

Una mirada a los agujeros negros

¿Qué es un agujero negro?

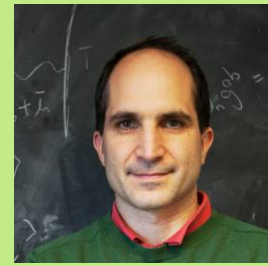
Los agujeros negros constituyen uno de los conceptos de la física que han pasado a la cultura popular. ¿Qué son? ¿Existen realmente? Antes de responder a estas preguntas tendremos que hablar un poco sobre el espacio-tiempo y la gravedad.

El concepto de espacio-tiempo

En 1915 Einstein propuso una nueva teoría de la gravedad. Su idea revolucionaria es que la gravedad se debe a la deformación del espacio-tiempo. Tanto el espacio como el tiempo son conceptos básicos e intuitivos. Sin embargo, en la física, es conveniente pensar al espacio y al tiempo como distintos aspectos o proyecciones de una única realidad, que llamamos espacio-tiempo. Esto lo hacemos porque dos observadores que se mueven uno con respecto a otro perciben el tiempo en forma distinta; podemos decir que el espacio y el tiempo se mezclan cuando uno se mueve, pero el conjunto del espacio y el tiempo es el mismo. El espacio-tiempo más sencillo es el que tendríamos sin materia en ningún lado, ya que tiene una geometría plana, sin curvatura. Según la teoría de la gravedad de Einstein, el espacio-tiempo puede ser curvo. Esta curvatura es producida por la materia. Por ejemplo, aquí en la Tierra el tiempo no transcurre en forma uniforme debido a la gravedad. Un reloj en el primer piso de un edificio anda un poco más lento que un reloj en el tercer piso. Este es un efecto muy pequeño, de una parte en 10^{15} . A pesar de ser pequeño, se puede medir con relojes muy precisos. El espacio-tiempo se deforma de una manera regida por las ecuaciones de Einstein. Estas son las ecuaciones que reemplazan a la ley de gravitación de Newton.

Predicción matemática de los agujeros negros

Las ecuaciones de Einstein nos dicen que si concentráramos la masa de la Tierra en una región más pequeña, este efecto se haría cada vez más grande. El reloj en la superficie andaría cada vez más lentamente. Si concentráramos toda la masa de la Tierra en una región del tamaño de un gar-



Autor:

Juan Martín
Maldacena

Egresado del Instituto Balseiro

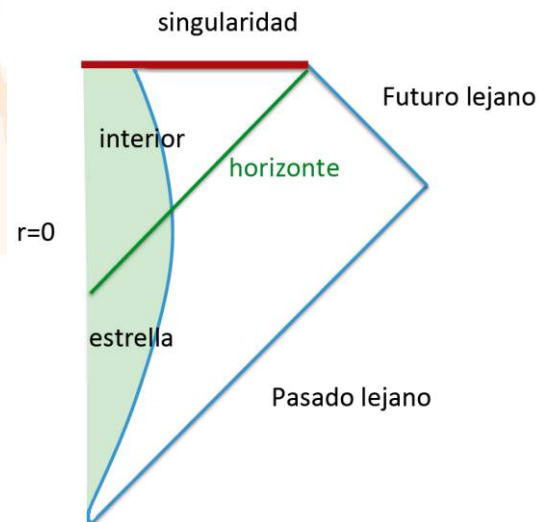
Doctorado en Princeton
University (EE.UU.)

Actualmente profesor en el
Instituto de Estudios Avanzados

Investiga sobre gravedad
cuántica, teoría de cuerdas y
agujeros negros (1)

banzo, entonces el reloj en la superficie parecería detenerse. No solo eso, la materia colapsaría inexorablemente y se comprimiría infinitamente. Ocurriría una especie de "big-crunch" (lo opuesto al big bang).

Lo que se formaría sería un *agujero negro*. Un agujero negro es una geometría, una solución matemática de las ecuaciones de Einstein. Es una geometría en donde el tiempo se deforma en una forma esencial.



Vamos a describir las partes importantes de esta geometría. Si estamos lejos de un agujero negro tenemos un espacio deformado levemente, como lo deforma la Tierra o cualquier otro objeto. Al acercarnos al agujero negro, podemos definir una superficie imaginaria que llamamos el *horizonte*. Es "imaginaria" porque alguien que está cayendo libremente no siente nada especial cuando la cruza. Sin embargo, esta superficie divide

al espacio-tiempo en dos partes, el exterior y el interior. Si uno entra en el interior, uno no puede volver a salir, uno no puede alejarse nuevamente.

Una analogía interesante es la siguiente. Pensemos al espacio tiempo como un río. En el río hay una catarata. Bastante antes de la catarata el agua fluye lentamente, pero al acercarse a la catarata el agua va cada vez más rápido. Imaginemos que hay peces nadando en ese río. Vienen desde río arriba y pueden nadar en cualquier dirección pero sólo a una velocidad máxima con respecto al agua. Hay un punto del río en donde la velocidad del agua es igual a la velocidad máxima de los peces. Este es un punto sin retorno. Si el pez está río arriba de este lugar, puede nadar contra la corriente y evitar caer en la catarata. Sin embargo, si un pez cruza este lugar, ya no puede evitar caer en la catarata. La catarata es análoga a la singularidad. El pez no siente nada especial cuando cruza este punto sin retorno, así como no sentiríamos nada especial al cruzar el horizonte de un agujero negro. Este punto sin retorno es análogo al horizonte.

¿No lo entendiste completamente? No estás solo, Einstein tampoco lo entendió. Schwarzschild, quien encontró la solución matemática de las ecuaciones en 1916, tampoco (se murió en la Primera Guerra Mundial). Recién en los años 60 se entendió bien la interpretación física de esta solución matemática y se inventó el nombre "agujero negro". Negro, porque ni la luz puede escapar del interior.

La existencia real de los agujeros negros

Hasta ahora hablamos de los agujeros negros como una posibilidad exótica, ya que resultaría muy difícil concentrar la masa de la Tierra en un garbanzo. Sin embargo, si consideramos objetos más masivos, no hace falta llegar a una densidad tan extrema para tener un agujero negro. Por ejemplo, podemos hacerlo con aire, si tuviéramos mucho. No necesitamos comprimirlo, la gravedad lo hará. Sólo necesitamos mucho aire: suficiente como para llenar una esfera del tamaño del sistema solar (digamos del

tamaño de la órbita de Plutón). El agujero negro que se formaría tendría una masa grande, unos mil millones de veces más grande que la masa del Sol. Hay bastante evidencia de que en el centro de muchas galaxias, incluida la nuestra (la Vía Láctea), hay agujeros negros de este tipo.

También se pueden formar agujeros negros cuando tenemos estrellas muy masivas. Allí la fuerza de la gravedad puede generar objetos de densidades similares a la densidad de los núcleos de los átomos. Estos agujeros negros tienen unas masas de 5-60 veces la masa del Sol.

Una de las mejores evidencias de la existencia de los agujeros negros viene de la detección de ondas gravitatorias, que se anunció en 2016. Las ondas gravitatorias son vibraciones del espacio-tiempo que se producen cuando objetos masivos se aceleran. Estas ondas gravitatorias tenían la forma característica que uno espera cuando chocan dos agujeros negros. Es decir, que se cree que había un par de agujeros negros moviéndose uno alrededor del otro. Fueron emitiendo ondas gravitatorias, fueron perdiendo energía, hasta que cayeron uno dentro del otro y se formó un agujero negro más grande. Todo esto se puede calcular usando las ecuaciones de Einstein (y buenas computadoras). Las ondas gravitatorias calculadas de este modo son como las que se detectaron recientemente.

Hay muchos otros aspectos interesantes de los agujeros negros, que dejaremos para otra ocasión.

CURRICULUM (Cont.)

(1) En 1997 el Autor propuso una relación entre teorías cuánticas y teorías de la gravedad que ha iluminado distintos aspectos de ambas teorías.

En 2012 fue uno de los nueve científicos honrados con el premio Yuri Milner de Física Fundamental.

En 2013 obtuvo el Premio Konex de Brillante como la figura más destacada de la década en las Ciencias y Tecnologías de la Argentina.



Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable

Comisión Nacional de Energía Atómica

Tel: 011-4704-1485 www.cnea.gov.ar/ieds

Av. del Libertador 8250 (C1429BNP) C. A. de Buenos Aires - República Argentina

Año de edición: 2017 ISBN: 978-987-1323-12-8