



Agujeros de Gusano

Paula Andrea Plazas Isanoa ¹
Luis Fernando Horta Camacho ²

10 de febrero de 2022

1. Introducción

Tenemos una teoría relativista general de los fenómenos macroscópicos que, sin embargo, hasta ahora ha sido incapaz de dar cuenta de la estructura atómica de la materia y de los efectos cuánticos, y tenemos una teoría cuántica que puede dar cuenta satisfactoriamente de un gran número de fenómenos atómicos y cuánticos, pero que por su propia naturaleza no se adapta al principio de la relatividad. En estas circunstancias, no parece plantear la cuestión de hasta qué punto el método de la relatividad general ofrece la posibilidad de dar cuenta de los fenómenos atómicos.

Se sabe que los agujeros de gusano de Lorentz son posibles dentro de la relatividad general, pero la posibilidad física de estas soluciones es incierta. Incluso, se desconoce si la teoría de la gravedad cuántica, que se obtiene al condensar la relatividad general con la mecánica cuántica, permitiría la existencia de estos fenómenos. La mayoría de las soluciones conocidas de la relatividad general que permiten la existencia de agujeros de gusano atravesados requieren la existencia de materia extraña, una sustancia teórica que contiene energía de densidad negativa. Sin embargo, no ha sido matemáticamente probado que este sea un requisito absoluto para este tipo de agujeros de gusano atravesados ni se ha establecido que la materia exótica no puede existir.

2. Fenomenología

Un agujero de gusano, también conocido como puente de Einstein-Rosen, es una hipotética característica topológica de un espacio-tiempo, descrita en las ecuaciones de la relatividad general, que esencialmente consiste en un atajo a través del espacio y el tiempo. Un agujero de gusano tiene por lo menos dos extremos conectados a una única garganta, a través de la cual podría desplazarse la materia. Hasta la fecha no se ha hallado ninguna evidencia de que el espacio-tiempo conocido contenga estructuras de este tipo, por lo que en la actualidad es solo una posibilidad teórica en la ciencia.

3. Origen de su nombre

El término «agujero de gusano» fue introducido por el físico teórico estadounidense John Wheeler en 1957 (inspirado en la obra de Hermann Weyl) y mediante un artículo coescrito con Charles Misner.

4. Ecuaciones de campo de Einstein

Las ecuaciones de campo de Einstein, ecuaciones de Einstein o ecuaciones de Einstein son un conjunto de diez ecuaciones de la teoría de la relatividad general de Albert Einstein que describen la interacción fundamental de la gravitación como resultado de que el espacio-tiempo está siendo curvado por la materia y la energía. En este caso se consideran las ecuaciones espaciales:

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = -T_{ik} \quad (1)$$

A partir de esto se obtuvo la solución de Schwarzschild, la cual consiste en una solución estática de las ecuaciones gravitacionales con simetría esférica, esta se presenta en la Ec. 2. Se define para $r > 2m$, θ de 0 a π , y ϕ de 0 a 2π ; las variables x_1, x_2, x_3, x_4 corresponden a r, θ, ϕ, t .

$$ds^2 = -\frac{1}{1 - \frac{2m}{r}}dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2(\theta)d\phi^2) + (1 - \frac{2m}{r})dt^2 \quad (2)$$

De esta ecuación se puede observar que g_{11} en el punto $r = 2m$ se vuelve infinito, luego se tiene una singularidad. Si se introduce una nueva variable:

$$u^2 = r - 2m \quad (3)$$

Reemplazando 3 en 2 se obtiene la Ec. 4.

¹pplazasi@unal.edu.co

²lfhortac@unal.edu.co

$$ds^2 = -4(u^2 + 2m)du^2 - (u^2 + 2m)^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2) + \frac{u^2}{u^2 + 2m}dt^2 \quad (4)$$

De este cambio de variables se obtiene que u varía de $-\infty$ a $+\infty$, mientras que r varía de $+\infty$ a $2m$ y luego nuevamente de $2m$ a $+\infty$. Por otro lado, t desaparece para $u=0$, por lo tanto, también desaparece el determinante de g . Entonces, estamos tratando con una solución de las ecuaciones de campo, que está libre de singularidades para todo punto finito.

De la Ec. 3 se obtienen soluciones positivas y negativas de u que dependen de r :

$$u = \pm\sqrt{r - 2m} \quad (5)$$

Luego, el espacio cuatridimensional se puede describir matemáticamente mediante dos partes congruentes o "láminas", correspondientes a las soluciones $u > 0$ y $u < 0$. Dichas láminas están unidas por un hiperplano $r = 2m$ o $u = 0$ en el que g desaparece. Llamamos a tal conexión entre las dos hojas un "puente", y se ilustra en la Figura 1.

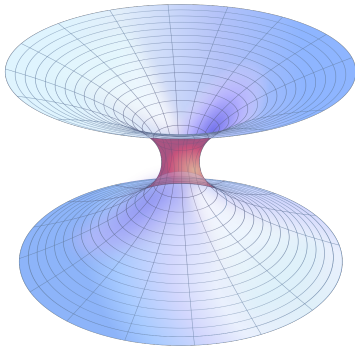


Figura 1: Diagrama de un agujero de gusano de Schwarzschild.

Otra manera formal de ilustrar un agujero de gusano es mediante un diagrama de Kruskal-Szekeres, el cual se basa en un sistema de coordenadas de la geometría de Schwarzschild para agujeros negros. Estas coordenadas tienen la ventaja de cubrir la variedad de espacio-tiempo de la solución de Schwarzschild extendida al máximo y se comportan bien en todas partes fuera de la singularidad física. El diagrama se muestra en la Figura 2, en donde la región I del diagrama corresponde a $u > 0$ y representa un agujero negro, y la región II del diagrama corresponde a $u < 0$ y representa un agujero blanco³.

5. ¿Existen realmente los agujeros de gusano de Schwarzschild?

Los agujeros de gusano de Schwarzschild ciertamente existen como soluciones exactas de las ecuaciones de Einstein. Pero :

- Cuando una estrella realista colapsa en un agujero negro, no produce un agujero de gusano.

³Un agujero blanco es un agujero negro que retrocede en el tiempo. Así como los agujeros negros se tragan las cosas, los agujeros blancos las escupen.

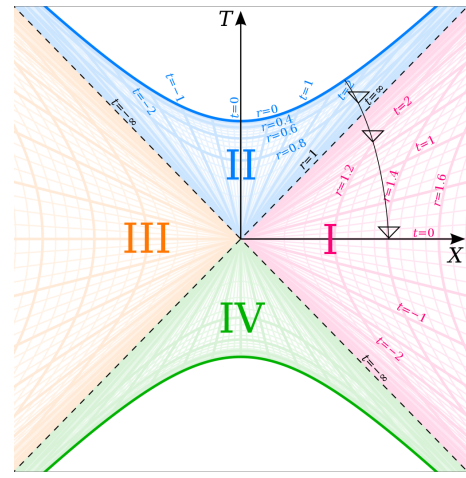


Figura 2: Diagrama Kruskal-Szekeres de un agujero de gusano de Schwarzschild.

- La geometría completa de Schwarzschild incluye un agujero blanco, que viola la segunda ley de la termodinámica.
- Incluso si de alguna manera se formara un agujero de gusano de Schwarzschild, sería inestable y colapsaría.

Este tipo de agujero de gusano es inestable y se desintegraría instantáneamente tan pronto como se formase. Ni siquiera un rayo de luz que entre por un extremo alcanzaría a atravesar antes de que se desintegre. La tremenda gravedad impulsa al agujero de gusano tanto a alargarse a lo largo como a encogerse en la mitad.

6. Estabilizando un agujero de gusano con materia exótica

En principio, un agujero de gusano podría estabilizarse ensartando su garganta con "materia exótica". En el agujero de gusano estable de la izquierda, la materia exótica forma una delgada capa esférica. El caparazón de materia exótica tiene masa negativa y presión superficial positiva. La masa negativa asegura que la garganta del agujero de gusano quede fuera del horizonte, para que los viajeros puedan atravesarlo, mientras que la presión superficial positiva evita que el agujero de gusano colapse. En relatividad general, uno es libre de especificar cualquier geometría que quiera imaginar para el espacio-tiempo; pero entonces las ecuaciones de Einstein especifican cuál debe ser el contenido de energía-momento de la materia en ese espacio-tiempo para producir esa geometría. En general, los agujeros de gusano requieren materia exótica de masa negativa en sus gargantas para ser atravesables. Si bien la noción de masa negativa es ciertamente extraña, las fluctuaciones del vacío cerca de un agujero negro son exóticas, por lo que tal vez la materia exótica no sea del todo imposible.

7. Materia exótica

El significado más amplio es tan solo materia de quarks que contiene tres sabores de quarks: arriba, abajo y extraño. En esta definición, hay una presión crítica y una densidad crítica asociada, y cuando la materia nuclear (hecha de protones y neutrones) se

comprime más allá de dicha densidad, los protones y neutrones se disocian en los quarks que los componen (se convierte en materia indestructible), resultando así materia de quarks (probablemente materia extraña).

Referencias

- [1] A.EINSTEIN AND N.ROSEN, INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY, PRINCETON , *The Particle Problem in the General Theory of Relativity*, 1935.
- [2] [HTTP://CASA.COLORADO.EDU/ AJSH/SCHWW.HTM](http://CASA.COLORADO.EDU/AJSH/SCHWW.HTM) ,
- [3] [HTTPS://ES.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/AGUJERO_{de_gusano}](https://es.wikipedia.org/wiki/AGUJERO_de_gusano),
- [4] CHARLES W. MISNERT y JOHN A. WHEELERS, *Gravitation, Electromagnetism, Unquantized Charge, and Mass as Properties of Curved Empty Space*, 1957.