

# Agujeros negros en las galaxias

Existen claras evidencias de la presencia de agujeros negros supermasivos en el centro de la vía láctea y de otras galaxias observadas recientemente por el telescopio espacial Hubble. Todos ellos han nacido del colapso gravitatorio de estrellas gigantes nacidas en estos núcleos galácticos.

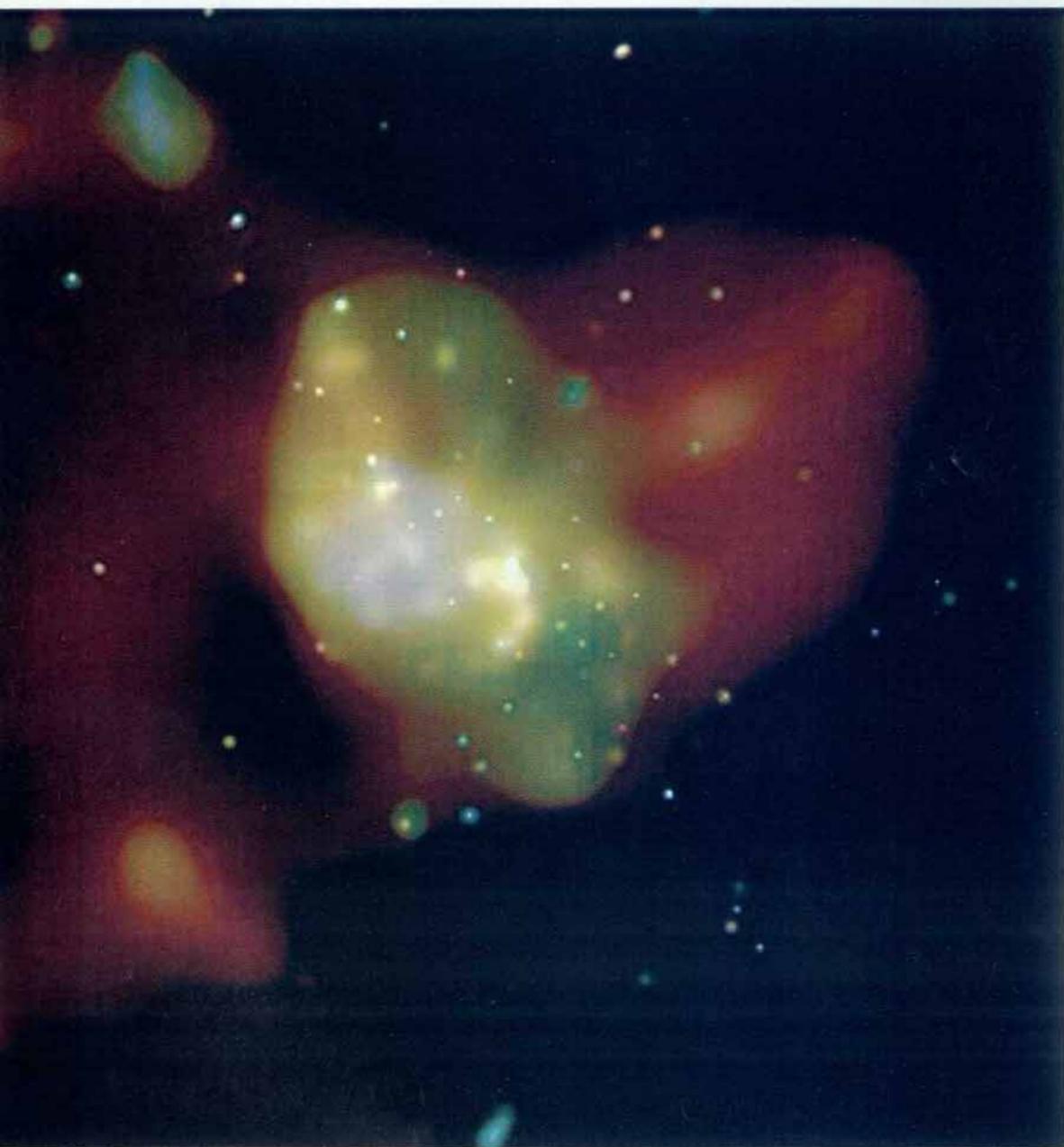
**Josep M. Trigo i Rodríguez,**  
Astrofísico, profesor asociado del Depto. Ciencias Experimentales, Universidad Jaume I.  
Correo-e: trigo@exp.uji.es

**E**l proceso que puede convertir una estrella masiva en un agujero negro es su colapso gravitatorio durante la fase Supernova (véase *Mundo Científico*, nº 219, 2001). En ella la estrella se derrumba sobre sí misma como consecuencia de su incapacidad para generar más energía que sostenga su inmensa gravedad. El resultado es la compresión del núcleo estelar hasta densidades tales que se convierte en una estrella de neutrones. Si la masa colapsada superase el denominado límite de Oppenhei-

mer-Volkoff que se considera situado en unas 3 masas solares, la presión de los neutrones degenerados no sería capaz por sí misma de detener el colapso y la materia seguiría contrayéndose. Al final de ese proceso la densidad sería tal que ni siquiera la luz podría escapar del núcleo estelar degenerado. En ese momento alrededor del objeto se habría formado un agujero negro, una región del espacio-tiempo que no puede comunicar con el Universo exterior cuyo límite es conocido como horizonte de sucesos.

## El colapso de una estrella gigante previo a su explosión supernova genera en ocasiones un agujero negro

Aunque todavía pueda sorprendernos, el espacio se curva a nuestro alrededor como propuso Albert Einstein y posteriormente demostró en el ya célebre eclipse de Sol de 1919. La masa de cualquier objeto (bien sea algo tan pequeño como una persona o tan grande como una galaxia) deforma el espacio-tiempo a su alrededor. La curvatura del espacio tiempo da lugar precisamente a la fuerza de atracción gravitatoria aunque en realidad más que atraerse la materia «siente» la curvatura del espacio a su alrededor. Los agujeros negros tienen la propiedad de encerrar una masa de varias masas solares en una región del espacio muy pequeña. En esas condiciones los agujeros negros originan auténticos pozos en el espacio-tiempo. Si se consiguiese comprimir el Sol (con una masa unas 330.000 veces la de la Tierra) a una esfera sin rotación que poseyese un radio de 2,9 kilómetros se formaría un agujero negro de Schwarzschild. En ese momento la luz dejaría de llegar desde nuestra estrella pues sería incapaz de superar el intenso campo gravitatorio del agujero negro creado en el espacio-tiempo. En la práctica tal tipo de agujeros negros sin rotación no existe pues todos estos objetos conservan el momento angular de la estrella progenitora. Por la ley de conservación del momento angular cuando una estrella reduce su radio su velocidad de giro aumenta. Por poner un símil, algo similar le ocurre a un patinador sobre hielo cuando pliega sus extremidades girando sobre sí mismo.



**Figura 1.** El equipo de Frederick K. Baganoff ya detectó con el Observatorio de Rayos X Chandra esta violenta fulguración procedente de la radiofuente Sagitario A. Un inmenso agujero negro escondido en el centro de la Vía Láctea es el causante. (HST/NASA)



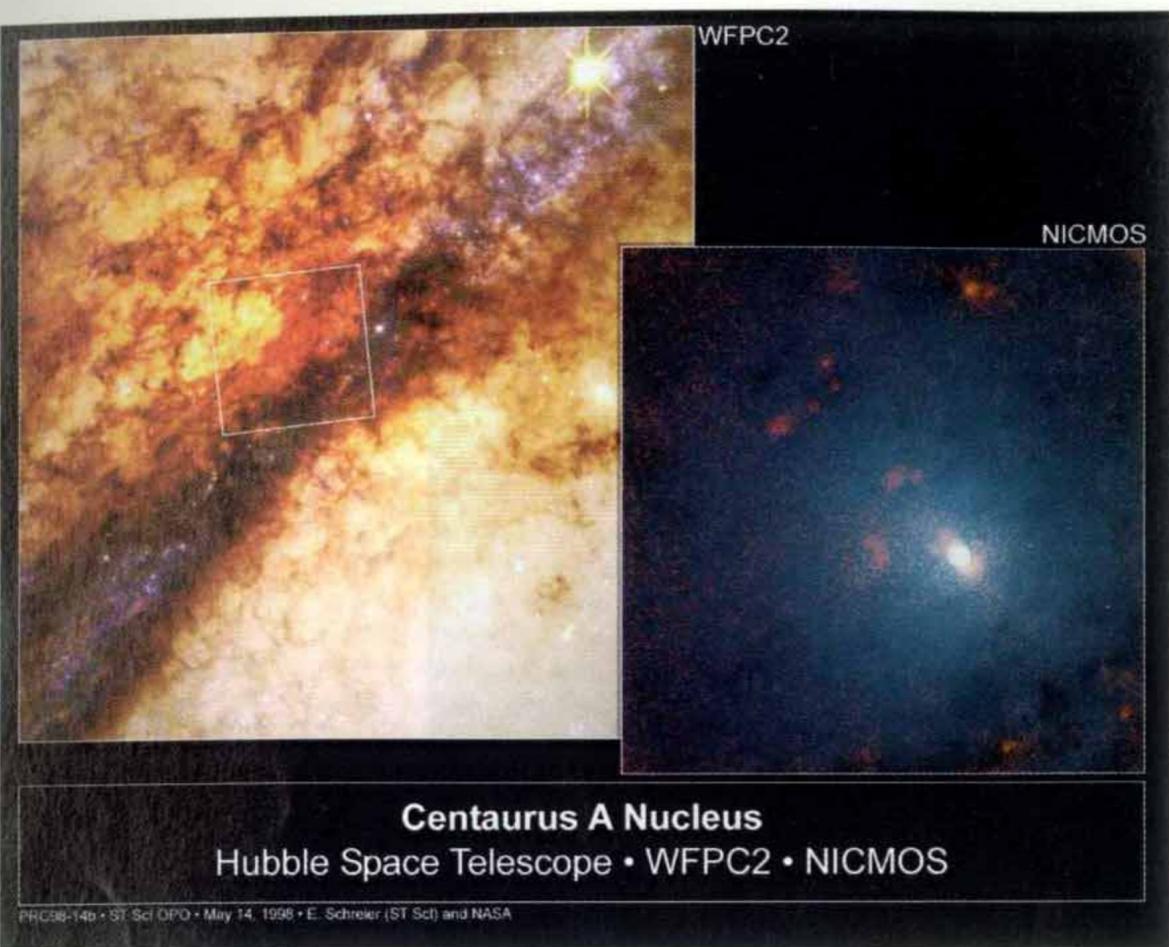
**Figura 2.** Imagen visible y radio superpuesta de la galaxia Centauro A. Aunque el núcleo galáctico queda escondido por una barra central de materia oscura que absorbe la radiación visible, la fuente de los intensos chorros de gas detectados por los radiotelescopios debe ser un agujero negro supermasivo. (HST/NASA)

Durante el colapso estelar que precede a la explosión supernova si el radio del núcleo remanente se reduce al típico de una estrella de neutrones o de un agujero negro el giro se hace realmente vertiginoso.

El público suele contemplar con incredulidad e incluso con cierta desconfianza la existencia de los agujeros negros. A esa aureola de misterio pero también de curiosidad han contribuido las obras literarias de ciencia-ficción. Sin embargo en astrofísica hace mucho tiempo que los agujeros negros dejaron de ser ciencia-ficción para convertirse en un área de trabajo apasionante que encierra, nunca mejor dicho, muchas sorpresas.

**Los brillantes destellos de Sagitario A.** Se denomina *Sagitario A* a una compacta radiofuente situada en el centro dinámico de la Vía Láctea. A pesar de su apariencia prácticamente estelar, vista desde la Tierra constituye uno de los objetos más brillantes del firmamento observado en el rango radio del espectro electromagnético. Desde su descubrimiento se ha

contemplado esta radiofuente como un candidato a agujero negro y de hecho conforme se realizan un número mayor de estudios se refuerza mucho más esa idea. Recientemente, en septiembre de 2001 se publicó en la prestigiosa revista *Nature* una importante corroboración de la presencia de un agujero supermasivo en el núcleo de la Vía Láctea. Un equipo norteamericano liderado por F. Baganoff y M. Bautz del Center for Space Research de Cambridge e integrado por otros nueve investigadores de los Departamentos de Astronomía de las Universidades de Pennsylvania y California, detectó que Sagitario A era fuente de brillantes destellos de rayos X. De su investigación se deduce que la emisión radio procedente de esa fuente debe proceder de la emisión de energía potencial gravitatoria de la materia que está cayendo sobre un agujero negro de 2,6 millones de veces la masa del Sol. La señal detectada variaba con frecuentes altibajos en un plazo de pocas horas. La aparición y desaparición de estas brillantes fulguraciones de rayos X detectada por el equipo de Baga-



**Centaurus A Nucleus**  
Hubble Space Telescope • WFPC2 • NICMOS

**Figura 3.** Imagen ampliada del núcleo de la Galaxia Centauro A donde se aprecia la brillante fuente de radiación captada por la cámara NICMOS (HST/NASA).

noff y Bautz apoya el hecho ya anteriormente constatado por otras vías de que grandes cantidades de gas procedente de estrellas próximas al horizonte de sucesos estén cayendo sobre el agujero negro. El modelo teórico más aceptado sugiere que la masa de ese objeto debe estar próxima al millón de masas solares y que puede mantener esa enorme luminosidad gracias a poseer un disco de acreción de gas alrededor de él.

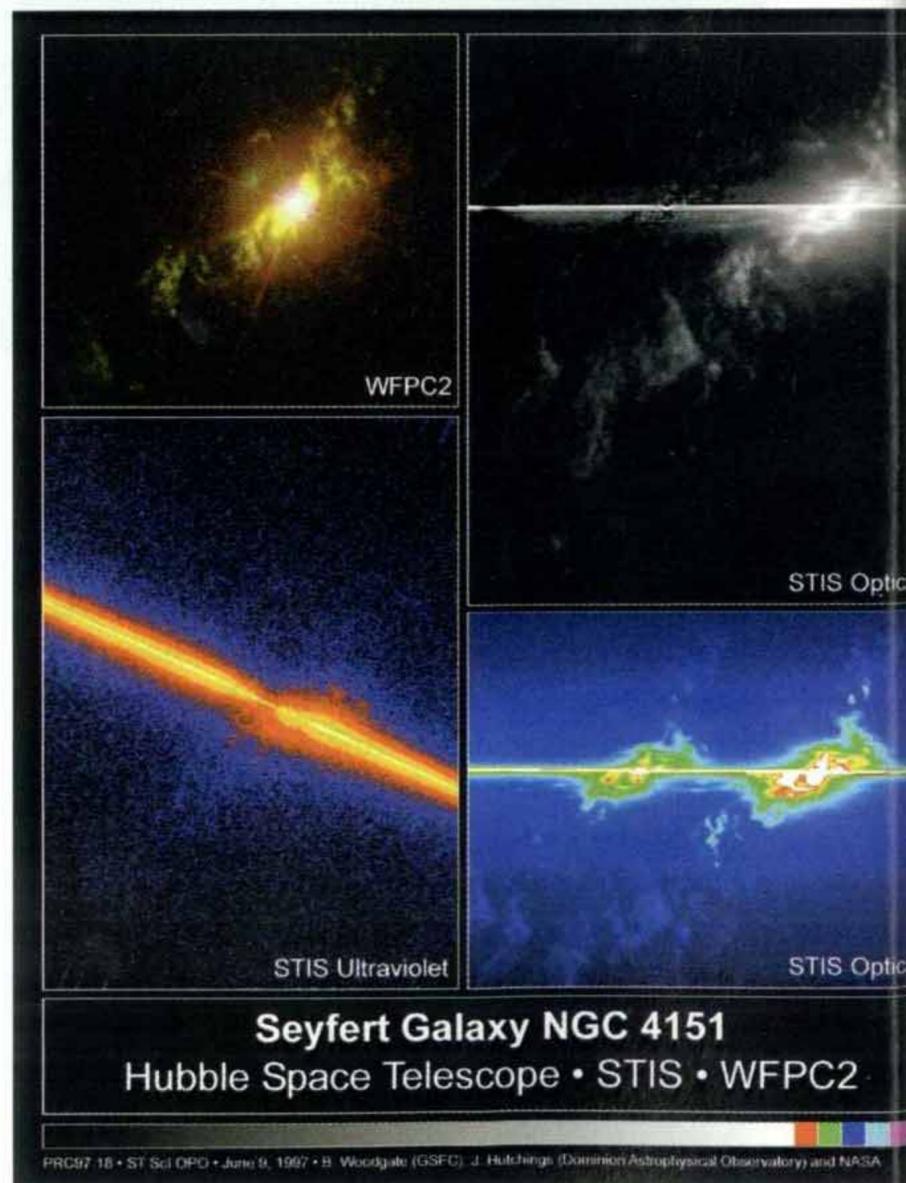
**Un equipo norteamericano liderado por F. Baganoff y M. Bautz del Center for Space Research de Cambridge**

Este disco estaría siendo constantemente regenerado por el flujo constante de gas situado en las inmediaciones del agujero negro. Según el gas cae girando en espiral hacia el agujero negro se calienta enormemente y emite la radiación tan intensa detectada con los radiotelescopios. Podría pensarse que este fenómeno fuese inusual pero nada más alejado de la realidad, en los últimos tiempos se han recogido evidencias de que este tipo de agujeros negros supermasivos son frecuentes en el núcleo de otras muchas galaxias.

**Agujeros negros en el núcleo de otras Galaxias.** Muchas galaxias constituyen una fuente intensa de emisiones radio. Algunas de ellas se denominan genéricamente radiogalaxias aunque las Galaxias Seyfert u otros objetos exóticos como los cuásares y los blázares también son potentes emisores de ondas de radio y en ocasiones radiación infrarroja o ultravioleta. Para explicar la intensa emisión radio procedente de los núcleos de estas galaxias el denominado modelo unificado propone que estas galaxias se comportan como intensos emisores de ondas de radio al contener en su núcleo

un agujero negro supermasivo que altera su apariencia y a veces hasta la propia constitución central de la galaxia que lo aloja.

De una manera similar a lo que sucede en Sagitario A en el centro de la Vía Láctea, en estas otras galaxias agujeros negros tan o incluso más inmensos actúan absorbiendo el gas que se pone a su alcance, formando brillantes discos de acreción a su alrededor. Dependiendo de la masa del agujero negro y de la masa de gas que cae sobre él este fenómeno puede explicar la apariencia de galaxias más o menos brillantes en longitudes de onda radio. La caída de partículas cargadas en estos ya de por sí objetos de giro frenético, induce la aparición de intensos campos magnéticos. En esas condiciones los cálculos magnetohidrodinámicos realizados en las últimas décadas predicen que en algunos casos puede tener lugar la aparición de chorros de materia expulsada en dirección perpendicular al plano del disco de acreción. Entre la materia expulsada en esos chorros, los electrones contenidos al ser lanzados hacia el espacio exterior emiten radiación sincrotrón al moverse a gran velocidad en el campo magnético de la galaxia. En ocasiones la magnitud del proceso es tal que los chorros pueden propagarse en el espacio intergaláctico, ionizando el medio circundante y facilitando de ese modo la

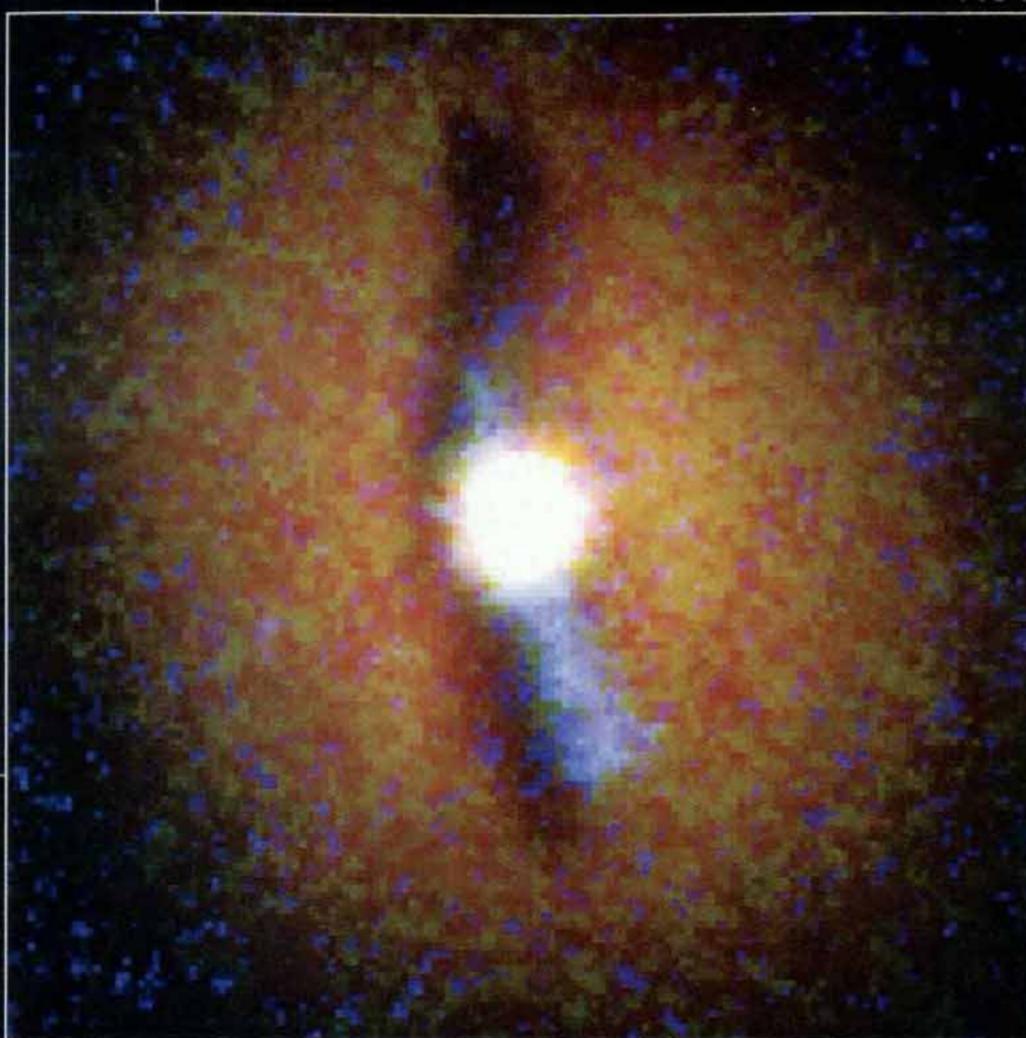


**Seyfert Galaxy NGC 4151**  
Hubble Space Telescope • STIS • WFPC2

**Figura 4.** Un impresionante chorro de materia nace en la galaxia Seyfert NGC 4151. Un incómodo inquilino, un agujero negro supermasivo hace de las suyas en su interior (HST/NASA).



Ground



## Galaxy NGC 6251 Nucleus

### Hubble Space Telescope • FOC • WFPC2

PRC97-28 • ST ScI OPO • September 10, 1997 • P. Crane and J. Vernet (European Southern Observatory) and NASA

detección por los telescopios. Las imágenes de núcleos galácticos con técnicas radio evidencian la magnitud de tales procesos que a veces se extienden por el espacio intergaláctico a distancias varias veces mayores que las dimensiones de las galaxias involucradas.

Las galaxias Seyfert y los cuásares no emisores de ondas de radio pueden explicarse a partir de modelos teóricos carentes de chorros mientras que los cuásares radioemisores y las radiogalaxias pueden describirse mediante los modelos que producen intensos chorros. De hecho objetos tan intrigantes hace unas décadas como fueron los cuásares (de quasi stellar object: quasar) hoy en día no hay duda de que se trata de

núcleos activos de galaxias muy lejanas lo cual explica algunas de sus características más sorprendentes como su alto corrimiento al rojo.

Las imágenes de los núcleos de galaxias activas tomadas bien por grandes telescopios desde el suelo bien por el Telescopio Espacial Hubble revelan una fauna de formas que a primera vista podría resultar desconcertante. Sin embargo, y para regocijo de la astrofísica teórica, estas imágenes pueden ser explicadas a partir del modelo unificado general, dependiendo de la masa del agujero negro involucrado, la cantidad de gas que cae en el disco de acreción y de la intensidad de los campos magnéticos presentes en ese medio galáctico. Un bello ejemplo del principio de simplicidad que debe ser inherente a la explicación de los fenómenos físicos aunque en este caso ocurra a una escala que nos resulta difícil de imaginar. **J.M. T. ■**

**Figura 5.** En el corazón de la galaxia activa NGC 6251 el Telescopio Hubble reveló en 1997 la presencia de un impresionante anillo de polvo y gas que al caer sobre un agujero negro supermasivo produce un chorro de luz ultravioleta (HST/NASA)

**Figura 6.** Disco de polvo cayendo sobre el agujero negro supermasivo presente en el centro de la galaxia NGC4261, una galaxia a unos cien millones de años luz situada en la constelación de Virgo. (HST/NASA)



#### Para más información:

- Baganoff F.K. et al. 2001, «Rapid X-ray flaring from the direction of the supermassive black hole at the Galactic Centre», Nature vol. 413, págs. 45-47.
- Galadí D. Y J. Gutiérrez 2001, «Astronomía General», Ediciones Omega, Barcelona.
- Trigo i Rodríguez J.M. 2001, «Nosotros en el Universo», Editorial Complutense, Madrid.