

Cara a

con un agujero negro

negro



Carra

El desafío con el que ha tenido que lidiar la red de observatorios que integran el Event Horizon Telescope (EHT), resulta casi inconcebible. El astrofísico Sheperd Doeleman, quien dirige esta iniciativa, lo explica así: “Obtener una imagen del agujero negro supermasivo Sagitario A* con una resolución comparable a su horizonte de sucesos es como contar los agujeros de una pelota de golf situada en Los Ángeles desde Nueva York”.

En la actualidad, el EHT está compuesto por nueve radiotelescopios, entre los que se encuentra el de 30 metros del Pico Veleta, en Sierra Nevada (España), operado por el Instituto de Radioastronomía Milimétrica y que comprende al CNRS, francés; la Sociedad Max Planck para la Promoción de la Ciencia, alemana, y el Instituto Geográfico Nacional, español. En esencia, el EHT utiliza una conocida técnica de radioastronomía denominada interferometría de muy larga base (VLBI, por sus siglas en inglés). Ésta consiste en combinar los datos que obtienen distintos observatorios repartidos por el globo mientras estudian el mismo punto del espacio al mismo tiempo. El VLBI exige una gran finura en la ejecución –las mediciones se sincronizan mediante relojes atómicos–; así se consigue una imagen equiparable a la obtenida por un radiotelescopio que tuviera un plato del tamaño de la Tierra.

En abril de 2017, los nueve radiotelescopios dirigieron durante cinco noches seguidas sus antenas hacia Sagitario A* (Sgr A*), en el corazón de la Vía Láctea. Las cosas, sin embargo, comenzaron a retrasarse casi desde el principio. El observatorio Haystack del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), sede del EHT, no pudo recibir hasta mediados de diciembre la información aportada por el telescopio Polo Sur, pues el invierno antártico impedía la salida de aviones de carga de la estación Amundsen-Scott, donde se encuentra. Una vez solventado este asunto, el equipo liderado por Doeleman comenzó a trabajar con extremo cuidado en la integración de los datos. Tanto es así que no se ha aventurado a concretar la fecha en que mostrarán la anhelada imagen que revelarán sus cálculos, si bien esperan que esté lista este mismo año. ▶

Desde que se enunció que los agujeros negros podrían existir en el Cosmos, los científicos han buscado obtener una imagen realista de éstos. Una iniciativa internacional tratará de observar por primera vez al que habita en el centro de nuestra galaxia, Sagitario A*.

Por Miguel Ángel Sabadell

◀ Tras los agujeros negros

Ésta no es la primera vez que los agujeros negros traen de cabeza a los astrofísicos. De hecho, llevan haciéndolo desde 1915, cuando el alemán Karl Schwarzschild dedujo su existencia a partir de las ecuaciones de la relatividad de Albert Einstein. Mientras luchaba en el frente ruso, Schwarzschild encontró una solución analítica al problema de una masa puntual situada en el espacio vacío. Pero no lograría disfrutar de su logro. En las trincheras desarrolló una enfermedad autoinmune de la piel, el pénfigo, que acabó llevándolo a la tumba en 1916.

La solución aportada por este investigador viene a mostrar que si una masa está lo suficientemente concentrada, la curvatura del espacio en las regiones próximas alcanza tal magnitud que la dejará aislada del resto del Universo, de modo que cualquier masa que se precipite en su interior se perderá irremisiblemente. Nos encontraríamos ante una especie de embudo cósmico, un agujero negro.

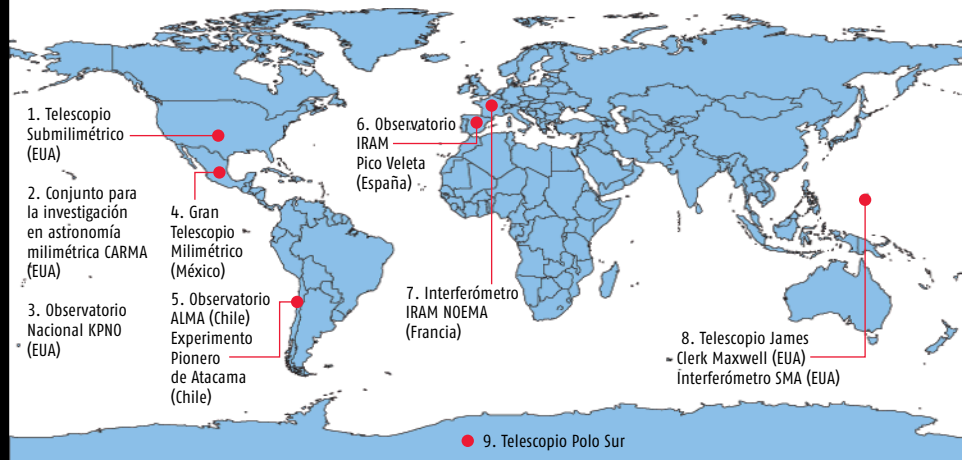
¿Y por qué no podemos huir de allí? Todo tiene que ver con la velocidad que necesita un cuerpo para escapar de un campo gravitatorio. Cuanto más nos acercamos al agujero negro, mayor es esa velocidad, hasta que llega el momento en que es exactamente la de la luz. El lugar donde esto sucede, ese punto de no retorno, se conoce con el nombre de radio de Schwarzschild u horizonte de sucesos. Una vez superado, no hay vuelta atrás: nuestro futuro no es otra cosa que un viaje sin retorno a la singularidad central, el punto donde se encuentra concentrada toda la masa del agujero. La luz y todo lo que se halle en esa región del espacio quedan atrapados, y nada de lo que pudiera acontecer en su interior será visto, oído o conocido por ningún observador externo.

La idea de que pudiese existir un cuerpo tan extraño repugnaba a muchos físicos, Albert Einstein incluido. Pero en 1939, los físicos Robert Oppenheimer y Hartland Snyder demostraron que tales objetos no eran meros fuegos de artificio matemáticos. Podían existir en el mundo real; sólo bastaba que una estrella muy masiva colapsara por efecto de la gravedad.

Estos agujeros negros estelares se forman cuando una estrella, con al menos cinco veces la masa del Sol y hasta varias decenas más masiva que él, se apaga y muere. Para entenderlo debemos tener en cuenta que la vida de una estrella es una lucha contra la gravedad, que tiende a concentrar toda su masa en el centro. Contra ella pelea la presión de radiación, esto es, la luz que se genera en el horno nuclear

Cazadores de agujeros

El Gran Telescopio Milimétrico y el observatorio ALMA, en México y Chile, son dos de los nueve que integran el Event Horizon Telescope –en el mapa, su localización–, responsable de obtener la primera imagen de un agujero negro. Abajo (¿Qué buscan?), se explica cómo esta iniciativa permitirá probar la validez de la relatividad general, otro método para porbar los postulados de Einstein.



¿Qué buscan?

La materia que gira en torno a un agujero negro se calienta y se convierte en un plasma reluciente. En el centro, un anillo de fotones muy brillante perfila la sombra del interior del horizonte de sucesos. Gracias al estudio de la forma de esa sombra se puede saber si lo que predice la relatividad general es correcto.



Según la relatividad general, debería observarse una sombra de forma circular.



Pero también podría verse aplastada a lo largo del eje vertical...



...o del horizontal. La observación probará si nuestras ideas sobre el espacio-tiempo son acertadas o no.

Así es uno de estos monstruos de tipo supermasivo:

SINGULARIDAD

La materia y la energía que caen en un agujero negro acaban en esta región de densidad infinita.

HORIZONTE DE SUCESOS

Más allá de esta especie de frontera espacio-temporal nada escapa del agujero.

CHORRO RELATIVISTA

Cuando el agujero negro engulle gas, polvo o estrellas surgen de sus polos chorros de partículas y radiación.

DISCO DE ACRECIÓN

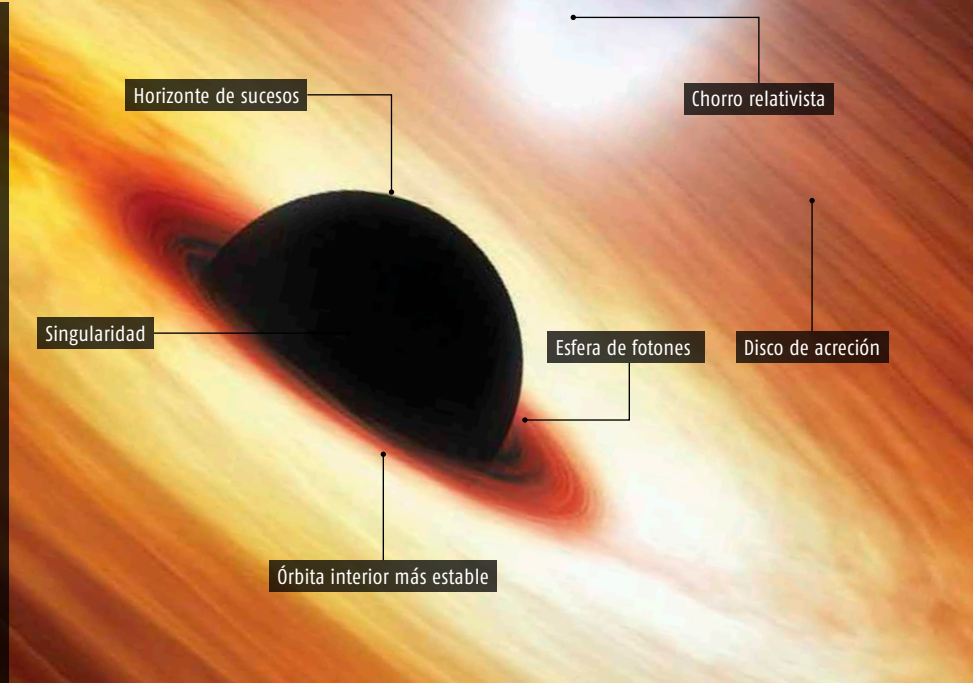
Esta estructura de gas y polvo supercaliente gira alrededor del agujero, produciendo radiación electromagnética, lo que permite conocer su localización.

ÓRBITA INTERIOR MÁS ESTABLE

Último punto del disco de acreción donde la materia puede orbitar sin ser absorbida.

ESFERA DE FOTONES

La gravedad del agujero negro hace que los fotones emitidos por el plasma o el disco de acreción formen un anillo que parece rodear una sombra circular. El EHT nos permitirá ver el anillo y la sombra.



interior de la estrella, responsable de mantener su estructura. Por eso, cuando el núcleo se apaga, la estrella se derrumba bajo su propio peso y tiene lugar una explosión de supernova. En ella, la envoltura sale despedida a cientos de miles de kilómetros por segundo, mientras que el núcleo sigue desplomándose.

Luego, entra en acción otra fuerza, la presión de degeneración, ésta impide que dos partículas de materia ocupen el mismo sitio al mismo tiempo. Pero sólo consigue detener la implosión si la masa de la estrella es menos de tres veces la del Astro Rey. En otro caso, la gravedad revienta las partículas subatómicas, que entonces son esencialmente neutrones. El desplome de la estrella resulta imparable y acabará convirtiéndose en un agujero negro. Sólo en nuestra galaxia podrían existir millones de estos cadáveres estelares.

Familia cósmica

Ahora bien, a lo largo del siglo XX hemos ido aprendiendo que existen otros tipos de agujeros negros. Tenemos, por ejemplo, los supermasivos, con una masa de millones e incluso miles de millones de veces la de nuestra estrella. No son precisamente pequeños, como los estelares. Los hay que tienen un radio similar a la distancia que nos separa de la estrella más cercana,

Los agujeros negros funcionan como embudos cósmicos. Todo lo que queda atrapado en ellos permanece desconectado del resto del Universo.

Alfa Centauri, a 4.37 años luz. Tampoco están desperdigados por las galaxias; se hallan en su centro.

Lo que los astrofísicos siguen sin saber a ciencia cierta es su origen. Hay diferentes hipótesis. Una sostiene que son el resultado de la fusión en tiempos remotos de cientos o miles de pequeños agujeros negros; otra, que se forman tras el colapso de

grandes nubes de gas que absorben rápidamente la masa circundante; una más, que nacen del choque de un cúmulo de estrellas. No obstante, ninguna de ellas resuelve el principal enigma relacionado con estos cuerpos: para que existan es necesario que una ingente cantidad de materia se encuentre en un volumen suficientemente pequeño. Hoy, esta situación es bastante inusual, pero cuando el Cosmos era joven las circunstancias eran más favorables. Muchos investigadores sospechan que los agujeros supermasivos engordan porque se produce una acreción acelerada de gas y polvo, justo lo que se observa en unos objetos que abundaban entonces y que,

sin duda, son una de las fuentes de energía más potentes que conocemos: los cuásares.

Su motor podría ser, precisamente, uno de estos agujeros negros supermasivos. Para ello, tendrían que haberse formado muy pronto, porque del estudio de los cuásares más distantes se deduce que los agujeros ya habían aparecido en el Universo cuando tenía menos de mil millones de años. ➔

Sabías que...

El cuásar TON 618 quizá contenga un agujero negro 66,000 millones de veces más masivo que el Sol. Es el mayor conocido.

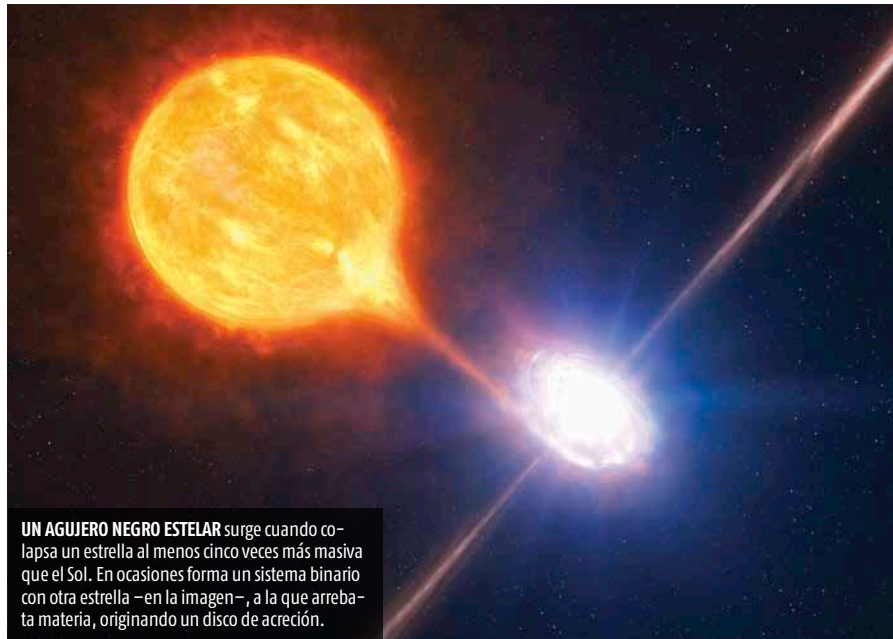


◀ Desde ese momento, estos objetos no han hecho más que crecer. Como si fueran basureros espaciales, recogen las masas de gas y polvo próximas –un material muy presente en los núcleos galácticos–, lo que les permite alcanzar un tamaño notable. La masa de Sagitario A*, por ejemplo, es 4.5 millones de veces la de nuestra estrella y el oscuro objeto cósmico se alimenta de sus primos menores, pues orbitando a su alrededor hay toda una pléyade de agujeros negros estelares –hasta 20,000 según algunas estimaciones– que contribuyen, poco a poco, a engordarlo.

“Conocemos unas cinco docenas de agujeros negros en toda la galaxia, que mide unos cien mil años luz, pero se supone que hay miles de ellos en una región de sólo seis años luz de ancho que nadie ha podido encontrar”, señala Chuck Hailey, codirector del Laboratorio de Astrofísica de la Universidad de Columbia, Nueva York. Gracias a los datos aportados por el telescopio espacial de rayos X *Chandra* de la NASA, Hailey y sus colaboradores han podido determinar que, efectivamente, existe una importante población de agujeros negros alrededor del centro galáctico, tal como indican en un artículo publicado en la revista *Nature*.

Huella cósmica

Entre los superagujeros negros, los astrofísicos distinguen los llamados agujeros negros ultramasivos (UMBH), como el que domina el centro de la galaxia M87, a poco más de 53 millones de años luz, con una masa 6,600 millones de veces mayor que la del Sol. A finales de 2017 un equipo de investigadores liderado por Guang Yang, de la Universidad Estatal de Pensilvania (Estados Unidos), ha descubierto que estas estructuras devoran gas, polvo y estrellas más rápido que sus homólogos en galaxias más pequeñas, como la Vía Láctea. Al mismo tiempo, astrónomos del Instituto de Ciencias del Espacio, en España, tras estudiar los agujeros negros de algunas de las galaxias más brillantes y masivas del Universo, han encontrado que hemos estado subestimando las masas de



UN AGUJERO NEGRO ESTELAR surge cuando colapsa un estrella al menos cinco veces más masiva que el Sol. En ocasiones forma un sistema binario con otra estrella –en la imagen–, a la que arrebatada materia, originando un disco de acreción.

sus agujeros negros centrales: en realidad son 10 veces mayores. No obstante, hay algo que no les cuadra a los científicos que tratan con estos objetos. Por una parte, tenemos los que aparecen como consecuencia de la muerte de una estrella, que cuentan con entre cinco y ochenta veces la masa del Sol. Ahí están, también, los superagujeros, que pueden alcanzar miles de millones de masas solares. ¿Acaso no hay nada entre ambos grupos? ¿No hay agujeros negros de masa intermedia, de unas mil o 10,000 veces la masa del Astro Rey? Esta ausencia no convence a los expertos, y algunos señalan que una misteriosa fuente de rayos X ultraluminosa es su huella astronómica.

A principios de los años ochenta, el observatorio espacial Einstein captó este fenómeno. Fue toda una sorpresa, pues el origen de la radiación, que emitía por igual en todas direcciones, no parecía encontrarse cerca de los agujeros negros supermasivos. Tal cosa no se podía explicar por meros procesos estelares, así que los astrofísicos propusieron que podría tratarse de cuásares, restos de supernova o agujeros negros de masa intermedia. Los datos aportados por las sondas *NuSTAR*,

Sabías que...

Hasta 20,000 agujeros negros estelares podrían arremolinarse en el centro de la Vía Láctea, según un estudio de la Universidad de Columbia.



ESTA IMAGEN DEL NÚCLEO GALÁCTICO, que combina las observaciones de los telescopios *Hubble*, *Chandra* y *Spitzer*, muestra la posición del agujero negro supermasivo Sagitario A*, a 26,000 años luz de la Tierra.

FOTOS: NASA, ESO

Chandra o *XMM-Newton* sumaron a esta lista de sospechosos las estrellas de neutrones, pequeños cadáveres estelares cuya masa dobla la del Sol. En todo caso, no es nada fácil saber qué pueden ser esas citadas fuentes de rayos X, pues no abundan demasiado en el Universo. En nuestra galaxia, por ejemplo, no se han detectado: “Vienen a ser como un pariente perdido hace mucho tiempo que no está interesado en que se le encuentre”, indicó a propósito de este asunto el astrónomo Tim Roberts, de la Universidad de Durham (Reino Unido).

Pues bien, en 2014, un equipo de astrofísicos afirmó que lo que parecía ser un grupo de estrellas masivas conocido como GCIRS 13E, que orbita a sólo tres años luz del centro de nuestra galaxia, es en realidad uno de esos elusivos agujeros negros, en este caso de 1,300 masas solares. Pero las pruebas que aportaron eran circunstanciales y la mayoría de sus colegas es reticente a aceptar sus conclusiones. Desde entonces, otros expertos han propuesto sus candidatos a agujero negro intermedio, pero igualmente sin éxito.

El problema es que no sólo hay que dar con ellos, sino explicar de dónde habrían salido. Los astrónomos han dejado volar su imaginación y, así, entre otras teorías, han propuesto la curiosa hipótesis de que podrían formarse cuando las estrellas de un grupo colisionan en cadena. Sea como fuere, el enigma continúa.

Otro misterio: los microagujeros negros

En 1974, el recientemente fallecido Stephen Hawking postuló que podrían existir objetos de este tipo del tamaño de una cabeza de alfiler, pero con la masa de una montaña. Evidentemente, su existencia no se debe al colapso estelar, así que, en los años siguientes, los físicos teóricos se esforzaron en encontrar algún mecanismo que los generara. Éste quizá se encuentre en el mismo origen del Universo, el llamado *Big Bang*. Una hipótesis considera que podrían haberse formado menos de un segundo después de la explosión cósmica, de ahí que también se les llame agujeros negros primordiales. Su ingrediente esencial sería una fluctuación en la densidad del Universo, lo que induciría un colapso gravitacional. El reto, evidentemente, consiste en averiguar cómo detectarlos... si es que existen.

Aquí es donde entra uno de los resultados más sorprendentes de la ciencia de los agujeros negros, un planteamiento conocido como evaporación Hawking. La teoría, desarrollada por este cosmólogo hace más de cuatro décadas, asegura que, al fin y al cabo, los agujeros negros no son negros, sino “grises”.

Dicho de otro modo, estos objetos no sólo capturarían todo aquello que pasa cerca de ellos, sino que también despedirían energía. Para comprender el proceso hay que tener en cuenta un hecho esencial: los agujeros negros tienen una temperatura

Una región de lo más singular

- > Si cayeras en un agujero negro, sus fuerzas de marea te estirarían y comprimirían, convirtiéndote en un fideo. Al alcanzar el horizonte de sucesos, los efectos cuánticos que allí ocurren harían que te quemaras instantáneamente.
- > Hay una zona alrededor de los agujeros negros en rotación, lejos del horizonte de sucesos, donde es imposible mantenerse quieto respecto al fondo fijo de estrellas. Ocurre porque el agujero negro arrastra consigo el espacio, al igual que la Tierra arrastra la atmósfera en su giro. Este gigantesco remolino se denomina ergosfera.
- > En esencia, el llamado “teorema de no pelo” sostiene que de un agujero negro sólo podemos conocer tres cosas: masa, carga eléctrica y velocidad de rotación.
- > Dentro de los agujeros negros podrían existir unas vías de escape que el físico John Wheeler bautizó como agujeros de gusano –en algunos agujeros negros se denominan puentes de Einstein–Rosen–. De esta forma, estos sumideros serían, en realidad, los accesos a todo un trazado de túneles que unirían distintos puntos del Cosmos.

extremadamente pequeña y, por tanto, las leyes de la física mantienen que deben emitir energía a costa de la contenida en su interior. Ahora bien, para que esto ocurra, el agujero negro debe estar más caliente que el Universo que lo rodea –a unos tres grados por encima del cero absoluto o -273, es decir 15° C–, pues la energía fluye del cuerpo caliente al frío. En el caso de los agujeros negros estelares su temperatura es

del orden de 10 millonésimas de grado por encima del cero absoluto: como están más fríos que el resto del Cosmos, reciben más energía de la que emiten.

Pero con los microagujeros la cosa cambia y deberían estar desapareciendo ahora mismo. Según los cálculos de Hawking, cuanto menor masa le queda a un agujero negro, más rápidamente se produce la evaporación, lo que conduce a un final apoteósico: en otras palabras, una explosión

equivalente a una bomba de hidrógeno marcaría su muerte. De ahí que descubrir extrañas explosiones gamma en el Universo puede llegar a ser un buen indicativo de su existencia.

El telescopio espacial de rayos gamma Fermi tiene como uno de sus objetivos buscar microagujeros negros en constante evaporación. Aunque hasta el momento no ha logrado detectarlos –si encontrar un agujero negro ya es complicado, dar con uno de estas características luce imposible–, los datos recogidos han permitido establecer un límite superior a la cantidad de microagujeros creados durante el *Big Bang*. Incluso se cree que menos del 1 % de la materia oscura podrían ser agujeros negros primordiales. Sólo el tiempo dirá si tienen razón. **M**

Algunos astrofísicos han planteado que los agujeros negros supermasivos, que se encuentran en los núcleos galácticos, se formaron a partir de la fusión de miles de otros más pequeños.

PARA SABER MÁS

eventhorizontetelescope.org, sitio web de la iniciativa Telescopio del Horizonte de Sucesos (EHT).