

GALAXIAS ACTIVAS

Alimentando al monstruo

¿QUÉ OCURRE CUANDO EL AGUJERO NEGRO EN EL CENTRO DE UNA GALAXIA DESPIERTA DE SU LETARGO? **MONTSERRAT VILLAR MARTÍN**

Érrese una vez... un dragón que dormitaba en el interior de una gruta, en pleno corazón del reino. Los habitantes del país vivían plácidamente y sin grandes avatares, salvo los propios de una existencia cotidiana. Todos sabían que allí moraba un temible monstruo. Sin embargo, residían despreocupados pues este pasaba los días escondido y tran-

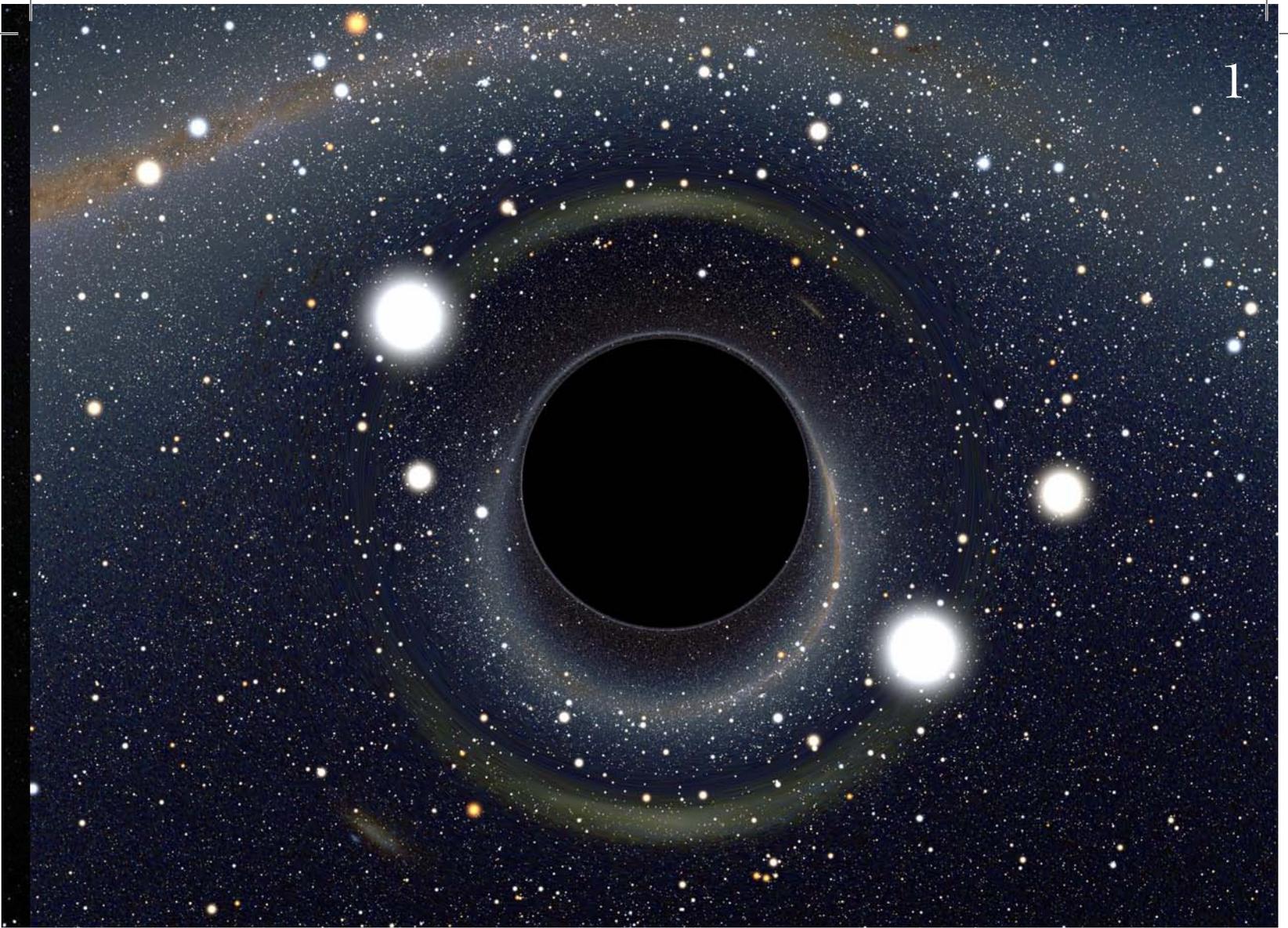
quilo, sin molestar a nadie. Salvo a quienes entraban en la cueva: estos no regresaban jamás. La bestia entonces despertaba y las consecuencias eran devastadoras.

Vamos a hablar de monstruos en el corazón de las galaxias. Este artículo trata de galaxias activas: aquellas cuyo centro está ocupado por un enorme agujero negro, el dragón de nuestra historia, cuya presencia pasaría en general inadver-

tida, salvo que algún mecanismo lo active despertándolo de su letargo. ¿Qué ocurrirá entonces?

EN EL CORAZÓN DE LA VÍA LÁCTEA

Viajemos al centro de nuestra Galaxia, situado a unos 27 000 años luz de nosotros. Si la Vía Láctea cupiera en un campo de fútbol, el Sistema Solar tendría un tamaño microscópico, algo mayor que el de una bacteria típica. Esto nos da



una idea del larguísimo recorrido que tendremos que hacer.

La Tierra, de donde partimos, se halla en los «suburbios», en un brazo espiral de nuestra Galaxia, donde hay poca densidad de estrellas que además transitan tranquilas. Nos vamos a adentrar en el núcleo, la zona central más superpoblada. A medida que nos acercamos vemos cada vez más estrellas. Las más cercanas al centro describen órbitas elípticas a velocidades altísimas de varios millones de kilómetros por hora. Giran alrededor de un objeto oscuro de masa enorme, que está contenido en un volumen muy pequeño, menor que el del Sistema Solar. Solo que en lugar de un sol, hay una cantidad de masa equivalente a cuatro millones de soles... ¡Y no vemos nada! Se trata de un agujero negro. Ningún objeto astronómico conocido puede contener tanta masa en un volumen tan pequeño.

Seguimos acercándonos y vemos algo muy extraño, similar a una zona esférica totalmente negra (esta esfera negra es una predicción teórica, el tamaño es tan pequeño que la tecnología no permite su observación directa). Tiene un radio cinco veces menor que la distancia Mercurio-Sol. El borde de esa zona marca el horizonte de sucesos del agujero negro central. En el interior, la gravedad es tan intensa que nada puede escapar, ni siquiera la luz. Por eso es negro. Lo que atraviese el horizonte de sucesos no podrá regresar. Como los despistados de nuestra historia inicial que entran en la cueva del dragón para no volver jamás.

La existencia de un agujero negro en el centro de la Vía Láctea fue propuesta en 1971. Las pruebas concluyentes empezaron a acumularse hacia finales de la década de 1990. Durante casi veinte años se rastrearon los movimien-

FIGURA DE APERTURA. ¿Puede un agujero negro supermasivo regular el crecimiento de una galaxia entera? Impresión artística del entorno del agujero negro en la galaxia activa NGC 3783. (ESO/M. Kornmesser)

FIGURA 1. Si pudiéramos aproximarnos al agujero negro en el centro de nuestra Galaxia veríamos algo similar a lo que muestra esta imagen generada por ordenador. El campo gravitatorio es tan intenso que la luz de estrellas cercanas se curva provocando distorsiones visuales. Dado que nada que atraviese el horizonte de sucesos puede escapar, ni siquiera la luz, el interior aparece completamente negro. (Alain Riazuelo)

tos de unas treinta estrellas, las más próximas conocidas a la localización esperada del agujero negro, región llamada Sagitario A* (abreviado Sgr A*). Se obtuvo así la visión más nítida conseguida hasta la fecha del centro de nuestra Galaxia. La estrella más cer-

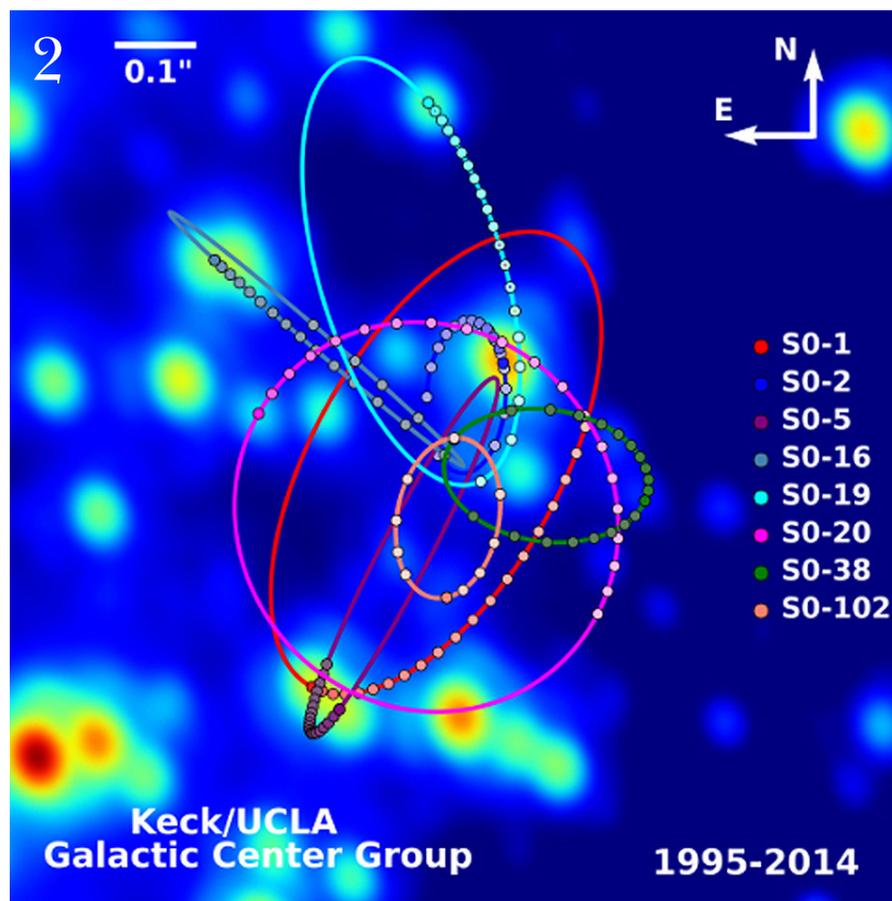


FIGURA 2. Órbitas de las estrellas conocidas más próximas a Sgr A* rastreadas a lo largo de casi veinte años. S0-2 es la más cercana. Las propiedades de su órbita han dado lugar a la determinación más precisa hasta la fecha de la masa central responsable de las órbitas estelares, equivalente a unos 4 millones de soles en un volumen menor que el del Sistema Solar. Se trata de un agujero negro. [Keck/UCLA/A. Ghez]

cana a Sgr A* tarda poco más de quince años en describir su órbita y se acerca a una distancia mínima de unas 120 Unidades Astronómicas, es decir, unas tres veces la distancia media entre el Sol y Plutón. Llega a alcanzar una velocidad de unos 18 millones de kilómetros por hora, ¡unos 5000 kilómetros por segundo! Puesto que esta órbita está determinada por el campo gravitatorio generado por la masa central, esta puede deducirse de manera relativamente sencilla. La conclusión es que se necesita una masa equivalente a cuatro millones de soles (es decir, cuatro millones de masas solares) para explicar los mo-

vimientos de esa estrella. Esta masa gigantesca está concentrada en un volumen menor que el del Sistema Solar. No tenemos una explicación alternativa: como decíamos más arriba, ha de ser un agujero negro.

CUANDO EL MONSTRUO DESPIERTA DE SU LETARGO

Al igual que nuestra Galaxia, muchas, probablemente todas las galaxias con una masa parecida o mayor contienen agujeros negros en sus centros. Los denominamos «supermasivos» pues sus masas pueden estar en un rango entre unos pocos millones y hasta decenas de miles de millones de masas solares. Habría que juntar todas las estrellas de una galaxia como la Vía Láctea para reunir una masa equivalente a la de los agujeros negros de mayor masa. Como si el dragón de nuestra historia escondido en su pequeña gruta pesara tanto como muchos miles de millones de personas.

En general, los agujeros negros supermasivos se hallan en estado latente, como el dragón que dor-

mita tranquilo sin molestar a nadie. Sin embargo, en un 10 % de las galaxias el agujero negro presenta una actividad frenética. Se trata de las llamadas galaxias activas. Algo ha hecho que el monstruo despierte.

¿Cómo se manifiesta esa actividad en los centros galácticos? Las galaxias activas son lugares donde todo lo que sucede es superlativo: masas, energías, velocidades... todo es enorme y extremo. Nos recuerdan que el Universo es un lugar muy violento. Para empezar, el núcleo o zona central emite cantidades enormes de luz. En las más potentes, los cuásares, esa región puede emitir tanta luz como mil galaxias similares a la nuestra. Si colocáramos el núcleo de un cuásar en el centro de la Vía Láctea, lo veríamos tan brillante como la Luna, aunque estaría casi un billón de veces más lejos. Esa fuente de luz está concentrada en un volumen relativamente diminuto similar al del Sistema Solar. No conocemos nada salvo los agujeros negros supermasivos, que pueda generar tanta energía ocupando un volumen tan pequeño.

Existen otras manifestaciones muy llamativas de la actividad nuclear en galaxias como los llamados chorros o *jets* relativistas. Se trata de «cócteles» de partículas muy energéticas que escapan de las regiones cercanas al agujero negro (¡aunque siempre exteriores al horizonte de sucesos!) de donde son expulsadas a velocidades de decenas de miles de kilómetros por segundo (próximas a la velocidad de la luz, por eso se llaman relativistas), recorriendo distancias que a menudo superan el tamaño de las galaxias. Pueden recorrer millones de años luz y abandonar la galaxia, formando estructuras alargadas muy brillantes en longitudes de onda de radio. Aunque el mecanismo exacto que genera estos chorros es aún desconocido, se sabe que está relacionado con la acreción de material por el agujero negro central (ver más abajo).



«Probablemente todas las galaxias con una masa parecida o mayor a la de la Vía Láctea contienen agujeros negros en sus centros»

¿QUÉ MECANISMO GENERA LA ENORME POTENCIA DE LOS NÚCLEOS GALÁCTICOS ACTIVOS?

Hemos dicho que nada de lo que cruza el horizonte de sucesos de un agujero negro puede escapar. Entonces, ¿de dónde proviene tanta luz? ¿qué la genera?

El mecanismo responsable se denomina «acreción»: el material (gas, polvo, estrellas) que se aproxima al agujero negro supermasivo no cae directamente en él, sino que se dispone a su alrededor en una estructura con forma de disco, que es externo al horizonte de sucesos. Por efecto de

la gravedad del agujero negro, el material del disco va cayendo siguiendo una trayectoria espiral, como en un desagüe. Las fuerzas de fricción y la propia gravedad lo comprimen calentándolo a temperaturas muy elevadas. Como consecuencia emite radiación muy intensa y energética, incluyendo rayos ultravioleta, X y gamma, que son emitidos hasta cerca del horizonte de sucesos. Eventualmente el material más interno del disco caerá en el agujero negro, que de esta manera aumentará su masa.

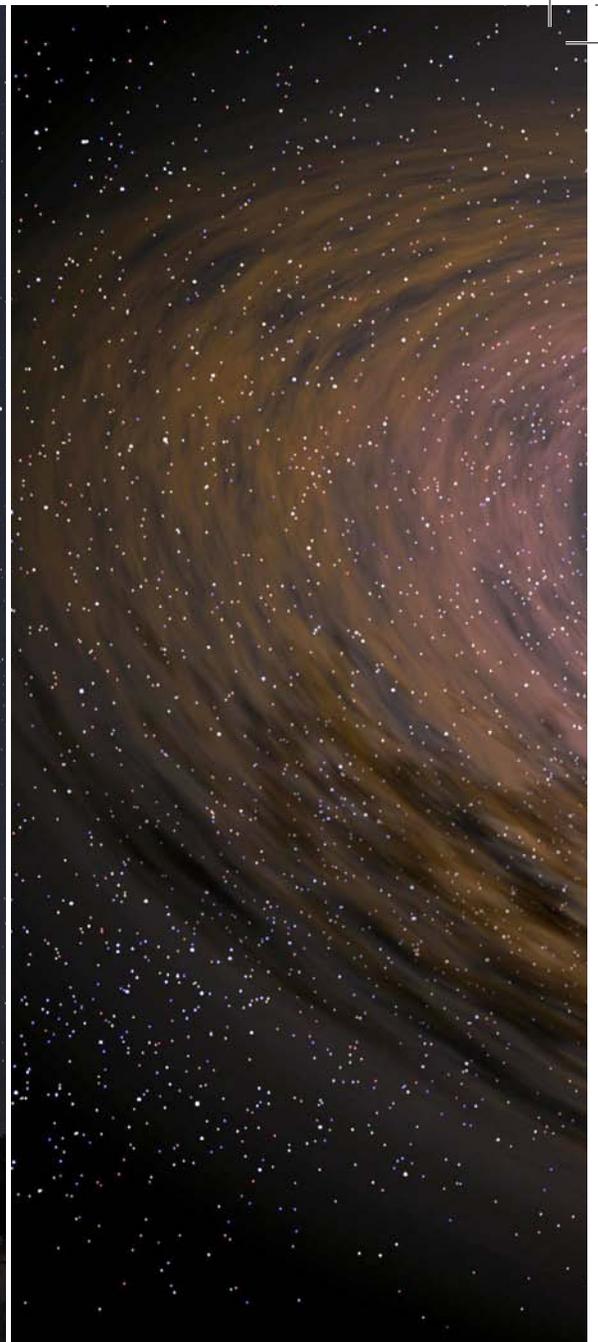
El mecanismo de acreción genera energía con una eficiencia muy superior (unas treinta veces más alta) a las reacciones nucleares en el interior de las estrellas. Explica de manera natural las enormes luminosidades de los núcleos galácticos activos.

¿QUÉ MECANISMOS ACTIVAN Y DESACTIVAN UN AGUJERO NEGRO?

O... ¿qué hace que despierte el monstruo de nuestra historia? ¿Qué hace que vuelva a dormirse?

FIGURA 3. Impresión artística del centro de un cuásar. (ESO/M. Kornmesser)

Hemos dicho que tan solo un 10 % de las galaxias son activas. Sabemos por argumentos diversos que la actividad nuclear dura poco tiempo en comparación con la vida de las galaxias; entre 10 y 100 millones de años, que no es más que un instante cósmico de su existencia. Imaginemos que tenemos una habitación llena de bombillas cada una de las cuales se ilumina durante un día al año. En un momento dado, veremos tan solo unas pocas encendidas, aunque todas llegarán a iluminarse un día u otro a lo largo del año. Unas se apagaron ya, otras aún no se han encendido. Algo similar ocurre con las galaxias. Quizás todas las que contienen agujeros negros supermasivos pasen por una fase de actividad nuclear a lo largo de su existencia, pero en un momento dado (el presente, en el que realizamos nuestras observaciones) solo un pequeño porcentaje está activo.



En base a lo explicado en la sección anterior, para activar el agujero negro supermasivo es necesario transferir material (gas, polvo, estrellas) al centro de la galaxia y acercarlo lo suficiente para que se deposite en el disco de acreción, donde será comprimido y calentado antes de ser engullido por el agujero negro. Es decir, el monstruo necesita alimento para despertar. Permanecerá activo mientras lo tenga disponible y volverá a su letargo cuando se agote. Por tanto, se necesita averiguar la naturaleza de los procesos capaces de transportar el alimento lo suficientemente cerca del agujero negro y la de los procesos que impiden dicho acercamiento.

Diversos mecanismos causan la acumulación de material en el centro de las galaxias, aunque no

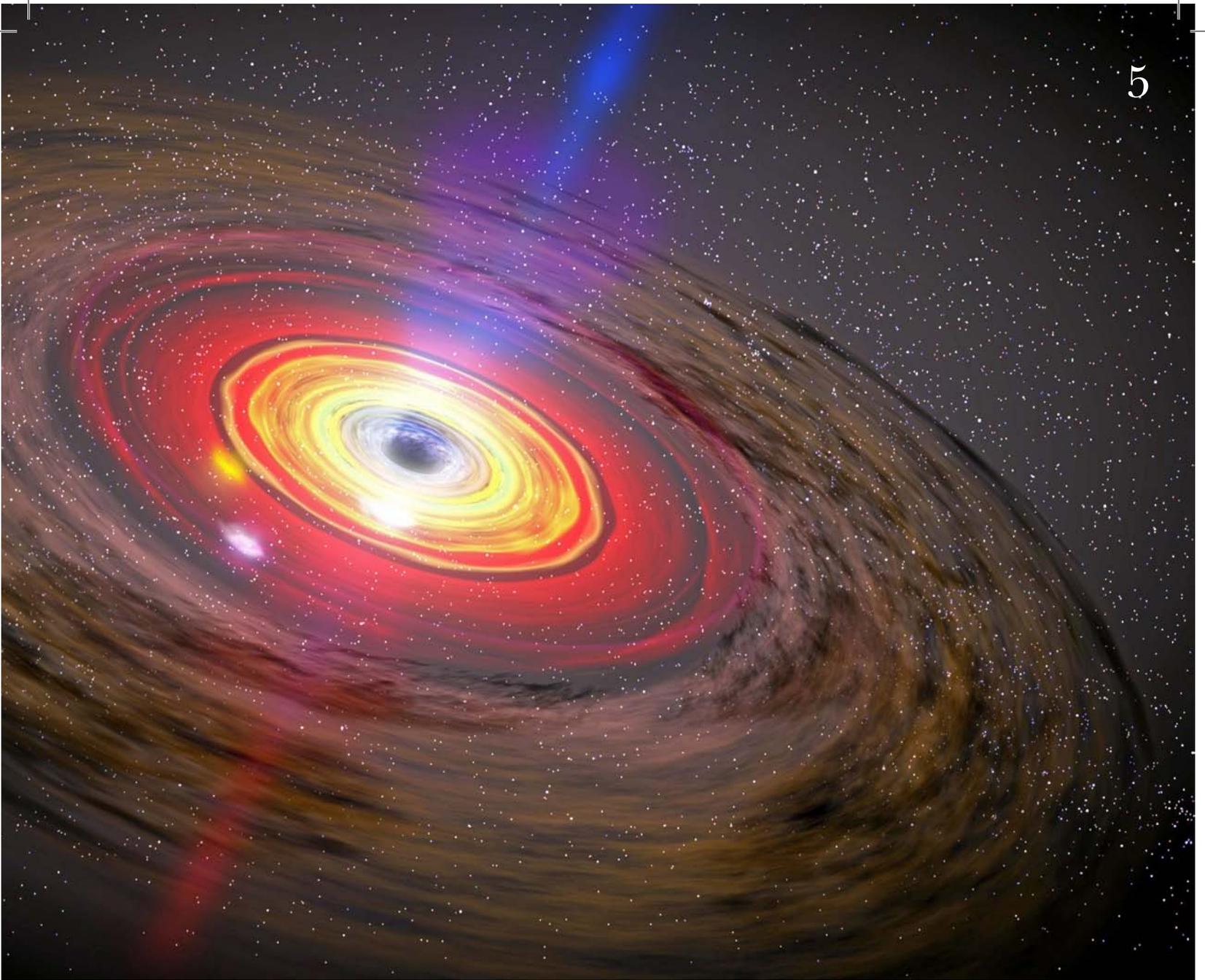
está claro cuáles son capaces de llevarlo a las cercanías del agujero negro. Uno de ellos (no el único) podría ser la interacción entre galaxias. Las galaxias a veces se aproximan tanto entre sí debido a la atracción gravitatoria, que orbitan una alrededor de la otra en una especie de danza cósmica. Pueden llegar a chocar y fundirse para formar una nueva. Se trata de fenómenos espectaculares que han dado lugar a algunas de las imágenes más bellas del Universo. Durante estos procesos grandes cantidades de polvo y gas son transportadas al centro de las galaxias en interacción. La reserva resultante de combustible nuclear se consumirá en parte en la formación de estrellas y en parte en flujos de gas y polvo que en teoría podrían llegar a aproximarse lo suficiente al

FIGURA 4. Composición artística (aunque basada en imágenes reales) en la que se aprecia el tamaño aparente gigantesco de las estructuras de radio de una galaxia activa comparado con el de la Luna. (Ilana Feain, Tim Cornwell, Ron Ekers y Shaun Amy –CSIRO/ATNF–, R. Morganti –ASTRON–, N. Junkes –MPIfR–)

FIGURA 5. Impresión artística de un disco de acreción alrededor de un agujero negro supermasivo. (NASA/Dana Berry, SkyWorks Digital)

agujero negro supermasivo, propiciando así su activación.

El agujero negro se desactivará cuando deje de recibir alimento, sea porque este se agota o porque algún mecanismo «limpia» el entorno. A medida que el agujero negro engorda mediante la acreción de materia, es capaz de liberar una enorme cantidad de ener-



gía. Una de las consecuencias es la generación de «supervientos» debido a la aceleración del gas y el polvo existentes en la vecindad. Este proceso podría barrer el material que antes alimentaba el agujero negro y expulsarlo a grandes distancias, quizás incluso más allá de los confines galácticos. En el símil de nuestro cuento, el dragón lanza grandes llamaradas que arrasan con todo lo que encuentran a su paso.

¿QUÉ OCURRE LEJOS DEL AGUJERO NEGRO?

Hasta ahora hemos visto lo que ocurre en el corazón de las galaxias activas, en la cercanía del agujero negro. ¿Tiene la presencia de este efectos en el resto de la galaxia? ¿Puede la ferocidad del dragón afectar al reino entero, o

solo a los habitantes que viven cerca de la gruta?

Un descubrimiento de gran importancia realizado hace tan solo unos quince años ha mostrado que la masa del bulbo –uno de los componentes de la estructura central de muchas galaxias– (en el caso de las galaxias espirales) o de la galaxia entera (en el caso de las galaxias elípticas) y la masa del agujero negro supermasivo se hallan relacionadas, siendo esta aproximadamente un 0,2 % (dos milésimas) de aquella. Es decir, cuanto más masa tiene uno, más masa tiene el otro. Como si lo que pesa el dragón de la historia estuviera relacionado con lo que pesan todos los habitantes del reino juntos.

Esto implica que la galaxia y el agujero negro central no se for-

maron y crecieron de manera independiente, sino que hubo algún mecanismo de retroalimentación que los conectaba. Sin embargo, dada la enorme diferencia en masa, la región en la que se siente la gravedad del agujero negro es diminuta en relación a la galaxia entera. ¿Qué mecanismos pueden conectar la evolución de algo tan pequeño y la de algo comparativamente gigantesco? Esta cuestión es actualmente causa de un acalorado debate en la comunidad científica, puesto que su respuesta tiene implicaciones importantes en cuanto a nuestra comprensión de la formación y la evolución de galaxias.

De nuevo, los supervientos generados por el agujero negro podrían ser la explicación. Los modelos predicen que con su

6

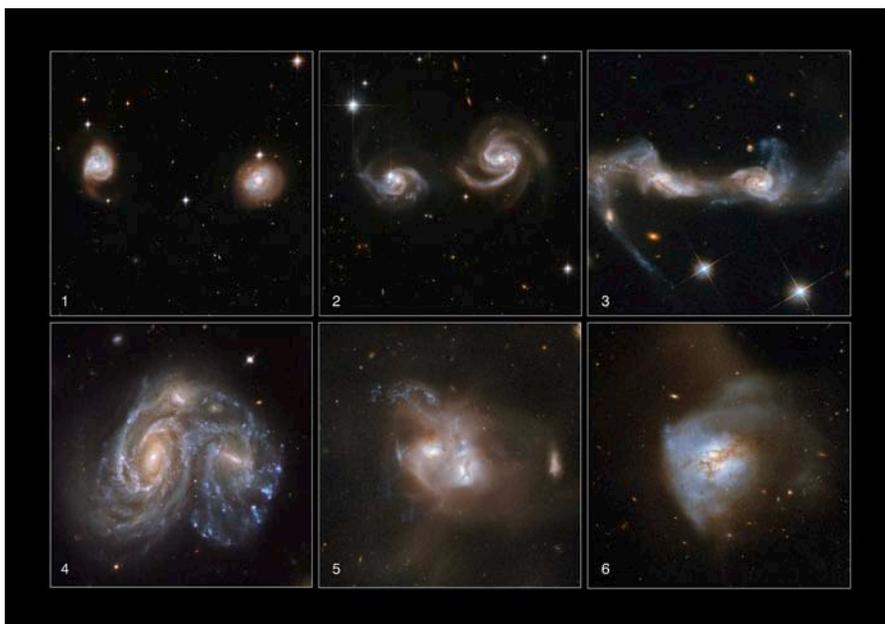
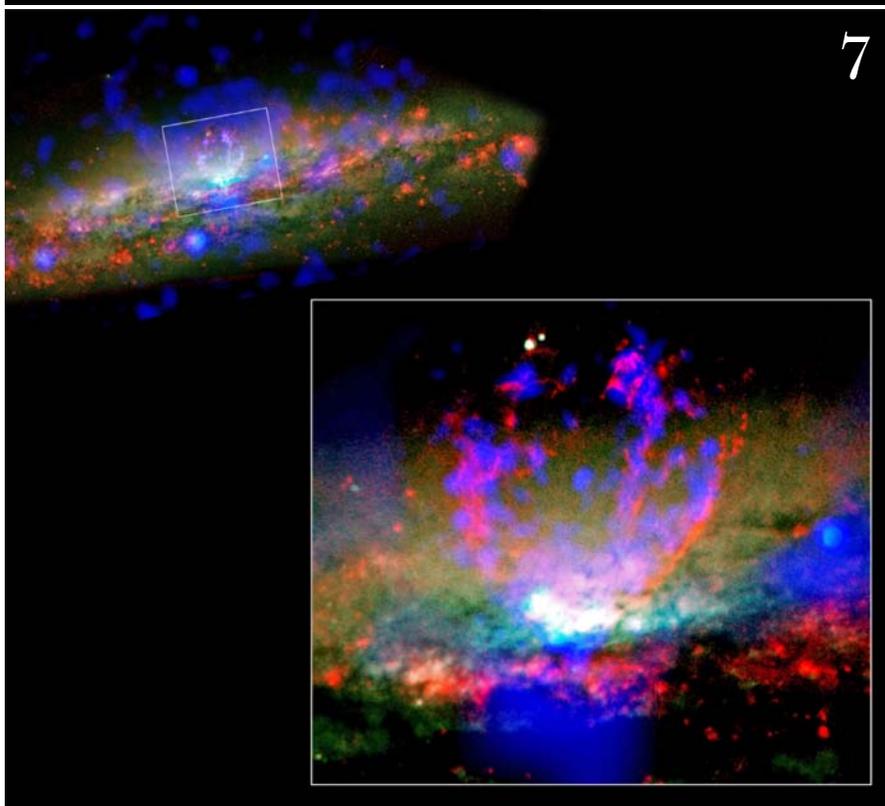


FIGURA 6. ¿Qué activa un agujero negro supermasivo? Diferentes trabajos sugieren que las interacciones entre galaxias son uno de los mecanismos responsables al menos en las galaxias activas más potentes, los cuásares. (NASA, ESA, A. Evans -U.Virginia- et al.)

FIGURA 7. Superviento posiblemente generado por el agujero negro supermasivo en el centro de la galaxia activa NGC 3079. (NASA/CXC/STScI/ U. North Carolina/G. Cecil)

FIGURA 8. La masa del agujero negro supermasivo está íntimamente relacionada con la masa de la galaxia que lo alberga. (K. Cordes, S. Brown -STScI-)

7



enorme potencia este mecanismo podría ser capaz de expulsar gran parte del gas en las galaxias en formación, frenando de esta manera el nacimiento de nuevas estrellas y la alimentación del agujero negro. Así, la energía inyectada en el medio circundante regularía simultáneamente el crecimiento del agujero negro y el de la galaxia que lo alberga que podría así ralentizarse, llegando incluso a detenerse. Según esto, los agujeros negros supermasivos «conspiraron» en los inicios para manipular la formación de las galaxias; algo comparativamente minúsculo consiguió así moldear la evolución de algo gigantesco.

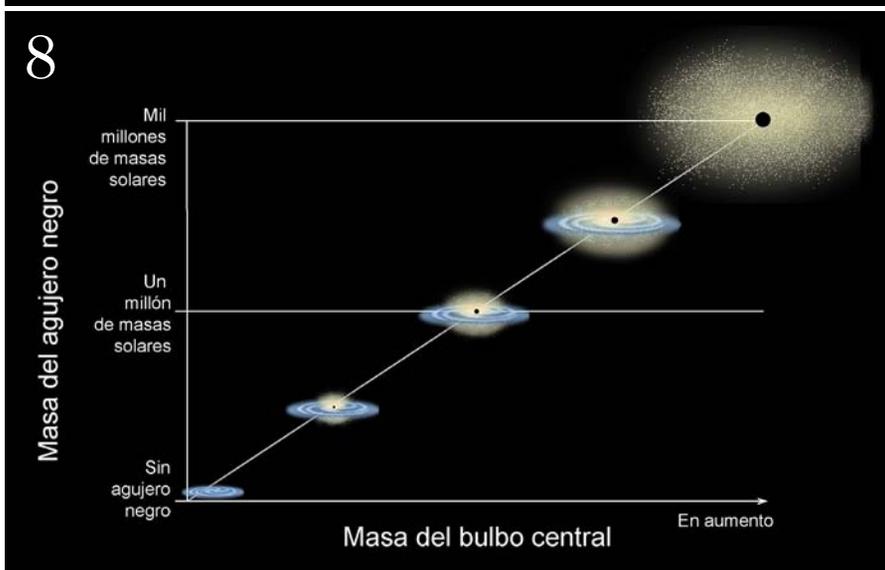
El dragón de la historia no ha medido las consecuencias de su devastadora violencia: ha destruido su entorno causando dramáticas consecuencias que impiden el crecimiento futuro de la población del reino y ha provocado además su propia muerte por inanición.

¿O no...?

¿Qué ocurrirá si un día, cuando todo parezca inerte y en calma, un aventurero temerario se arriesgue a entrar en la gruta?

¿Volverá a despertar el monstruo? (A)

8



Montserrat Villar Martín, investigadora en el Centro de Astrobiología (CSIC/INTA).