctea. En 1610, Galileo descubrió, con un telescopio fabricado por él mismo, que La Vía Láctea estaba formada por estrellas y no por material nebuloso como se había sugerido. La palabra actual, galaxia, que procede del griego y quiere decir leche, se utiliza para designar las estructuras del universo que contienen un sinnúmero de estrellas ligadas por la atracción gravitatoria. Nuestra galaxia está formada por millones de soles agrupados casi todos ellos en un disco, inmerso en un halo difuso cuya zona central, más poblada de estrellas, se denomina “bulbo”. Nosotros observamos una banda en el cielo nocturno porque vemos el disco de la Vía Láctea de canto, ya que nuestro sistema solar se encuentra inmerso en el disco galáctico.

La primera determinación realista de la forma y el tamaño de nuestra galaxia fue realizada por el astrónomo americano H. Shapley entre 1915 y 1919. Shapley estudió la distribución de los cúmulos globulares, enjambres esféricos de cientos de miles de estrellas antiguas, en la Vía Láctea. Descubrió que los cúmulos globulares de nuestra galaxia se distribuyen de modo aproximadamente esférico en torno a su centro y lejos del plano de ésta. De este modo pudo determinar la posición del centro de la Vía Láctea y estimó su distancia al Sol, que resultó estar en un extremo de nuestra galaxia. En 1932 Karl Jansky descubrió ondas radio extraterrestres. Las más intensas procedían del centro de la Vía Láctea. El centro de nuestra galaxia se encuentra en la dirección de la constelación de Sagitario que, desde el hemisferio norte, se ve hacia el Sur, cerca del horizonte, en las noches de verano. Actualmente se cree que la distancia que nos separa del centro galáctico es de aproximadamente 7.500 parsecs (unos 24.000 años luz).

Hasta recientemente el centro de nuestra galaxia, ha permanecido bajo un cierto misterio debido a la fuerte extinción que sufre la luz emitida por

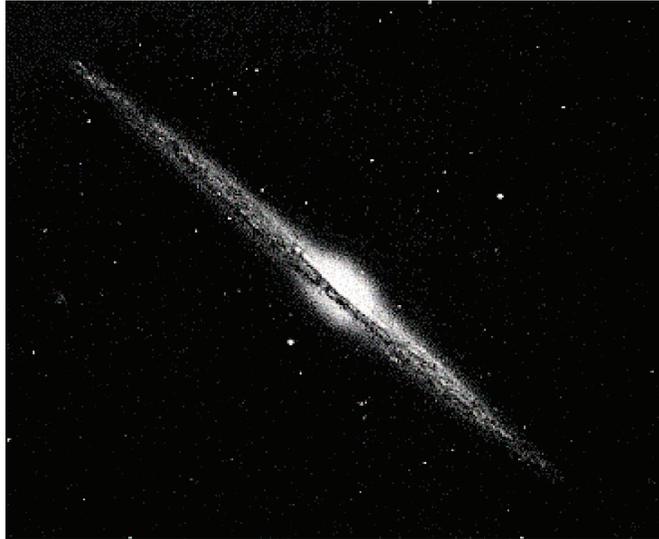


Figura 1: Galaxia espiral vista de perfil. La Vía Láctea posiblemente ofrece este aspecto a un observador situado fuera de ella.

las estrellas situadas en aquella dirección. Las nubes de polvo y gas situadas entre nosotros y el centro galáctico oscurecen éste hasta 27 magnitudes e impiden su estudio mediante telescopios ópticos. Por ejemplo, si un billón de fotones de luz azul partieran del centro de la Vía Láctea sólo uno llegaría hasta los telescopios de la Tierra.

Parte del gran desarrollo que ha experimentado la astronomía en los últimos 50 años procede del desarrollo de técnicas de observación en radio, infrarrojo, rayos X y rayos gamma. A estas longitudes de onda del espectro electromagnético, distintas de la luz visible, la extinción es mucho menos importante. Por ello, estas nuevas técnicas han permitido conocer las principales características del centro de nuestra galaxia. El estudio de esta región constituye un trabajo apasionante, ya que es el núcleo galáctico más cercano y por tanto el primer paso para comprender los núcleos de otras galaxias, donde en algunos casos se observan fenómenos extremadamente violentos.

Las propiedades del centro galáctico son diferentes de las del resto de la Vía Láctea debido fundamentalmente a su diferente estado evolutivo y a la mayor influencia del potencial gravitatorio. En el centro de nuestra galaxia las estrellas se encuentran más próximas entre sí y son de un tipo diferente a las que forman el resto de la Vía Láctea. En particular el centro galáctico está poblado de una mezcla de estrellas de tipo I y II. Las estrellas de tipo I, que se encuentran predominantemente en el disco galáctico, están formadas de materiales reciclados que proceden probablemente de estrellas ya desaparecidas. Las estrellas de tipo II y están compuestas por materiales vírgenes y antiguos, pobres en elementos pesados. También el material que permea el espacio entre las estrellas es diferente. El gas interestelar es más denso y turbulento y está más caliente que en el disco de la Vía Láctea.

### **Preparativos para un viaje imaginario al centro de la Vía Láctea**

Haremos un pequeño viaje imaginario hacia el centro de la Vía Láctea revisando las principales observaciones que se han realizado hasta la fecha en diferentes bandas del espectro electromagnético. Nos olvidaremos de los telescopios ópticos y utilizaremos los modernos radiotelescopios y telescopios infrarrojos, así como los detectores de rayos X y gamma montados sobre satélites que orbitan en torno a la Tierra. En el estudio del centro galáctico la radioastronomía y la astronomía de infrarrojo tienen una importancia capital. Prácticamente todo lo que se conoce de esta región se ha descubierto a partir de observaciones realizadas a estas longitudes de onda.

A medida que nos vayamos aproximando al centro de nuestra galaxia iremos aumentando la resolución angular, para discernir detalles más y más pequeños. La resolución angular es una medida de la capacidad para separar las imágenes de dos objetos próximos entre sí. La separación angular que se puede distinguir entre dos objetos es directamente proporcional a la longitud de onda a la que se observa e inversamente proporcional al diámetro del instrumento que estamos utilizando. Un instrumento tiene mayor resolución angular que otro, cuando el primero es capaz de separar mejor que el segundo dos objetos cercanos. Por ejemplo el radiotelescopio de 14m del Observatorio Astronómico Nacional en el Centro Astronómico de Yebes resuelve objetos separados 2 minutos de arco cuando trabaja a 7 mm de longitud de onda, mientras el telescopio óptico de 1.5m del Observatorio Astronómico Nacional en Calar Alto sería capaz de resolver objetos separados una décima de segundo de arco cuando se observa en luz visible (longitud de onda  $\approx 600$  nanómetros), aunque la atmósfera limita en la práctica este valor hasta 1 segundo de arco.

Existe sin embargo una moderna técnica de observación con la que se obtienen resoluciones angulares fabulosas. Esta técnica denominada interferometría utiliza dos o más radiotelescopios, separados una gran distancia, que observan simultáneamente el mismo astro. De este modo se pueden resolver objetos separados unas pocas diezmilésimas de segundo de arco.

### Los suburbios del centro de nuestra galaxia

Cuando se observa la Vía Láctea en radio, infrarrojo y rayos X se encuentra que la emisión más intensa procede fundamentalmente del centro galáctico. En particular, en la dirección del centro se observan numerosos objetos brillantes en radio o en infrarrojo. Los más intensos, se conocen como Sagitario A y Sagitario B2 y son estudiados detalladamente desde hace dos décadas en diferentes longitudes de onda y con diferentes resoluciones angulares por diversos grupos de astrónomos. Estos dos objetos coinciden con nubes de gas molecular muy extensas y masivas. Las nubes moleculares son grandes masas de moléculas que rellenan los espacios entre las estrellas. La densidad de estas nubes es muy baja, pero son extraordinariamente importantes porque albergan los lugares donde nacen las estrellas. Sgr B2 es uno de los lugares de la Vía Láctea donde mayor número de nacimientos de estrellas se está produciendo. Se encuentra a una distancia angular de Sgr A de unos 650 años luz y se cree que se encuentra en un anillo de nubes moleculares que rodea el centro de nuestra galaxia.

Justo en la dirección opuesta respecto de Sgr A y a una distancia proyectada en el cielo similar se encuentra una fuente de rayos gamma extraordi-

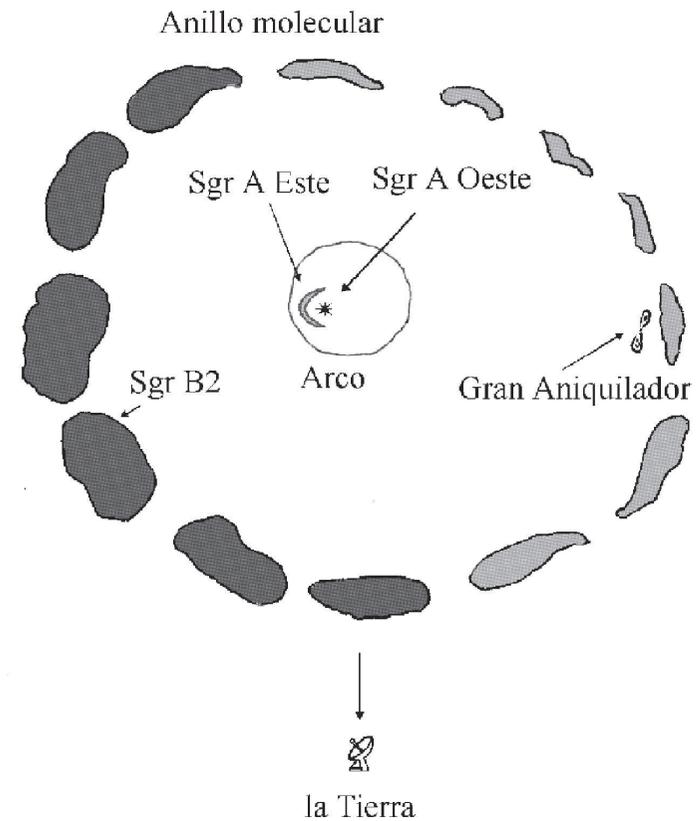


Figura 2: Esquema de los 600 años luz más internos de la Vía Láctea. La mayor parte de las estructuras que se describen en la figura se han descubierto utilizando radiotelescopios. La localización exacta de Sgr B2 y del Gran Aniquilador a lo largo de una línea paralela a la de mira es desconocida.

nariamente intensa que se conoce con el nombre del Gran Aniquilador o 1E1740.7-2942. Cuando se observa con una gran resolución angular se encuentra que está formado por dos chorros de materia que se alejan en direcciones opuestas a gran velocidad. Se cree que la energía liberada por este objeto es producto de la aniquilación mutua de electrones y su antipartícula, los positrones.

Sin embargo nuestro principal objeto de interés es Sgr A, donde se cree que se encuentra el Centro Galáctico.

### El corazón de la Galaxia: Sgr A

La región de 10 pc (aproximadamente 30 años luz) en torno al centro galáctico se conoce con el nombre de Sgr A. Cuando se observa con radio-telescopios y con telescopios infrarrojos se encuentra que es un importante emisor de radiación en el infrarrojo y en radio. Sgr A se ha dividido tradicionalmente en dos regiones: una estructura en forma de cáscara denominada Sgr A Este, que probablemente es el resto del estallido de una estrella, una supernova, y una región denominada Sgr A Oeste, situada a su derecha y que emite radiación térmica. Ambas se encuentran en un cúmulo de estrellas muy cercanas unas de otras. La distancia entre estrella y estrella en esta región es 300 veces menor que la que se observa en las cercanías del Sol. Tanto las estrellas como las nubes de gas molecular y atómico en las que están inmersas se mueven a velocidades fabulosas: más de un millón de km/h; mucho más rápido que lo que se observa en el resto de la Vía Láctea.

Observemos con mayor resolución angular Sgr A Oeste. Dos regiones llaman la atención inmediatamente. Una es un cúmulo que radia intensamente en el infrarrojo y que ha sido bautizado como IRS 16. Está compuesto por una veintena de objetos brillantes y azules, cuyo tamaño y luminosidad es demasiado grande para ser estrellas normales. Se ha especulado si estos objetos son resultado de la unión de dos estrellas, pero la densidad de estrellas no es tan alta como para producir colisiones frecuentes entre ellas que den lugar a estos objetos. Las “estrellas” de IRS 16 emiten fundamentalmente luz visible y ultravioleta pero la nube de polvo en la que están inmersas absorbe esta radiación. El polvo se calienta reemitiendo la energía como radiación en el infrarrojo. Esta escapa de la nube y llega hasta los telescopios infrarrojos situados en la Tierra. Orbitando en torno a IRS 16 se observan tres columnas gaseosas de hidrógeno ionizado probablemente producidas por la fuente IRS 16 y que guardan una forma similar a una espiral. A estas columnas se les ha bautizado con el nombre de “miniespiral”.

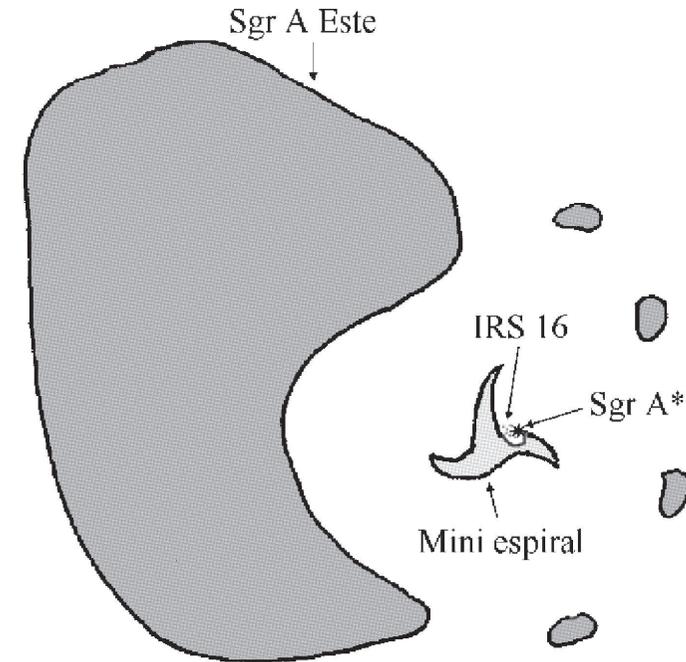


Figura 3: Estructuras más importantes de Sgr A. Se cree que Sgr A Este es un resto de supernova. Sgr A Oeste está formado por IRS 16, la miniespiral y Sgr A\*.

La segunda región interesante de Sgr A Oeste se encuentra en el interior de IRS 16 pero desplazada de su centro. Se denomina Sgr A\*.

### Más cerca todavía: Sgr A\*

Sgr A\* es un objeto interesante. Se trata de la fuente más potente de radiación radio en la región, pero apenas emite en el infrarrojo. Está inmersa en un cúmulo estelar formado por estrellas viejas y jóvenes y posee una débil emisión en rayos X y gamma. Los radioastrónomos han observado Sgr A\* durante más de 10 años y no han observado movimientos apreciables de este objeto. Esto es sorprendente ya que, como hemos comentado más arriba, las estrellas en esta región se mueven a velocidades muy altas. Este hecho hace sospechar que Sgr A\* es un objeto muy masivo situado en el centro, o muy cerca del centro en torno al cual gira toda la Vía Láctea.

Desde su descubrimiento Sgr A\* ha sido observado con la mayor resolución angular disponible. Esta se consigue mediante una técnica denominada VLBI, acrónimo que en inglés significa Interferometría de Muy Larga Base. Esta técnica permite sintetizar un radiotelescopio del tamaño de la Tierra a partir de antenas distribuidas por todo el planeta que observan simultáneamente el mismo astro. La máxima resolución angular conseguida hasta la fecha es de 0.3 milisegundos de arco a una longitud de onda de 3 mm. El tamaño determinado mediante la técnica anterior para la región emisora en longitudes de onda radio en Sgr A\* es de aproximadamente 3.3 unidades astronómicas. Recordemos que denominamos unidad astronómica a la distancia media de la Tierra al Sol.

Existe una razón fundamental que hace pensar a los astrónomos que en el centro de la Vía Láctea hay un objeto masivo. En torno a Sgr A Este y Oeste existe un enjambre de estrellas moviéndose desordenadamente y a gran velocidad. Se sabe que cuando existe un objeto muy masivo la densidad de estrellas en su entorno crece y su velocidad también. La turbulencia del enjambre y el número de estrellas que lo componen es tanto mayor cuanto mayor es la masa central. Midiendo la dispersión en las velocidades se puede estimar la masa del objeto central que mantiene ligadas las estrellas en torno a él. Los astrónomos han determinado que en Sgr A debe existir algo cuya masa es igual o inferior a tres millones de masas solares.

Por otra parte si una gran parte de esta masa, digamos un millón de masas solares, está concentrada en la región emisora de radiación radio, Sgr A\*, la densidad de materia debe ser bastante alta. De hecho tan sólo existe un modo de empaquetar tanta masa en un espacio tan “pequeño”:

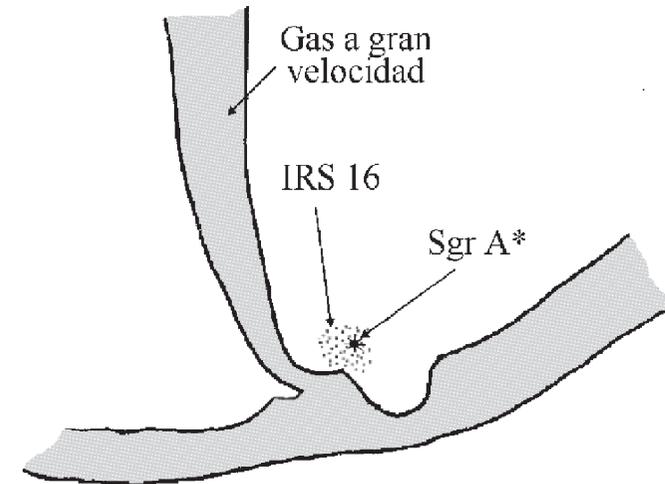


Figura 4: Detalles de Sgr A Oeste. IRS 16 es un cúmulo de estrellas brillantes y azules inmersas en una nube de polvo. Se mueven desordenadamente a velocidades extremadamente altas. Sgr A\* está dentro de IRS 16, pero desplazado de su centro. El agujero negro estaría situado en Sgr A\*.

Un agujero negro. Esta posibilidad fue propuesta por primera vez por los astrónomos D. Lynden-Bell y M. Rees en 1971. Precisamente el tamaño mínimo que puede tener un agujero negro para contener un millón de masas solares es de 3.3 unidades astronómicas.

## El agujero negro del centro de la Vía Láctea

Un número considerable de astrónomos considera que las razones anteriores constituyen un buen indicio de la existencia de un agujero negro en el centro de nuestra galaxia. Existe sin embargo una fuerte controversia sobre la masa de éste. Hay partidarios de un agujero negro de un millar de masas solares y partidarios de un agujero negro de un millón de masas solares. Esta controversia nace de la débil radiación que se observa en rayos X y rayos gamma en la dirección de Sgr A\*.

El campo gravitatorio de un agujero negro puede despedazar las estrellas más cercanas por fuerzas de marea y atraer hacia su interior toda la materia interestelar que le rodea. La materia cae hacia el agujero negro a velocidades próximas a las de la luz siguiendo una trayectoria espiral. En su caída la materia se acumula en una región achatada que recibe el nombre de disco de acreción. Se ha sugerido que la trayectoria espiral de caída está producida por un rozamiento anómalo que ralentiza el material y lo calienta hasta temperaturas de 100.000 grados. La materia muy caliente emite energía en forma de rayos X que se puede recoger con telescopios en la Tierra.

La intensidad de la radiación generada en los alrededores de un agujero negro depende de la cantidad de materia que éste traga por unidad de tiempo. En Sgr A\* la cantidad de energía emitida por el agujero negro es muy pequeña ya que la radiación X es muy débil. Este hecho ha hecho pensar a algunos astrónomos que el agujero negro es “pequeño”, de tan solo 1.000 masas solares, y que las estrellas muy próximas contribuyen con su masa hasta el millón de masas solares que se ha estimado. Sin embargo otros astrónomos piensan que el agujero negro es de 1.000.000 de masas solares pero que actualmente se encuentra sometido a una dieta implacable. La tasa de ingestión del agujero negro sería, en este caso, inferior una centésima parte de masa terrestre por año. Los ladrones que roban la comida del agujero negro serían las “estrellas” de IRS 16, que poseen vientos capaces de acelerar el material interestelar a velocidades muy altas, fuera del alcance del agujero negro.

La discusión sobre la masa de Sgr A\* se resolverá cuando se realicen observaciones de las estrellas infrarrojas más próximas a Sgr A\* y se determine su velocidad. En las últimas observaciones infrarrojas realizadas

(1994) se han identificado hasta 340 estrellas en un radio de 1.3 años luz en torno a Sgr A\*. Si las velocidades de las estrellas que se observen exceden el millón de km/h entonces se podrá concluir que hay un agujero negro en Sgr A\* cuya masa es la de un millón de soles.

Se ha propuesto una segunda prueba basada en las predicciones de la teoría de la relatividad general de Einstein. La relatividad general predice que la gravedad de un objeto muy masivo deforma la trayectoria de la luz. Por ejemplo, la luz emitida por una estrella situada detrás del objeto masivo, se dobla bordeándola. Por delante del objeto masivo se verá una imagen múltiple de la estrella que está detrás. Este fenómeno se denomina focalización gravitacional, ya que el objeto masivo actúa como una lente. Las probabilidades de encontrar una estrella detrás del agujero negro del centro de nuestra galaxia no son bajas. Ya hemos comentado anteriormente que la densidad de estrellas en dicha dirección es muy alta. No obstante, esta prueba requiere una resolución angular en el infrarrojo que no se podrá conseguir hasta dentro de unos años.

La formación del agujero negro del centro de la Vía Láctea se produjo probablemente a partir del colapso de una estrella. Entonces sólo tendría unas pocas masas solares, pero la intensa fuerza gravitacional fue atrayendo más y más materia de la región a su interior. Un sencillo cálculo muestra que con un ritmo de ingestión de una masa solar por año, bastan un millón de años para generar un agujero negro de un millón de soles.

## Conclusión

La existencia de un agujero negro en el centro de nuestra galaxia no convierten a la Vía Láctea en una galaxia excepcional. De hecho, existe una familia de galaxias, denominadas galaxias activas, en las que hay fuertes indicios de presencia de agujeros negros supermasivos en sus núcleos. En este tipo de galaxias se observan fenómenos muy energéticos y violentos. Tal es el caso de las galaxias Seyfert, objetos BL Lacertae, radiogalaxias y cuásares. La estadística de las galaxias activas y sus propiedades apuntan a que la actividad en éstas no dura más allá de 100 millones de años. Parecería por tanto razonable, que muchas, sino todas las galaxias, habrían pasado por una fase de actividad y como recuerdo de esa época habrían dejado un agujero negro en su interior. Tal sería el caso de nuestra galaxia, la Vía Láctea, que ahora estaría en estado “durmiente”. Habrá que esperar al futuro para ver si nuevas observaciones confirman o descartan estas hipótesis.