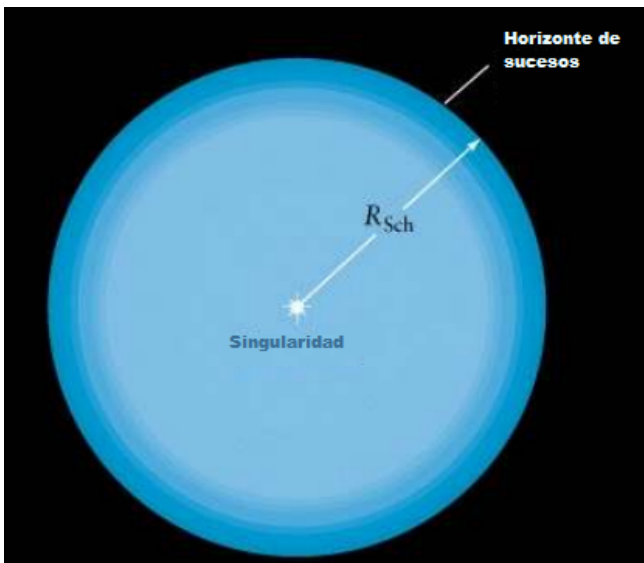


NATURALEZA DE LOS AGUJEROS NEGROS

Si un cañón dispara un proyectil en la superficie terrestre, el obús describirá una trayectoria parabólica y caerá finalmente a la superficie. El punto de máxima altura será mayor en función de la velocidad de salida del proyectil y este se escapará de la atracción del planeta si su rapidez de salida supera los 11,3 km/s. Si la Tierra tuviera la misma masa, pero reduciendo su radio a la cuarta parte, la velocidad de escape sería el doble. Podemos imaginar una reducción del radio terrestre hasta el punto de que esta velocidad de escape superara a la de la luz. En ese momento nada podría escapar del planeta, ni aún la luz, la Tierra se habría convertido en un **agujero negro**.

¿Pero se podría contraer la Tierra hasta ese tamaño? No parece factible para este caso, sin embargo es muy posible cuando hablamos de estrellas.

Un estrella como nuestro Sol es una inmensa esfera de gas caliente que mantiene el equilibrio entre la presión hacia el exterior que suministra la fusión nuclear en su interior y la fuerza gravitatoria de su propia masa. Cuando la fusión se acaba, tras un proceso complejo en el que se pierde parte de la masa, el resto se comprime hasta que la repulsión entre los electrones de los átomos contrarresta la gravedad. El astro se habrá convertido en una enana blanca del tamaño de un planeta. Esto puede ocurrir para astros con una masa inicial no superior a 8 veces la del Sol y cuyo resto, cuando se acaba la fusión, no sea mayor de 1,4 de veces esa masa solar (límite de Chandrasekhar). Si el astro es mayor, la fuerza de la gravedad supera la repulsión de los electrones, a los que obliga a combinarse con los protones, liberándose una gran energía (explosión de supernova) y quedando un astro de unas decenas de kilómetros de radio, formado sobre todo por neutrones. En los pocos casos en que la estrella tenga una masa inicial superior a unos 20 soles, puede que el resto, después de la explosión, sea aún superior a 3 soles (límite de Oppenheimer-Volkoff). Entonces la fuerza de la gravedad será superior a la repulsión por la fuerza nuclear y, en principio, toda la masa de la estrella se contraería a un solo punto, la singularidad.



Hasta una cierta distancia, la gravedad sería tan intensa que nada, ni la luz, podría escaparse a su exterior. Esa distancia describe una esfera. El radio de esa esfera, calculado por Karl [Schwarzschild](#) utilizando la teoría de la relatividad es proporcional a la masa del objeto:

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Donde G es la constante gravitatoria de Newton, M es la masa del astro y c es la velocidad de la luz. Con un adecuado cambio de unidades:

$R_s = 2,8 M_s \text{ km}$, donde M_s es la masa del astro en soles.

Este tipo de cuerpos absorbe continuamente material interestelar que, tras penetrar por el horizonte de sucesos se pierde en su interior. Cuando el agujero negro tiene un compañero estelar próximo, en fase avanzada de su vida, puede tomar continuamente material gaseoso de su compañero que cae hacia el interior del agujero en una trayectoria espiral (como el agua tragada por el desagüe del lavabo). Por la aceleración gravitatoria, las partículas del gas se aceleran a velocidades próximas a las de la luz y su temperatura se hace tan elevada que emite rayos X. Es precisamente esta radiación la que hace detectables a estos agujeros negros. El primero en ser descubierto fue Cygnus X-1, un agujero negro de unos 40 km de diámetro y casi 15 soles de masa.

Hay que indicar que, en los alrededores de un agujero negro, es inválida la mayor parte de la teoría gravitatoria de Newton, siendo de uso imprescindible la teoría de la relatividad generalizada de Einstein. En el mundo relativista, la masa de los cuerpos deforma el espacio-tiempo a su alrededor. Este efecto es difícilmente apreciable en el caso de objetos “pequeños” como un planeta, por ejemplo; pero es insoslayable en el caso de objetos supermasivos y superdensos.



En la imagen artística adjunta (extraída de [Muy interesante](#)), vemos unos curiosos anillos alrededor de un agujero negro. Esos anillos corresponden a objetos situados detrás del agujero negro que podemos ver gracias a que la curvatura espacio-temporal permite a su luz contornear el obstáculo.

También es importante señalar que si dejamos caer un objeto cualquiera hacia un agujero negro, nunca le veríamos atravesar el horizonte de sucesos. La deformación gravitatoria del tiempo haría que un pequeño intervalo de tiempo para el objeto, a nosotros nos parecería acercarse a un valor infinito. Además, la luz proveniente del objeto sufriría un corrimiento al rojo (por la energía perdida por los fotones viajando desde muy cerca del horizonte de sucesos)

que se haría imperceptible. A este efecto contribuiría la pérdida de potencia luminosa causada por la lucha contra la gravedad.

Los más conocidos investigadores de estos misteriosos astros, [Hawking](#) y [Penrose](#), descubrieron que los agujeros negros “son calvos”, es decir que todos los objetos que caen dentro pierden sus “pelos” (cualquier información que no sea su masa, carga y momento angular).



Hasta ahora hemos hablado de agujeros negros dotados solos de masa, estudiados por [Schwarzschild](#).

Hay otros modelos en el que se considera también su masa y carga, su masa, carga y momento angular, o simplemente su masa y su momento angular.

Se estima muy probable que la carga total de los agujeros negros sea nula (en caso contrario atraerían a la carga de signo contrario hasta neutralizarse), pero sí parece razonable que tengan momento angular, es decir que giren. El modelo que estudia agujeros negros con masa y momento angular, desarrollado por [Kerr](#) parece por tanto realista.

En este modelo existe una zona llamada ergosfera, de la que un objeto aún puede escapar, pero en la que es imposible una órbita estable debido al arrastre del espacio tiempo ejercido por el agujero. Contiene además dos horizontes de sucesos, de forma que un objeto, aunque no pueda escapar puede mantenerse en movimiento permanente en los dos horizontes. Como no todos los teóricos están seguros de la existencia física de este desdoblamiento de horizontes de sucesos, en nuestra

simulación incluiremos solo el horizonte externo. Después de todo, cualquier objeto que lo cruce, no podrá ser visto desde el exterior nunca más. Finalmente la singularidad no es un punto, sino un anillo. Un objeto que pasara por el centro de este anillo tendría la posibilidad teórica de aparecer en otro punto del espacio y del tiempo, quizás en otro universo diferente del nuestro. Sería este un mecanismo de viaje en el espacio-tiempo más posible físicamente que los “agujeros de gusano” teorizados como [puente de Rose-Einstein](#), muy utilizados en películas de ciencia ficción.

Existe también la posibilidad de que estos agujeros de gusano, o nuestro agujero de Kerr, pudieran ser agujeros blancos en otro punto del espacio tiempo, es decir, lugares de los que la materia es irradiada al exterior, en vez de ser absorbida: ¿Podría ser el Big Bang la manifestación de un gran agujero blanco?.

Más allá de especulaciones, el estudio de agujeros negros reales, como el descubierto en el [núcleo de la galaxia M87](#), puede servir para desatascar el avance de la física teórica, obstaculizado por las incompatibilidades descubiertas entre la teoría relativista y la mecánica cuántica a la hora de estudiar el campo gravitatorio.