

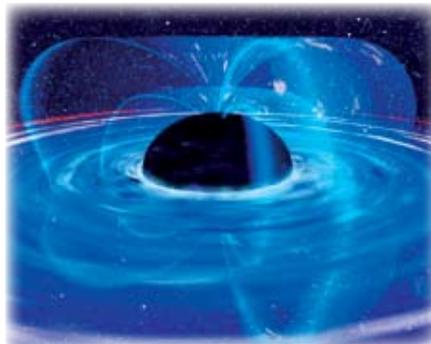
# AGUJEROS NEGR



## ¿Qué es un agujero negro?

La mayoría de la gente cree que un agujero negro es un remolino voráz en el espacio que succiona todo lo que se encuentra a su alrededor. ¡Pero eso no es realmente cierto! Un agujero negro es un lugar donde la gravedad es tan fuerte que la "velocidad de escape" es mayor que la velocidad de la luz. Pero, ¿qué significa "velocidad de escape" exactamente?

La gravedad es la fuerza que nos mantiene sobre la Tierra. Sin embargo, es posible vencerla. Al arrojar una piedra al aire, esta sólo se eleva una corta distancia antes de que la gravedad de la Tierra la detiene y hace bajar. Cuando la piedra es arrojada con más fuerza, la piedra sube más rápido y más alto antes de detenerse y caer de nuevo. Si fuera posible arrojar la piedra con la potencia necesaria, esta alcanzaría una velocidad tan grande que la gravedad de la Tierra no podría desacelerarla lo suficiente para detenerla. La piedra tendría entonces suficiente velocidad para escapar de la Tierra.



NASA, Dana Berry

Para un cuerpo celeste con la masa de la Tierra, la velocidad de escape es de 11 kilómetros por segundo (7 millas/segundo) aproximadamente. La velocidad de escape para un objeto depende de su gravedad: mayor gravedad implica mayor velocidad de escape, debido a que su gravedad atrae las cosas con mayor fuerza. La gravedad del Sol es mucho mayor que la de la Tierra; por consiguiente, su velocidad de escape es también mucho mayor —más de 600 km/s (380 millas/s). Es decir, ¡3000 veces la velocidad de un avión a reacción!

Si se toma un objeto y se comprime para reducir su tamaño, o bien se apila masa sobre él, tanto su gravedad como su velocidad de escape aumentan. Si se continúa este proceso, en algún momento se obtiene un objeto con tanta gravedad que la velocidad de escape es mayor que la velocidad de la luz. Dado que nada en el Universo puede moverse más rápido que la luz, toda masa que se encuentre demasiado cerca a un objeto con tal gravedad, quedaría atrapada para siempre. La luz no puede escapar, pues es como si estuviera en un pozo sin fondo: un agujero negro.

## ● ¿Cómo se forman los agujeros negros?

Un agujero negro es mediante una supernova, es decir, una estrella que explota. Una estrella con masa mayor que 25 veces la masa del Sol, finaliza su ciclo evolutivo en una gran explosión. La parte externa de dicha estrella es expulsada a alta velocidad, mientras que la parte interna de la misma, su núcleo, colapsa. Si la masa del núcleo que queda es suficientemente grande, su propia gravedad ejercerá una fuerte presión hasta transformarlo en un agujero negro. Cuando todo ha terminado, el agujero negro posee una masa varias veces mayor que la del Sol. Este "agujero negro de masa estelar," tal como se le conoce, es lo que los astrónomos consideran un agujero negro "común."

Pero existen otros, verdaderos monstruos, denominados agujeros negros supermasivos. Se ocultan en los centros de las galaxias y son enormes; ¡su masa puede ser millones o aún miles de millones de veces la masa del Sol! Probablemente se formaron al mismo tiempo que sus galaxias de origen, pero no se sabe cómo ocurrió exactamente. Quizás cada uno comenzó su ciclo evolutivo como una estrella solitaria y gigante, que luego explotó

para dar origen a un agujero negro y posteriormente acumuló más material (incluso otros agujeros negros). Según los astrónomos, en el centro de casi toda gran galaxia existiría un agujero negro supermasivo, incluida nuestra propia Vía Láctea.



ESA, V. Beckmann (GSFC)

Los agujeros negros de masa estelar también se forman cuando dos estrellas de neutrones (núcleos estelares ultradensos, remanentes de determinado tipo de supernova) que orbitan una alrededor de la otra, se fusionan para producir una descarga breve de rayos gamma, este es un tremendo estallido de energía perceptible en todo el universo visible. En cierto sentido, las descargas de rayos gamma marcan el nacimiento de agujeros negros.

## ● What happens when you fall into a black hole?

Si caes en un agujero negro, no tienes salvación. Tu ya sabes que una vez allí dentro, nunca más podrás salir, pero la situación es aún peor: probablemente, tu o cualquier persona moriría antes de llegar a un agujero negro.

Cuanto más nos acercamos a un objeto, más fuerte es su gravedad. Si nos acercamos a un agujero negro de masa estelar anteponiendo los pies, la fuerza de gravedad sobre estos podría llegar a ser miles de veces mayor que la fuerza ejercida sobre la cabeza. En consecuencia, seríamos estirados y destrozados como si fuéramos de melaza. Con un poco de humor, los científicos se refieren a este proceso como "espaguetificación" (es decir, estiramiento como un espagueti). Cuando la persona finalmente llega al agujero negro, su cuerpo se ha convertido en un delgado flujo de materia de muchos kilómetros de largo. Afortunadamente, no siente dolor: aunque caiga desde miles de kilómetros de distancia, todo este sangriento episodio habrá finalizado en apenas algunas milésimas de segundo.

Posiblemente, llegar al agujero negro no es tan fácil. Algunos agujeros negros devoran la materia vorazmente, "robándosela" a una estrella compañera que los orbitan o, en el caso de los agujeros negros supermasivos, a las nubes de gas que los rodean. A medida que la materia va cayendo, esta se acumula en un disco ubicado justo fuera del agujero. Orbitando a enormes velocidades, la materia acumulada en este disco de acreción se calienta bastante y alcanza temperaturas de millones de grados. En ese momento, comienza a emitir radiación, en especial rayos X de alta energía. Mucho antes de que el agujero negro pueda destrozarnos, esta quedará cocinada por la luz.

Pero supongamos que de alguna manera se logra sobrevivir a este viaje. ¿Qué otras cosas extrañas nos aguardan en nuestro recorrido hacia el infinito?

Pasado el punto en que la velocidad de escape supera la velocidad de la luz, es imposible regresar. Esta región se denomina horizonte de eventos. Esto se debe a que ninguna información puede escapar desde su interior, con lo cual todo evento que ocurra allí dentro queda excluido para siempre de nuestro horizonte.

Si el agujero negro está girando, te espera un verdadero caos en su interior. A medida que la materia que cae choca con el torrente, se forma una "tempestad" capaz de aplastarnos tal como si estuviéramos bajo una catarata. En el centro mismo del agujero negro, la materia incandescente finalmente colapsa por completo en un punto.

Cuando eso sucede, no sólo nuestra matemática resulta insuficiente, sino también nuestra intuición. Es como si la materia hubiera desaparecido del universo. Sin embargo, su masa aún existe. En esa "singularidad," el espacio y el tiempo tal como los conocemos llegan a su fin.



JILA, Universidad de Colorado, Boulder, CO, A. Hamilton

La materia que cae dentro de un agujero negro puede alcanzar una temperatura de millones de grados

Los astrónomos utilizan satélites de rayos X para observar la materia que cae dentro de un agujero negro

## ● Si los agujeros negros son realmente negros, ¿cómo podemos hallarlos?

Si bien los agujeros negros en sí son invisibles, su gravedad es como un fantasma que deja huellas al pasar. Algunas estrellas se forman en pares. Son los llamados sistemas binarios, donde las estrellas que los componen orbitan una alrededor de la otra. Estas estrellas pueden continuar orbitando aún en caso de que una de ellas se transforme en un agujero negro. Observando cuidadosamente dichos sistemas, los astrónomos pueden medir la órbita de la estrella normal y determinar la masa del agujero negro. Lamentablemente, sólo unos pocos sistemas binarios tienen agujeros negros, de modo que es necesario saber de antemano cuáles son los sistemas que se han de observar. Afortunadamente, los astrónomos han descubierto una señal que indica el camino hacia los agujeros negros: los rayos X.

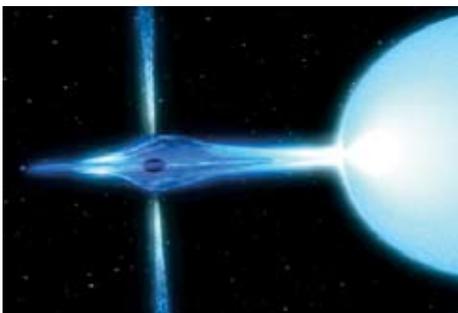
Tal como mencionamos anteriormente en “¿Qué sucede si una persona cae en un agujero negro?”, si un agujero negro “devora” la materia de una estrella compañera, dicha materia se calienta mucho y emite rayos X. Esto es un indicio que permite identificar la fuente como un agujero negro. Por eso, los astrónomos desean construir vehículos espaciales equipados con detectores especiales que puedan “ver” los rayos X. De hecho, los agujeros negros son tan buenos emisores de rayos X que miles de ellos pueden ser detectados de esta forma. EXIST es uno de esos vehículos espaciales, diseñado para detectar decenas de miles de agujeros negros, algunos de ellos situados a miles de millones de años luz. El propósito del vehículo espacial EXIST es crear un mapa completo del cielo, con datos sumamente detallados sobre la ubicación de los agujeros negros, incluso de aquellos que de otra manera quedarían ocultos de nuestra vista, oscurecidos por el gas y el polvo estelar.

### Los agujeros negros, ¿son realmente negros?

*Aunque parezca sorprendente, ¡es posible que los agujeros negros no sean totalmente negros!*

- El material que cae en ellos puede llegar a resplandecer debido a su elevada temperatura.
- A veces, los agujeros negros son tan luminosos que brillan más que toda una galaxia.
- Los agujeros negros supermasivos pueden ser tan luminosos que podemos verlos desde distancias de miles de millones de años luz.
- El nacimiento de un agujero negro de masa estelar produce un destello de radiación tan intenso que puede brillar más que galaxias enteras, ¡y verse claramente en todo el universo visible!

## ● How do black holes affect things near them?



NASA/Honeywell Max-Q Digital Group/Dana Berry  
parte de una animación

¿Estamos en riesgo de ser engullidos por un agujero negro? En realidad, no. Estamos a salvo.

La fuerza de gravedad de un agujero negro es sólo peligrosa estando muy cerca de él. Es sorprendente pero, a gran distancia, su gravedad no difiere mayormente de la de una estrella de

igual masa. La fuerza de gravedad depende de la masa del objeto y de la distancia que nos separa del mismo. Si el Sol fuera a transformarse en un agujero negro (no te preocupes, pues es demasiado liviano para que esto pueda suceder), tendría que encogerse tanto que su horizonte de eventos sería de apenas 6 km (4 millas) de diámetro. Desde la Tierra, a una distancia de 150 millones de kilómetros (es decir, 93 millones de millas), sentiríamos exactamente la misma gravedad que sentimos antes de que el Sol dejara de ser una estrella normal. Esto se debe a que no se habrán modificado ni la masa del Sol ni la distancia que nos separa de él. Sin embargo, si nos acercásemos al agujero negro hasta situarnos a unos pocos kilómetros, ¡sin duda sentiríamos la diferencia!

Podríamos decir entonces que los agujeros negros no deambulan de un lado a otro destrozando estrellas y engullendo todo lo que tienen a la vista. Las estrellas, los gases, los planetas y demás cosas tendrían que encontrarse sumamente próximos a un agujero negro para ser atrapados por él. Pero el espacio estelar es grande. La probabilidad de que ello ocurra es bastante pequeña.

Pero todo es diferente cerca de un agujero negro supermasivo ubicado en el centro de una galaxia. A intervalos de unos cientos de miles de años, alguna estrella siempre pasa demasiado cerca de tales agujeros negros y es destruida. Esto produce un estallido de rayos X que resulta visible... ¡durante décadas! Sucesos de este tipo ya se han observado en otras galaxias. El fin principal de satélites como EXIST es justamente identificarlos, ya que de otra manera serían considerados agujeros negros “inactivos.”

Los astrónomos han descubierto otra cosa sorprendente acerca de las galaxias: cuanto más masivo es el agujero negro central de una galaxia, las estrellas en su región interna orbitan más rápido alrededor del centro galáctico. Teniendo en cuenta que la velocidad de una estrella corresponde a la masa interna de su galaxia — y un enorme agujero negro es sólo una pequeña fracción de dicha masa —, los astrónomos llegaron a la conclusión de que la masa total de la región interna de una galaxia es proporcional a la masa (relativamente muy pequeña) de su agujero negro central. Es como si la formación del agujero negro influyera sobre la formación de miles de millones de estrellas normales a su alrededor. Otro objetivo del vehículo espacial EXIST será comprobar este presunto proceso de “re-alimentación” entre la formación de una galaxia y los agujeros negros supermasivos.

Para ello, deberá investigar los agujeros negros de una población bastante grande de galaxias.

Los astrónomos creen que, cada día, ¡nace al menos un agujero negro!

## ☉ ¿Pueden utilizarse los agujeros negros para viajar por el espacio-tiempo?

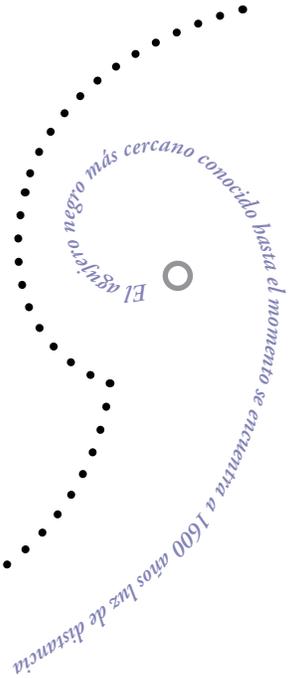
Siempre ha sido un cliché de la ciencia ficción utilizar los agujeros negros para viajar a través del espacio. Basta sumergirse en uno de ellos para emerger en otra región del universo, tras haber viajado miles de años luz en tan solo un instante. Basta sumergirse en uno de ellos para emerger en otra región del universo, tras haber viajado miles de años luz en un pestañar de ojos.

Pero eso es ficción. En realidad, lo más probable es que no funcione. Los agujeros negros deforman el espacio y el tiempo, como si perforaran la estructura del universo. Existe la teoría de que, si esto ocurre, un agujero negro puede formar un túnel en el espacio denominado agujero de gusano

(por parecerse al túnel que hacen los gusanos al atravesar una manzana comiendo su interior). Ingresando en un agujero de gusano, apareceríamos en algún lugar lejano sin necesidad de recorrer la distancia real.

Según parece, desde el punto de vista matemático, la formación de agujeros de gusano es posible, pero serían extremadamente inestables o deberían estar constituidos por formasteóricas de materia que posiblemente no ocurran en la naturaleza. La conclusión es que probablemente los agujeros de gusano no existan.

Cuando inventemos los viajes interestelares, tendremos que recorrer un largo camino.



## ☉ ¿Qué podemos aprender con el estudio de los agujeros negros?

Los agujeros negros representan el punto final y definitivo de la materia. Deforman y destruyen el espacio y el tiempo hasta el límite de lo imaginable. Pero también nos enseñan mucho sobre cómo funciona el universo.

¿Puede llegar a quebrarse? Los agujeros negros constituyen un laboratorio natural donde podemos encontrar la respuesta a dichas preguntas. Einstein predijo que un agujero negro, al formarse, puede originar ondulaciones en la estructura del espacio, similares a las olas que se forman tras arrojar una piedra en un estanque. Hasta hoy no se han detectado tales ondas gravitacionales, pero los científicos están desarrollando experimentos para buscarlas. De ser detectadas, con seguridad nos darían mucha información sobre el modo en que actúa la gravedad. Asimismo, algunos científicos suponen que ondas gravitacionales también fueron producidas durante la Gran Explosión, o Big Bang. Si fuese posible detectarlas, sería como mirar hacia el pasado, a la Hora Cero, el comienzo mismo de la existencia.

Einstein predijo que al formarse un agujero negro, puede originar ondulaciones en la trama del espacio, similares a las olas que se forman tras arrojar una piedra en un estanque. Hasta hoy no se han detectado tales ondas gravitacionales, pero los científicos están desarrollando experimentos para buscarlas. De ser detectadas, con seguridad nos darían mucha información sobre el modo en que actúa la gravedad. Asimismo, algunos científicos suponen que las ondas gravitacionales se originaron con la Gran Explosión, o Big Bang. Si fuese posible detectarlas, sería como mirar hacia atrás hasta la Hora Cero, el comienzo mismo de la existencia.

Caer en un agujero negro sería lo último que una persona haría, pero para los científicos los agujeros negros son justamente el punto de partida de nuestra exploración del espacio, del tiempo y de todo lo que encierran.



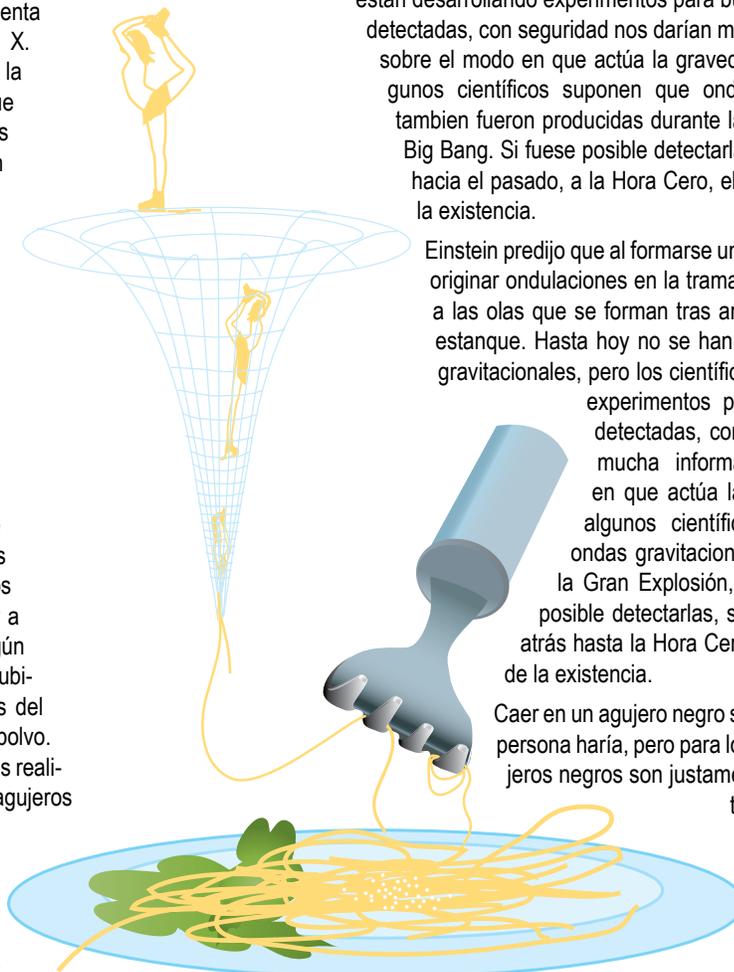
NASA, Dana Berry

A medida que la materia cae en un agujero negro, se calienta y emite rayos X. Estudiando la manera en que los agujeros negros emiten rayos X, con observatorios como EXIST, los científicos pueden obtener información acerca del modo en

que los agujeros negros engullen la materia, cuánto pueden comer y con qué velocidad pueden hacerlo. Todo esto es fundamental para comprender las propiedades físicas de los agujeros negros. EXIST ofrece otra ventaja: muchos agujeros negros están ocultos por partículas de polvo que los oscurecen, pero los ojos de EXIST pueden atravesarlas para observar a los agujeros negros que están del otro lado. Según datos actuales, probablemente desconocemos la ubicación de hasta el 80% de los agujeros negros del universo debido al efecto de estas partículas de polvo. En tal sentido, EXIST permitirá a los astrónomos realizar un censo más exacto de la población de agujeros negros.

¿Qué sucede en el borde mismo del agujero negro, donde la luz no puede escapar, donde el espacio y el tiempo intercambian lugares, donde incluso la

Teoría de la Relatividad General de Einstein pu-



## ☉ ¿Dónde están los agujeros negros?

¡Los agujeros negros están en todas partes! Según la información disponible, los astrónomos consideran que, tan solo en nuestra galaxia, la Vía Láctea, probablemente existan millones de agujeros negros. Eso puede parecer un gran número, pero el más cercano que han descubierto se encuentra a 1600 años luz, una distancia bastante considerable: ¡unos 16 mil millones de millones de kilómetros! Definitivamente está demasiado lejos para afectarnos. El agujero negro gigante ubicado en el centro de nuestra galaxia se encuentra todavía más lejos: está a 30,000 años luz, de modo que no corremos peligro de ser succionados por el torbellino.

Para ser peligroso, un agujero negro tendría que hallarse muy cerca de nosotros, probablemente a menos de un año luz de distancia.

No solo no hay ningún agujero negro tan cercano, sino que no hay ninguno que pueda llegar a acercarse tanto. Entonces, no debemos preocuparnos por quedar “espaguetizados” en el futuro cercano.



NASA/CXC/M.Weiss

### EXIST

El Telescopio para Obtención de Imágenes por Rayos X Energéticos (EXIST) es un satélite propuesto por la NASA para observar los rayos X de alta energía emitidos por los agujeros negros y otros objetos

astronómicos exóticos. Es un firme candidato para convertirse en la Sonda de Búsqueda de Agujeros Negros, una de las tres “Sondas de Einstein” del programa de la NASA “Más Allá de Einstein.” EXIST podría ser lanzado a principios de la próxima década y, debido a su incomparable sensibilidad, sería utilizado para estudiar agujeros negros de todos los tamaños.



SSU NASA E/PO, A. Simonnet

Es probable que nuestra galaxia, la Vía Láctea, albergue millones de agujeros negros de masa estelar, pero sólo hay en ella un único agujero negro supermasivo, ubicado justo en el centro, que inclina la balanza cósmica hasta 4 millones de veces la masa del Sol. No obstante, no debemos preocuparnos. Estamos a casi 30.000 años luz de distancia, demasiado lejos como para caer en él.

## Glosario

**Agujero de gusano:** Atajo teórico a través del espacio que se produce cuando un agujero negro perfora la estructura del espacio-tiempo. Si bien desde el punto de vista matemático la formación de agujeros de gusano es posible, en realidad probablemente no existan.

**Descarga de rayos gamma:** Explosión titánica de luz de alta energía que, según se cree, responde a la formación de un agujero negro.

**Disco de acreción:** Disco de materia que se forma al caer gran cantidad de material dentro de un agujero negro. Se encuentra fuera del horizonte de eventos del agujero negro. La fricción y otras fuerzas calientan el disco de tal forma que comienza a emitir luz.

**Gravedad:** Fuerza de atracción de un objeto que depende de su masa y de la distancia que nos separa del mismo. Cuanto más masivo sea un objeto, o cuanto más cerca nos encontremos de él, tanto mayor será su fuerza de gravedad.

**Horizonte de eventos:** Distancia desde el centro de un agujero negro a la cual la velocidad de escape es igual a la velocidad de la luz.

**Masa:** Cantidad de materia que compone un objeto.

**Supernova:** Estrella que explotó o que está explotando.

**Velocidad de escape:** Velocidad necesaria para que un objeto quede esencialmente liberado del efecto gravitacional de otro.

### Créditos:

“Agujeros negros: de aquí a la eternidad” fue desarrollado como parte de EXIST y GLAST, los programas de extensión educativa y pública (E/PO) de la NASA en la Universidad Estatal de Sonoma (SSU), California, bajo la dirección de la profesora Lynn Cominsky.

Escrito por el Dr. Philip Plait. Diseño y compaginación de Aurore Simonnet. Colaboración especial del Dr. Kevin McLin y del investigador principal de EXIST, el profesor Josh Grindlay.

### Referencias

Página principal de EXIST: <http://exist.gsfc.nasa.gov>  
SSU E/PO: <http://epo.sonoma.edu>

[www.nasa.gov](http://www.nasa.gov)