

Deborah Dultzin

# Cuasares y núcleos activos de galaxias

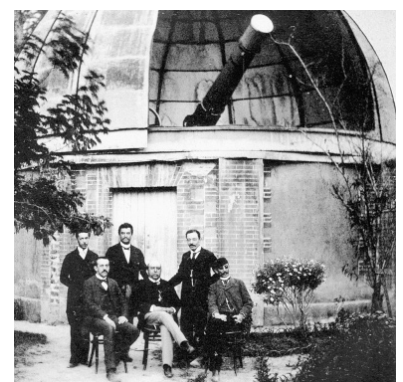
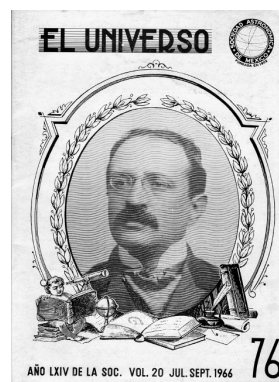
Los cuasares son objetos celestes que por más de treinta años han cautivado e intrigado a los astrónomos. El primero de estos objetos se descubrió en 1960 como una “radiofuente puntual”. Fue hasta 1963 en que los astrónomos empezaron a comprender lo que estaban viendo. Ese año, Cyril Hazard y Maarten Schmidt lograron hacer una identificación óptica precisa de la radiofuente gracias a una ocultación lunar y usando el telescopio de 5 metros de Monte Palomar (el más potente en esa época). El objeto tenía la apariencia de una débil estrellita azul, pero desde el principio se sospechó que no se trataba de ninguna estrella ordinaria, pues el objeto fue detectado por su potente emisión de radiofrecuencia y ninguna estrella tiene ese tipo de emisión en radiofrecuencias. Las estrellas son lo más parecido a lo que los físicos llaman un “cuerpo negro” o “emisor perfecto”: un cuerpo en equilibrio que emite con una energía máxima que depende sólo de su temperatura, tal es el caso de nuestro Sol, cuya temperatura superficial es de cerca de 6 000 °K y emite la mayor cantidad de energía en frecuencias que corresponden al color amarillo —mientras que, por ejemplo, el cuerpo humano emite radiación infrarroja, aunque no es un emisor perfecto, y para que una estrella emitiera el máximo de su energía en radiofrecuencia, tendría que estar todavía más fría que el cuerpo humano.

Unos años después quedó claro que aquella emisión era la radiación de electrones ultrarrelativistas —es decir, acelerados a velocidades cercanas a la de la luz—, en fuertes campos magnéticos. Este tipo de radiación, conocida como ciclotrónica o sincrotrónica dependiendo de la velocidad de los electrones, se había observado en laboratorios que experimentan con aceleradores de electrones, y fue identificada por primera vez en radiación proveniente del cosmos en 1953 por el astrónomo ruso Yosiv Shklovsky, al analizar la luz emitida por el gas remanente de la explosión de una estrella, una supernova, la Nebulosa del Cangrejo.

Una de las técnicas más usadas en astronomía para analizar la luz de los objetos es la espectroscopia; mediante ella podemos descomponer la luz (luz visible o cualquier radiación electromagnética). Desde que se analizó el espectro del primer cuasar descubierto, quedó claro que no sólo no se parecía a ninguna estrella por su emisión en radiofrecuencias, sino tampoco en su espectro óptico (luz visible). De hecho, no se parecía a ningún cuerpo celeste conocido hasta entonces. En 1963 Maarten Schmidt resolvió el enigma, cuando logró identificar en el espectro el patrón de emisión producido por el hidrógeno, el elemento más

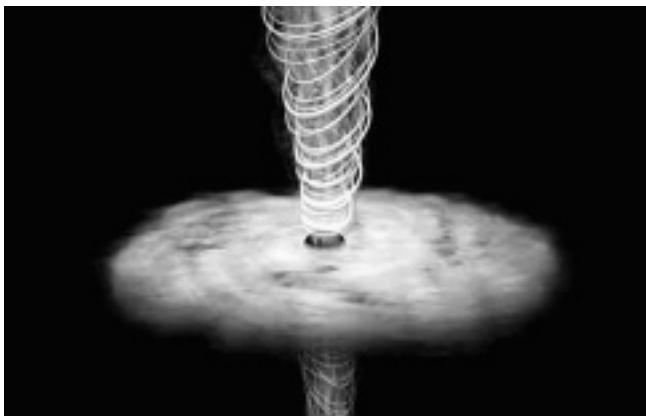
abundante en el Universo. Pero las longitudes de onda en las que aparecía este patrón se habían desplazado sistemáticamente hacia el lado rojo del espectro, aparecían con longitudes de onda mayores que las medidas en el laboratorio.

Fueron varias las hipótesis que se examinaron para encontrar la explicación a este efecto. Después de descartar otras posibles causas del corrimiento al rojo, vino la interpretación aceptada hasta hoy día por la enorme mayoría de los astrónomos. El corrimiento al rojo se debe a la expansión del Universo, debido a la cual todos los cúmulos de galaxias se alejan unos de otros. Esta es una de las predicciones más impactantes de la teoría de la relatividad general formulada por Albert Einstein alrededor de 1915, y comprobada observacionalmente por Edwin Hubble unos años más tarde. Además, Hubble logró establecer una relación entre la distancia a la que se encuentra una galaxia de nosotros y su velocidad de recesión, su alejamiento. Esta correlación se conoce como la ley de Hubble y nos dice que la velocidad de recesión es mayor cuanto más lejos se encuentra una galaxia, en proporción directa a la distancia de ésta última. El corrimiento al rojo de los patrones espectrales ya se había detectado en muchas galaxias, aunque nunca en la forma tan drástica como apareció en los cuasares, y por ser una medida de la velocidad de recesión derivada de la ley de Hubble, se usaba para determinar la distancia a galaxias lejanas. Así, al medir el corrimiento espectral del primer cuasar se obtuvo un valor inesperado de casi 16%, lo cual implica una velocidad de recesión de 47 000 kilómetros por segundo y una distancia de dos mil cuatrocientos millones de años luz. No cabía la menor duda: la “estrellita” azul era un objeto fuera de nuestra galaxia y el más lejano de los conocidos hasta entonces. Los valores de corrimientos espectrales medidos para cuasares más y más lejanos implican velocidades de recesión cercanas a las de la luz, por lo que en los cálculos de la distancia se



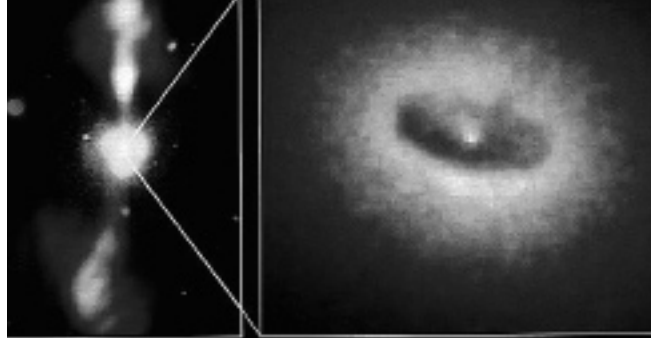
deben emplear fórmulas relativistas. El cuasar más lejano detectado hasta 2007 está a una distancia de 28 billones (28 más 12 ceros) de años luz.

El nombre de cuasar es una castellanización del vocablo inglés quasar, formado por las siglas del inglés quasi-stellar radio source y acuñado por Hong-Yee Chiu en 1964. Hoy se sabe que la mayoría de estos objetos son emisores más potentes en el registro óptico y de longitudes de onda menores (ultravioleta, rayos X y rayos gama) en el de radio, pero el nombre genérico se conserva. Hasta los ochentas no había siquiera consenso entre la comunidad astronómica sobre la naturaleza de estos objetos, hace unos quince años se conocían alrededor de 8 000 y hoy son más de 100 000, la mayoría encontrados al efectuar un escrutamiento óptico del cielo norte, en realidad sólo una "rebanada" del cielo norte conocido como Sloan Digital Sky Survey, un proyecto en curso que continuará arrojando datos. A lo largo de to-



dos estos años ha quedado claro que los cuasares no representan un fenómeno tan insólito en el Universo como se pensó en un principio; hoy se sabe que podemos encontrar objetos similares en los centros de muchas galaxias y que son diversos los fenómenos observables en que se manifiestan. Los cuasares se incluyen en la denominación genérica de núcleos activos de galaxias o NAGs.

Para regresar a la historia, el siguiente hallazgo sorprendente fue la variabilidad en el brillo de los cuasares. Se encontró que existían algunos que duplicaban su emisión de luz ¡en un día!, lo cual indica que la región que produce esta luz no puede ser mayor "un día luz" o 25 millones de kilómetros (dos veces el tamaño del sistema solar), es decir, que algunos cuasares producen mucha más energía que una galaxia como la nuestra, con sus cien mil millones de



estrellas, ¡desde una región tan pequeña como el Sistema Solar!

#### Agujeros negros supermasivos

En 1964, Yakov Zeldovich y Edwin Salpeter propusieron, de manera independiente, que la fuente de energía de los cuasares podría ser la radiación producida por gas y estrellas a punto de caer a un agujero negro, cuyo centro es de entre uno y varios millones de veces la masa del Sol.

Lo que pareció en un principio una idea descabellada ha resultado ser, a lo largo de estos últimos treinta años, la más aceptada por la comunidad astronómica, y en la última década la única confirmada por las observaciones. Sorprendentemente, a partir de 2002 la evidencia observacional más directa y contundente de la existencia de estos hoyos negros supermasivos en los centros de prácticamente todas las galaxias viene, ni más ni menos, de la observación del centro de nuestra propia galaxia. El centro de una galaxia se define como su centro rotacional y el de la nuestra se ubica cerca de 25 000 años luz del Sol, observado primero por su emisión en radio e identificado con la fuente llamada Sagitario A. Es imposible observar esta región en luz visible porque entre nuestro Sol, que está cerca de la orilla de la galaxia, y el centro se acumula casi todo el polvo del plano de la Vía Láctea, que absorbe la luz visible, la ultravioleta e incluso los rayos X "suaves" (de 0.1 a unos 5 KeV). En cambio, se han observado fenómenos "extraños" en el centro de la galaxia en rayos X "duros" (de 15 a 60 KeV) con el telescopio Chandra, en órbita desde 1999.

Más impactante aún ha sido el desarrollo de la capacidad de los grandes telescopios llamados de nueva generación (interferométricos) en el infrarrojo. En particular, esto ha permitido observar el movimiento propio de las estrellas alrededor del centro de nuestra galaxia. La primera determinación de una órbita completa llevó diez años y fue publicada en 2002 en la revista Nature por un grupo de astrónomos alemanes liderado por A. Eckhart, la cual posee un periodo orbital de 12.5 años y una distancia en el pericen-

tro de sólo 17 horas luz del centro. El resultado del análisis implica la rotación alrededor de un “punto” central con una masa de cerca de tres millones de masas solares, y las observaciones descartan cualquier posibilidad de una masa central compuesta de objetos estelares oscuros o de un objeto colapsado masivo hecho de fermiones degenerados.

La teoría y la historia

Veamos con algo más de detalle el modelo del agujero negro central. La teoría de la relatividad general describe la fuerza fundamental que a gran escala, en términos de la geometría del espacio-tiempo, opera en el Universo, esto es, la gravitación. La presencia de objetos masivos le da curvatura a este espacio-tiempo y esa curvatura se manifiesta como una “fuerza” de atracción hacia esos objetos masivos. Esta teoría amplía la concepción newtoniana de la gravedad y muchas de las predicciones adicionales que hace han sido ya corroboradas. En 1916, el astrónomo alemán Karl Schwarzschild, basándose en la teoría general de la relatividad formulada en 1915 por Einstein, calculó la deformación del espacio alrededor de un cuerpo esférico, lo que constituye la primera solución particular a las ecuaciones de Einstein, estipulando que si una esfera con una masa cualquiera tiene un radio menor a un cierto valor, llamado Radio de Schwarzschild en honor a su descubridor, nos encontramos ante el hecho extraño de que su gravedad atrapa todo, incluso la luz. Es lo que hoy llamamos un hoyo negro.

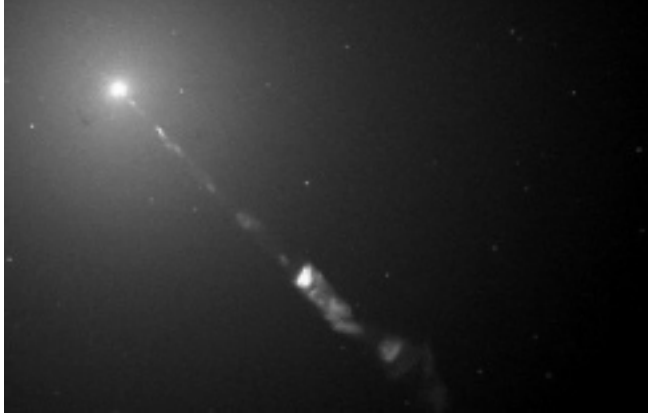
Aun en el marco de la física clásica podemos entender esta idea: la masa y el radio de un cuerpo esférico están relacionados por la expresión  $R = 2GM/v^2$ , en donde R y M designan el radio y la masa, respectivamente, G es la constante de gravitación universal y v es la velocidad de escape, es decir, la velocidad que debe imprimirse a un obje-



to para que se libere (escape) de la atracción gravitacional del cuerpo. Como ejemplo, pensemos en los cohetes que impulsan las naves espaciales, los cuales deben imprimir una velocidad mínima de 11 kilómetros por segundo a dichas naves para que puedan escapar de la atracción gravitacional terrestre y salir al espacio, que es la cantidad obtenida si ponemos la masa y el radio de la Tierra en la expresión de arriba. Pero supongamos que su masa fuese la misma y su radio de aproximadamente medio centímetro en lugar de poco más de 6 000 kilómetros, entonces la velocidad de escape que nos daría la expresión de arriba sería mayor a 300 000 kilómetros por segundo, es decir, mayor que la velocidad de la luz, y entonces NADA podría escapar a la acción de su gravedad, ni siquiera la luz; esto es, precisamente, lo que caracteriza a un agujero negro. Como se ve, el término agujero, probablemente debido al físico norteamericano J. A. Wheeler, resulta un tanto impreciso pues no se trata de un agujero en el espacio, sino más bien de una enorme condensación de materia, pero es un nombre que se relaciona más bien con la geometría del espacio-tiempo generada por estos objetos en el marco de la relatividad general.

Es notable que, en 1793, más de un siglo antes de que Einstein formulara su teoría, y con base, no en la relatividad, sino precisamente en la mecánica clásica, Pierre-Simon





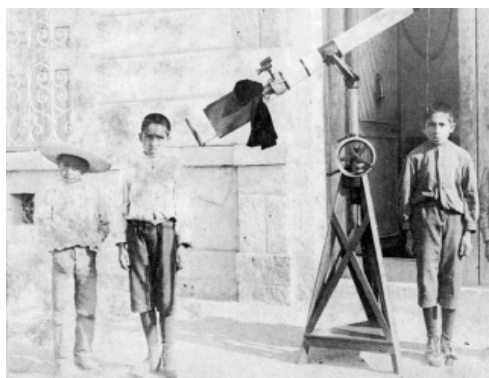
Laplace calculó un radio gravitacional que correspondía exactamente al valor del radio de Schwarzschild. Laplace fue la primera persona en la historia que formuló un concepto parecido al de un hoyo negro —aunque claro que no utilizó este nombre—, el cual aparece en su Tratado de mecánica celeste, y lo notable es que usa la idea de velocidad de escape y que la gravedad actúa sobre la luz, además de preguntarse, igual que lo haría más de un siglo después Schwarzschild, si existirían en la naturaleza cuerpos con estas características. La respuesta de la astrofísica a esta interrogante llegó hasta la década de los sesentas.

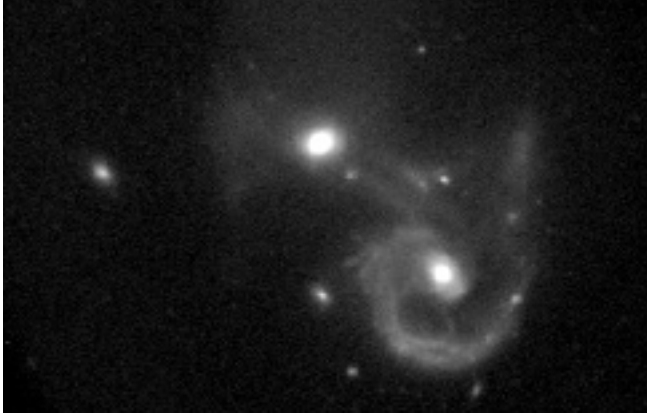
Desde los treinta se sabía que una estrella como nuestro sol puede brillar alrededor de diez mil millones de años (el Sol está a la mitad de su vida), ya que después de pasar por diversas fases inestables y relativamente cortas, se apaga y se “encoge” bajo su propio peso, pues ya no hay presión de radiación que se contraponga a su gravedad. La misma física de la evolución estelar predecía que las estrellas más masivas desarrollan inestabilidades que hacen estallar su parte externa dejando remanentes fríos que colapsan bajo su propio peso y se convierten en estrellas de neutrones o en hoyos negros. Fue Zeldovich quien señaló dónde buscarlos y cómo encontrarlos, y el primero se detectó en 1970 gracias al primer telescopio de rayos x. Como vimos antes, Zeldovich y Salpeter propusieron la existencia de otro tipo de hoyos negros, que son los que hacen

brillar a los cuasares y los núcleos activos de galaxias, y que se les llama “supermasivos”, pero cuyo origen es aún desconocido.

#### Los distintos tipos de NAGs

En los últimos veinticinco años se ha realizado un intenso trabajo para, por un lado, observar los NAGs en todas las frecuencias posibles, desde las radiofrecuencias hasta los rayos gama, lo cual ha sido posible gracias al increíble avance en la tecnología astronómica en detectores, la construcción de telescopios y espejos enormes y de observatorios espaciales; pero también para comprender los procesos físicos y afinar modelos teóricos que puedan explicar los fenómenos que se observan en los diversos tipos de NAGs. Al ir juntando pacientemente las piezas del gran rompecabezas ha emergido el hecho de que, como ya lo mencionamos, ocurren fenómenos muy similares en los núcleos de muchos tipos de galaxias, sólo que no se comprendían ni se habían podido asociar bajo una misma causa: 1) las llamadas galaxias Seyfert, descubiertas por Carl Seyfert en los cuarentas, poseen un núcleo prominente que se veía como una estrellita azul; este tipo de núcleos se encuentra en galaxias con morfología espiral; 2) las radiogalaxias, descubiertas en los cincuentas, sólo hasta los setentas fueron relacionadas con fenómenos del núcleo de su contraparte —una galaxia observable en luz visible. Son de morfología elíptica y suelen ser gigantes en los centros de grandes cúmulos de galaxias; 3) el extremo más energético de este fenómeno lo constituyen unos objetos conocidos como objetos tipo BL Lac, descubiertos en los setentas pero “descifrados” varios años más tarde. Además de su potencia, una distinción importante de estos objetos es que es muy difícil detectar las líneas en sus espectros. Cuando finalmente se lograron detectar líneas débiles en el objeto prototipo,





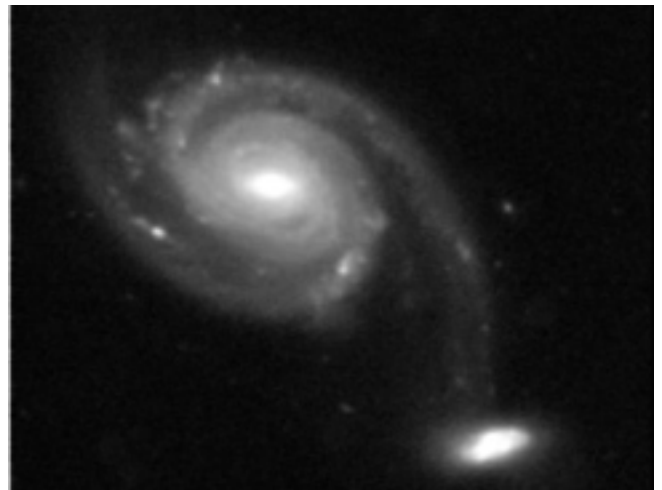
conocido hasta entonces como la estrella variable BL Lacertae o estrella BL en la constelación del Lagarto, se descubrió que no era una estrella, sino también un objeto fuera de nuestra galaxia y muy lejano. El conjunto de los objetos tipo BL Lac o lagartos y los cuasares cuya luminosidad varía más violentamente en el óptico —OVVs, por las siglas de *Optically Violently Variable*—, constituyen la clase de objetos conocidos como blazares.

Es muy vasto este “zoológico”. Baste resumir que los NAGs suelen dividirse entre objetos radiofuertes y radiocallados —aunque la definición es algo arbitraria y lo de fuerte o callado es relativo. Para tener una idea, las radiogalaxias y sus parientes los blazares y cuasares radiofuertes emiten con potencias típicas de  $10^{38}$  W en frecuencias entre 10 MHz y 100 GHz). Entre los radiocallados se incluyen los llamados LINERS —núcleos activos de baja luminosidad—, que se encuentran en probablemente en todas las galaxias. Ya en 1956 Geoffrey Burbidge señaló que la densidad de energía observada en las radiogalaxias estaba en contradicción con los procesos de emisión energética conocidos hasta entonces.

#### Toda la física en los NAGs

Para comprender los procesos que se dan en los NAGs necesitamos de toda la física conocida y más. El modelo de generación de energía puede resumirse de la siguiente manera: la enorme fuerza gravitacional del agujero negro atrae material de las regiones centrales de la galaxia circundante, gas y estrellas, que por su momento angular (o cantidad de rotación) forman una especie de remolino alrededor del agujero negro. Las estrellas se destruyen previamente por la acción de intensísimas fuerzas de marea al orbitar en las cercanías del agujero negro. La mitad de la energía se genera en este remolino (el término técnico es disco de acreción). A distintas distancias, el gas del disco gira con diferente velocidad (esto se llama rotación diferencial), el momento angular disminuye drásticamente y el disco se

calienta debido a la fricción entre capas contiguas. Así, se radia energía, desde el disco, y esta energía térmica, de calentamiento, corresponde, aproximadamente, a un cuerpo negro de 20 000 °K, y se emite básicamente en la región ultravioleta del espectro. La otra mitad de la energía, cuyo origen es finalmente gravitacional, se emite desde el borde interno del disco de acreción. De acuerdo con las ecuaciones de Einstein, la materia, antes de caer al hoyo negro, convierte parte de su masa en energía radiante —la conocida fórmula  $E=mc^2$ . La eficiencia de este proceso de conversión de masa en energía puede llegar a 40%, es decir, que 40% de la masa del gas se convierte en energía radiante antes de caer a un hoyo negro. La verdad es que no se sabe cuál es la distribución en frecuencias de esta energía.



El único proceso capaz de producir energía con mayor eficiencia es la aniquilación de materia y antimateria —pues el 100% de la masa de las partículas que se aniquilan se convierte en energía—, pero este proceso se da sólo en el laboratorio y no —al menos que se sepa— en la naturaleza. El Universo —¿o este universo?— está hecho sólo de materia.

Es muy ilustrativo comparar la eficiencia de la generación de energía cerca de un hoyo negro con la del proceso más eficiente conocido en la naturaleza: la fusión termonuclear, fuente de energía en el interior de las estrellas. En esa reacción, que fusiona cuatro núcleos de hidrógeno para producir un núcleo de helio, se convierte parte de la masa de los cuatro protones originales en energía radiante, por lo que la eficiencia de conversión es de 0.7%, contra 40% en el caso antes mencionado. En suma, cerca de un hoyo

negro supermasivo se puede emitir tanta energía como un billón de soles, y este fenómeno ocurre en una región, en el borde interno del disco de acreción, cuyas dimensiones son apenas mayores a las del sistema solar.

Esta es sólo la fuente de energía “primaria”. Hay muchos otros procesos que intervienen en el estudio de los NAGs, como los jets o chorros de plasma extremadamente colimados, producidos en los NAGs radio fuertes por un proceso hasta ahora no muy bien comprendido, los cuales están constituidos por partículas ultrarrelativistas lanzadas al espacio desde el borde interno del disco de acreción. La física de estas eyecciones está en pañales, aunque se sabe que la energía emitida es de origen sincrotrónico y producida por estas partículas que se mueven en campos magnéticos a velocidades cercanas a la de la luz.

Un proceso ligado a la radiación sincrotrónica es la radiación debida al proceso de Compton inverso, mediante el cual un electrón relativista interactúa con un fotón del medio y le transfiere energía para convertirlo en un fotón de más alta frecuencia; es un proceso importante para explicar la emisión de rayos X, duros. La misma radiación sincrotrónica puede ser fuente de emisión primaria desde el infrarrojo hasta los rayos X e incluso de rayos gama. Algunas otras propiedades de la radiación, como la polarización, son útiles para distinguir entre ambos procesos, pero no siempre es posible, ya que a lo largo de los chorros también se propagan ondas de choque. Todo esto es sólo para explicar la emisión de continuo, mejor no hablar de líneas de emisión y absorción.

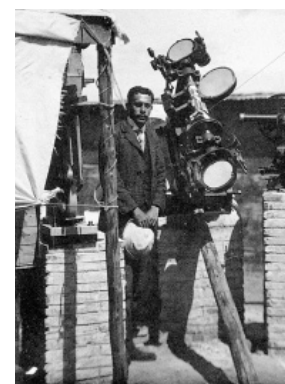
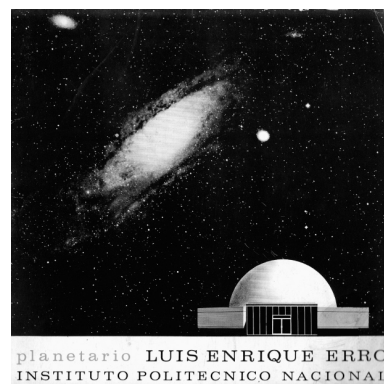
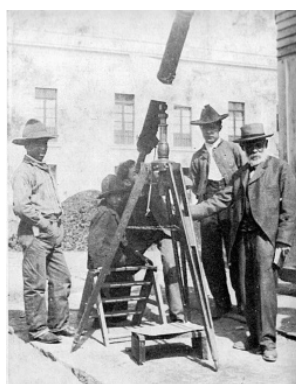
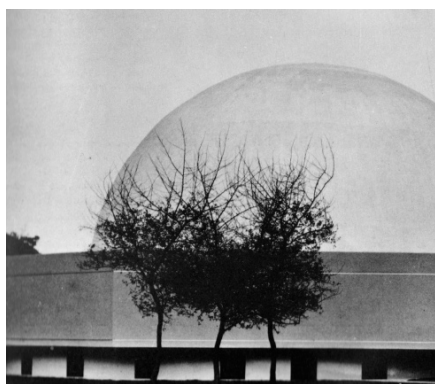
La orientación de los chorros con respecto de la línea de visión del observador también influye mucho en lo que vemos. Las radiogalaxias representan un extremo, ya que el observador ve el disco de canto. El otro extremo corresponde a ver el chorro dirigido hacia el observador, o casi, como sucede con los blazares.



Otros efectos, como el enfoque relativista, beaming, se vuelven muy importantes en este caso. Si observamos un chorro relativista con un ángulo de visión de tan sólo cinco grados, la luminosidad observada desde la Tierra puede ser de hasta setenta veces la emitida en el sistema de referencia local. También hay un corrimiento considerable al azul, un aumento en la frecuencia, de la radiación observada. Entre estos dos ángulos de visión extrema —que están estadísticamente de acuerdo con la proporción de este tipo de objetos— están todos los cuasares radio emisores, la mayoría de los cuales son radio débiles. No se sabe a qué se debe esta diferencia, se especula que tiene que ver con el spin, el momento angular, del hoyo negro.

#### La interacción gravitacional de galaxias

Para producir la luminosidad de los cuasares, el hoyo negro central debe “engullir”, en promedio, el equivalente de una masa solar por año. Parece poco, pero llegará un momento en que se acabe el material del centro de la galaxia —no olvidemos que, por muy grande que sea la atracción gravitacional, disminuye con el cuadrado de la distancia—, y cuando esto suceda, ¿se “apagará” para siempre la actividad nuclear? Tal es el caso del centro de nuestra galaxia, donde sabemos que hay un hoyo negro supermasivo, pero “muerto de inanición”, ¿se puede reactivar?




En cualquiera de los casos, la colisión causa que una gran cantidad de gas fluya hacia el núcleo de la nueva galaxia, “encendiendo” un cuasar. La idea de las colisiones de galaxias no es nueva; ya en los años setentas se podían explicar varias morfologías peculiares como “colas”, “puentes” y “plumas” en galaxias, por los fenómenos de interacción, ya sea de manera directa —por la fusión de galaxias— o indirecta —por las fuerzas de marea debidas a encuentros cercanos. Un ejemplo típico es el sistema conocido como “la antena” en la constelación del Cuervo.

Las simulaciones numéricas de la interacción de galaxias que se podían hacer en las computadoras de aquella época sólo tomaban en cuenta las estrellas, no el gas, lo cual es una gran limitante, porque cuando dos galaxias chocan o simplemente se acercan mucho no sucede gran cosa con las estrellas, pues las distancias interestelares son tan enormes, que la mayoría de las estrellas no se tocan entre sí, más bien se “atravesan” como fantasmas. El gas que llena los enormes volúmenes del espacio interestelar es el más afectado por las fuerzas de marea. En el caso de una colisión total el gas se aglutina en el centro de la galaxia remanente de la fusión. Si cada galaxia tiene además un hoyo negro en el centro, éstos se pueden fusionar para

generar un hoyo negro con una masa que es la suma de las originales o se pueden formar sistemas de hoyos negros dobles, binarios, de los cuales se conoce con certeza al menos uno: OJ287. También puede suceder que una proximidad muy grande pueda inducir un gran flujo de gas al centro de una de las galaxias o de ambas por la acción de fuerzas de marea, fenómeno puede reencender la actividad en un núcleo apagado, proporcionando “alimento” a un hoyo negro inactivo, como el de nuestra galaxia.

Faros que alumbran el pasado

Por último, hay que decir que los cuasares son una especie de faros que iluminan el pasado. Nos referimos al pasado del Universo, ya que la luz que observamos de ellos, fue emitida en una época muy remota, antes de que existieran astrónomos para estudiarla, antes incluso, de que existiera nuestro sistema solar. Tal vez algunos de esos objetos ahora sean galaxias con soles y planetas en los que haya astrónomos que vean a la Vía Láctea como fue hace miles de millones de años, quizá como un cuasar. En todo caso, el estudio de los cuasares es también esencial para la cosmología, el estudio del origen y evolución del Universo como un todo. 

Deborah Dultzin  
Instituto de Astronomía,  
Universidad Nacional Autónoma de México.

#### IMÁGENES

P. 54: Cuasar. P. 55: Luis G. León portada de *El Universo*, boletín de la SAM, núm. 76.1966; Observatorio Astronómico Nacional. De izquierda a derecha: Ángel Anguiano, Guillermo Puga, Camilo González, Francisco Rodríguez, Abel Díaz y Manuel Moreno, hacia 1900. P. 56: Ilustración artística del remolino, técnicamente “disco de acreción”, alrededor de un Hoyo; Izquierda: superpo-

sición de imágenes de radio de galaxia elíptica *NGC 4261*, Derecha: imagen (óptica) obtenida con de Telescopio Espacial Hubble de la región central. P. 57: La galaxia elíptica *M 87*, Imagen del telescopio Franco-Canadiense-Hawaiano; Observatorio Astronómico de Tacubaya; Primera mesa Directiva de la Sociedad Astronómica de México, Cap. Gabriel F. Aguillón, Ing. Guillermo Beltrán y Puga, Lic. Felipe Rivera, Srita. Refugio González, y Prof. Luis G. León; Cúpula del telescopio del Observatorio de San Pedro Mártir Baja California. P. 58: Centro de la galaxia *M 87*, Imagen del Telescopio Espacial Hubble; Calle de Cocheras núm. 7, hoy Colombia, D.F., Luis G. León tenía este anteojo Zeiss para la divulgación de la astronomía; Fotografía de la sede de la SAM en el Parque Álamos D.F.; En casa de Luis. G. León en

Coyoacán, Jesús Galindo y Villa observa el Sol al lado de sus hijas. P. 59: Par de galaxias interactuantes *KPG 254*, izquierda galaxia elíptica, derecha, galaxia en espiral, Imagen del Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir por Hernández-Toledo & Dultzin; Par de galaxias interactuantes *KPG 597*, Imagen del Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir por Hernández-Toledo & Dultzin. P. 60: Cuasar 3C 175 en ondas de radio, Imagen del arreglo VLA del National Radio Astronomical Observatory; Vista del Planetario Luis Enrique Erro, IPN, 1967; Jesús Medina y José María Medina cuidaban de la SAM; Planetario Luis Enrique Erro, IPN. Portada de la guía oficial; Observatorio de Tacubaya, personal e instrumentos. P. 61: Jorge Pablo de Aguinaco Eclipse del siglo, 1991.

#### QUASARS AND ACTIVE GALACTIC NUCLEI

Palabras clave: cuasares, agujero negro, Núcleos Activos de Galaxias  
Key words: quasars, black hole, Active Galactic Nuclei

Resumen: El artículo aborda los elementos que caracterizan al estudio observacional de los hoyos negros, los núcleos activos de galaxias, y de los cuasares.  
Abstract: The article discusses the elements that characterize the observational study of black holes, active galactic nuclei, and quasars.

Deborah Dultzin Kessler es investigadora del Instituto de Astronomía de la UNAM, ganadora del premio Sor Juana Inés de la Cruz que otorga la UNAM a destacadas científicas; es investigadora nacional, árbitro de revistas internacionales y pionera, en México, en el estudio de los agujeros negros. Es autora, entre otros textos, de Cuasares, en los confines del Universo.

Recibido el 20 de febrero de 2009, aceptado el 19 de abril de 2009.