

ARTÍCULO

LOS AGUJEROS NEGROS SUPERMASIVOS Y LAS GALAXIAS

Yair Krongold

Investigador Titular A definitivo del Instituto de Astronomía de la UNAM

Los agujeros negros supermasivos y las galaxias

Los núcleos galácticos activos

Una galaxia típica brilla gracias a la energía de las miles de millones de estrellas que la conforman. El brillo se extiende por el cuerpo de la galaxia en una región del tamaño de decenas de miles de años luz. Sin embargo, existe un grupo de galaxias (alrededor del 10%) con una emisión muy intensa, pero muy compacta, confinada a su centro. A este grupo de galaxias se les conoce como “galaxias activas” y a sus centros brillantes se les denomina los “núcleos galácticos activos”. La luminosidad (energía radiada por unidad de tiempo) que emiten los núcleos galácticos activos en forma de luz es similar, o inclusive puede llegar a ser miles de veces mayor, de la que emite toda la galaxia en la cual se encuentran.

Los núcleos galácticos activos son las fuentes de luz más poderosas que existen en el Universo. Estas fuentes compactas, emiten su radiación a lo largo del espectro electromagnético, es decir, emiten desde una luz muy energética (como son los rayos-X, iguales a los que se usan cuando nos toman una radiografía) hasta una muy poco energética (como lo son las ondas de radio, las que se utilizan para el radio y la televisión). En general, la mayor cantidad de luz que se emite en el núcleo de estas galaxias, se produce en forma de ondas de luz ultravioleta.

Una de las principales características de los núcleos galácticos activos es la variabilidad de su brillo en el tiempo, es decir, a veces los núcleos de estas galaxias son muy brillantes y a veces son observados mucho más tenues. La escala de tiempo en la cual varían depende de la banda de emisión en la que se les está observando. Por ejemplo, en la región de emisión de luz de rayos-X, se pueden observar variaciones de brillo muy rápidas, con cambios en la luminosidad que pueden llegar a ser un factor de diez (o más) en unas cuantas horas. En otras bandas de emisión de luz (como las de luz UV y la luz visible, que es en donde se emite la mayor parte de la energía), las variaciones tienden a ser más lentas con escalas típicas de días.

Estos cambios violentos de brillo no sólo sirven para estudiar los procesos físicos que producen la emisión, sino que además nos proporcionan una pista fundamental sobre el tamaño de la región en la que se emite esta energía en forma de luz: debido a que la velocidad de la luz es finita, el tiempo que se necesita para que se produzca un cambio de brillo también nos brinda información sobre el tamaño máximo del objeto que está emitiendo. Esto se puede entender de manera sencilla observando el diagrama presentado en la figura 1.

Supongamos que nosotros nos encontramos viendo el objeto por el costado “A”, como se muestra en el diagrama. Entonces, aun si la luminosidad de todo el objeto cambiara

simultáneamente, primero nos llegaría el cambio de brillo de la cara “A”, dado que se encuentra más cerca de nosotros, y posteriormente el de la cara “B”, más lejana. Esto produciría un cambio en el brillo del objeto como el que se observa en las figuras del diagrama. Entonces, es claro en este diagrama que el tiempo que tarda en producirse esta variación es el mismo que transcurre entre el que la luz viaja del punto “A” al “B”. Por lo tanto, este tiempo nos proporciona el tamaño de la región que está emitiendo, y viene dado simplemente por el producto entre el tiempo de retraso (el tiempo que tarda la variación) y la velocidad de la luz.

Esto nos indica, que dado que los cambios de brillo en los núcleos galácticos activos ocurren en tiempos tan cortos como días, toda la emisión de estos objetos debe de producirse en una parte muy pequeña del núcleo de la galaxia, en una región de tan sólo días luz alrededor del centro galáctico (este tamaño es similar al del Sistema Solar).

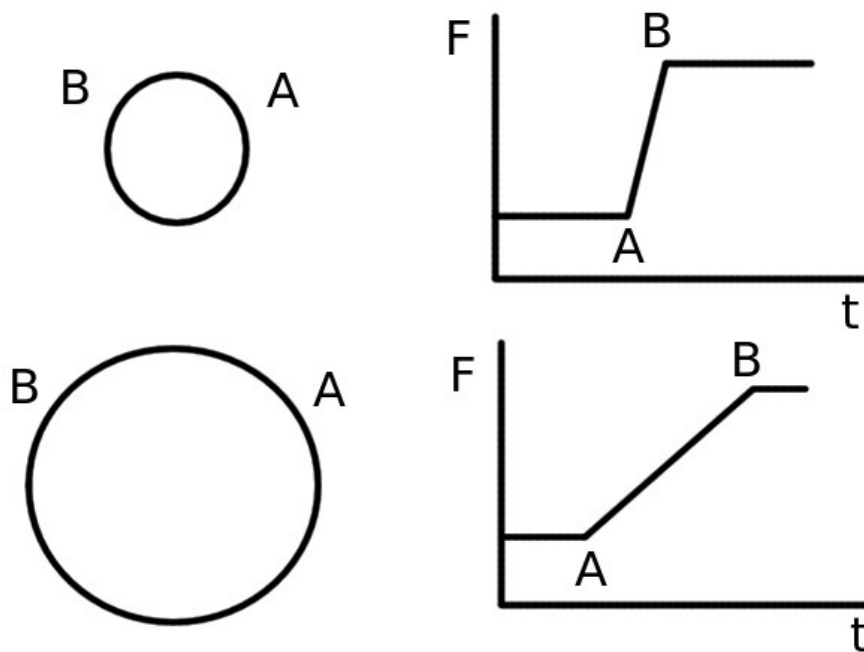


Figura1. La luz de la cara A nos llega primero que la luz de la cara B, de tal manera que aun si el brillo del objeto varía en todos lados simultáneamente, existe un “retraso” en su abrillantamiento. Este retraso está determinado por el tamaño del objeto.

Agujeros negros en el centro de galaxias activas

¿Cómo se puede explicar que en los núcleos de algunas galaxias se emita una cantidad de luz miles de veces mayor a la que emite toda la galaxia y que esta emisión se produzca en

regiones extremadamente pequeñas, del tamaño del Sistema Solar? Varios modelos que involucran emisión de estrellas muy masivas o explosiones de supernovas han sido propuestos. Sin embargo, debido a que todos han fallado en explicar una o varias propiedades observadas, han sido desechados.

El modelo más aceptado para explicar las altas luminosidades observadas en estos objetos plantea la existencia de un agujero negro supermasivo (con masa de millones a miles de millones de veces la masa del Sol), que “acreta” el material que se encuentra en sus cercanías formando un disco. El proceso de acreción de material es ideal para convertir la energía potencial y cinética del material en radiación. Durante el proceso de acreción, al menos un 10% de la energía equivalente a la masa del material en reposo puede ser liberada en forma de luz. De echo, este es el proceso más eficiente de conversión de masa en energía que involucra materia “normal” (es decir que no involucra aniquilación de materia y anti-materia).



Figura 2. Ilustración de un disco de acreción alrededor de un agujero negro supermasivo.

Podemos señalar que sería imposible que la energía liberada en forma de luz proviniese de estrellas o de cualquier otro tipo de objetos en los cuales se producen reacciones termonucleares. Suponiendo una eficiencia del 1% para estas reacciones, que es la eficiencia

del quemado nuclear, se tendría que quemar el equivalente de 250 veces la masa del Sol por año, para producir los brillos observados. Por lo tanto, la hipótesis de que la radiación es producida por estrellas jóvenes calientes es insostenible, ya que para producir la luminosidad que se observa en un núcleo galáctico activo, se requeriría la presencia de aproximadamente 10 millones de estrellas gigantes (con masas de decenas de veces la masa del Sol) en un volumen similar al que ocupa nuestro sistema Solar.

Otro punto fundamental que el modelo de agujero negro logra explicar de manera muy satisfactoria, mientras que los modelos que involucran estrellas no, es justamente la variabilidad tan rápida en el brillo de los núcleos galácticos activos. Mientras que en los segundos esta variabilidad no se puede explicar con modelos físicos, el primero lo hace de manera sencilla, suponiendo variaciones temporales en la tasa de acreción de masa (es decir, variaciones en la cantidad de materia que se traga el agujero negro supermasivo central).

Una de las preguntas fundamentales que se deben resolver es de dónde proviene el material que alimenta al agujero negro central. El brillo de un objeto nos da una medida de la cantidad de material que se traga un agujeronegro por unidad de tiempo, es decir, de la tasa de acreción de masa. Los núcleos galácticos activos más luminosos (brillos de miles de veces mayor al de toda la galaxia en la que se encuentran) requieren “comerse” alrededor de 20 veces la masa del Sol por año para producir la cantidad de luz observada. Dado que se estima que los núcleos de las galaxias activas pueden brillar continuamente por cerca de 100 millones de años, cada uno de ellos requeriría comerse del orden de 2000 millones de veces la masa del Sol. ¿De dónde sale o cómo llega esta cantidad de material al centro de las galaxias?



Figura 3. Foto del telescopio espacial Hubble de la colisión entre dos galaxias con morfología espiral.

Actualmente, no se entiende muy bien cuál es el proceso a través del cual este material llega al agujero negro, pero la presencia de un potencial gravitacional no simétrico, perturbando a la galaxia, debe de estar en juego. Es por esto, que las interacciones, entre galaxias y las fusiones de galaxias (básicamente todos los tipos de choques entre galaxias), han sido considerados fundamentales para la alimentación de los núcleos activos galácticos, ya que en éstos se producen potenciales gravitacionales no simétricos capaces de llevar grandes cantidades de material a la región nuclear. Esta conclusión también se encuentra soportada en observaciones, ya que se ha medido que algunos tipos de galaxias con núcleo activo se encuentran interactuando o chocando con galaxias compañeras. Los choques entre galaxias no son raros en nuestro Universo. La figura 3 presenta una colisión entre dos galaxias espirales.

Agujeros negros supermasivos en todas las galaxias

La relevancia de los agujeros negros supermasivos no se limita a las regiones centrales de las galaxias. Cada vez existe una mayor evidencia teórica y observacional de que podrían jugar un papel fundamental en la evolución global de las galaxias, aunque los procesos exactos que tienen lugar aún son altamente desconocidos.

Hoy en día, los astrónomos sabemos que la mayoría de las galaxias con forma espiral que poseen un bulbo (ver artículo “El mundo de las galaxias de V. Avila en el ejemplar anterior de esta revista), y probablemente todas las galaxias elípticas, contienen en su región central un agujero negro supermasivo, con la masa de millones a miles de millones de veces la masa del Sol. Aunque la mayoría de estas galaxias no son activas, la presencia del agujero negro ha sido revelada a través de imágenes y espectros de muy alta resolución espacial tomados con el telescopio espacial Hubble. En estos datos, se observa claramente la presencia de gas rotando alrededor de los núcleos galácticos a grandes velocidades (miles de kilómetros por segundo). Esto se puede apreciar con datos reales en el Video 2, en donde se hace un acercamiento a la región central de la galaxia M84.

En estas imágenes del Hubble, cuando llegamos a la región central, tomamos un espectro de la luz que se emite, es decir, descomponemos la luz en sus colores como si la hiciéramos pasar a través de un prisma para ver el arcoíris. Debido al efecto Doppler, existe material que se ve más “azul”, y material que se ve más “rojo”. El material azul se ve así porque se mueve en dirección a nosotros, mientras que el rojo se mueve en la dirección contraria. El material “verde” se encuentra en reposo con respecto a nosotros. Estos “colores” en la emisión del material solo pueden ser explicados con una distribución de gas rotando alrededor del centro galáctico. Qué tan azul y qué tan rojo se ve, depende de qué tan rápido rota este material ¡Y en galaxias como

M84, se observa que el material rota a miles o decenas de miles de kilómetros por segundo!

Estas altas velocidades de rotación no serían posibles sin una gran concentración de materia en la zona central de las galaxias, que evidencia la presencia de un agujero negro. Midiendo la velocidad de rotación del material, y su distancia al centro galáctico, resulta sencillo obtener una medida de la masa central utilizando la tercera ley de Kepler. Esto indica la presencia de agujeros negros con millones a miles de millones de veces la masa del Sol en la mayoría de las galaxias.

La evidencia más fuerte de la existencia de agujeros negros supermasivos proviene de nuestra propia galaxia, en donde ha sido posible medir los movimientos de estrellas individuales alrededor del núcleo. Estos movimientos se muestran en el Video 3, incluyendo los movimientos proyectados hacia el futuro. Como se puede apreciar, las estrellas se mueven alrededor de un punto central en el que parece "no haber nada". Sin embargo, al pasar cerca de este punto, cambian su trayectoria, debido a la fuerza que sienten por un objeto con masa de un poco más de dos millones de veces la masa del Sol: ¡un agujero negro supermasivo en el centro de nuestra propia galaxia!

Saber cómo se formaron estos agujeros negros supermasivos en el centro de las galaxias, es todavía un misterio. Existen varias posibilidades para explicar su existencia. Un posible escenario para la formación de estos objetos podría ser el colapso del núcleo de un cúmulo denso de estrellas. Sin embargo, la presencia de agujeros negros en el centro de cúmulos estelares es todavía muy controversial. También se ha planteado que estos objetos podrían ser agujeros negros primigenios, no formados por colapso de materia, sino debido a las altas densidades y presiones que tuvieron lugar cuando el Universo era todavía muy joven. Esta teoría, sin embargo, parece ser incompatible con las fluctuaciones observadas en la radiación cósmica de fondo, que al ser tan pequeñas, parecen indicar que en el Universo temprano estos objetos todavía no se encontraban ahí (ver artículo "El mundo de las galaxias de V. Ávila en el ejemplar anterior de esta revista). Actualmente se discuten dos posibilidades para la formación de agujeros negros supermasivos. El primer mecanismo consiste en fusiones de galaxias. Cada vez que las galaxias se fusionan, sus agujeros negros también lo hacen, formándose así agujeros negros cada vez más masivos. La segunda posibilidad es a través de un disco de acreción, lo cual implicaría que todas las galaxias han tenido un núcleo activo en algún momento de su evolución. Debido a la íntima relación que existe entre las interacciones de galaxias (particularmente las fusiones y choques) y los núcleos activos (en donde las primeras llevan material al centro para alimentar los segundos), es de esperarse que los dos procesos sean importantes en la creación de un agujero negro supermasivo.

Los agujeros negros supermasivos y la evolución de las galaxias

La presencia de un agujero negro supermasivo en el centro de la mayoría de las galaxias ha sido sin lugar a dudas una sorpresa para la comunidad astronómica. Sin embargo, aún más sorprendente ha resultado el hecho de que la masa del agujero negro central en las galaxias está correlacionada con el tamaño de la galaxia, en particular con la masa en estrellas del bulbo galáctico. Esto se aprecia en la figura 4.

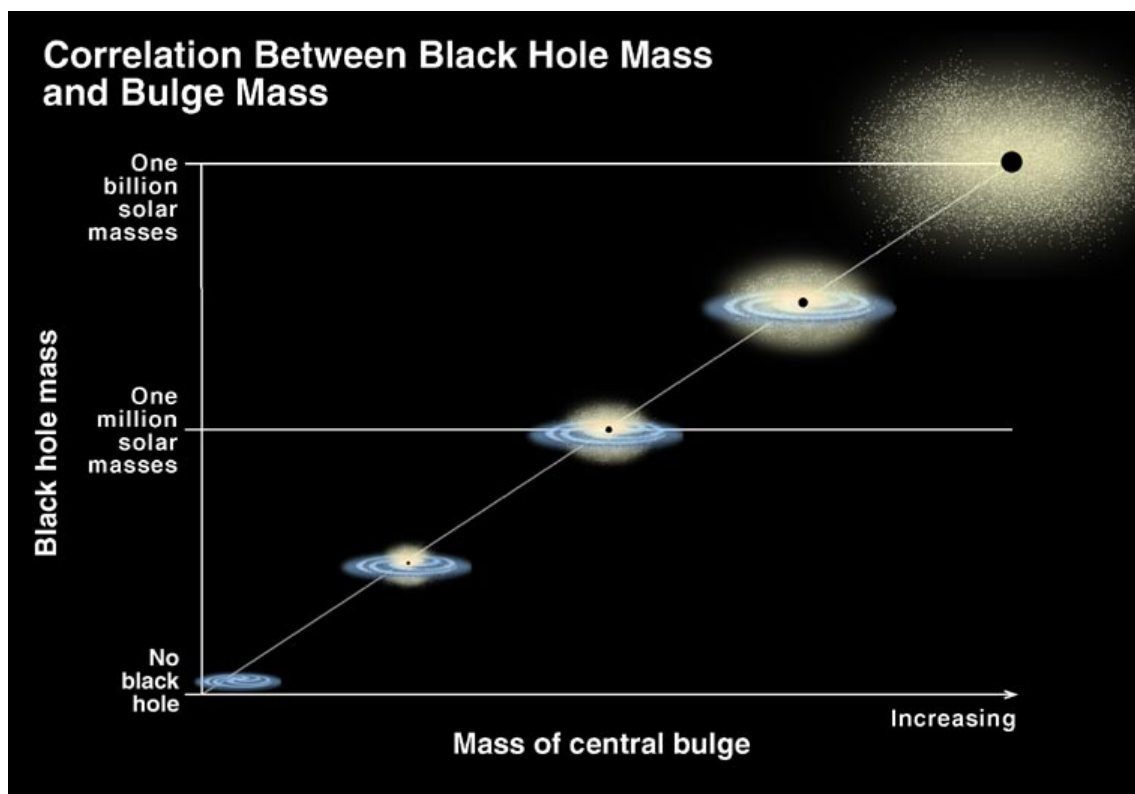


Figura 4. El tamaño del agujero negro central en las galaxias depende del tamaño de su bulbo: las galaxias con bulbos más masivos contienen agujeros negros más masivos. Esto indica que las galaxias y sus agujeros negros evolucionaron de manera conjunta.

La existencia de esta relación entre el tamaño mismo de la galaxia y de su agujero negro central representa un gran misterio para la astronomía contemporánea. Aunque el campo gravitacional del agujero negro puede ser muy intenso en sus cercanías, debido al rápido decaimiento de la fuerza de gravedad con la distancia, la acción gravitacional de este agujero negro central más allá de la zona central de la galaxia es nula. ¿Cómo entonces es que las propiedades globales de la galaxia se encuentran relacionadas con lo que ocurre a nivel local en su núcleo? Todavía no se cuenta con una respuesta satisfactoria a esta pregunta, sin embargo, esto nos indica que los agujeros negros centrales y las galaxias que los contienen evolucionaron de manera conjunta, probablemente unos 800 millones de años después de “La gran Explosión” que dio lugar a nuestro universo.