

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey  
Radiación de Hawking  
Abelardo Vals Alonso Villela, Juan Reynaldo Alonso Villela, Luis Alberto  
González José  
4 de diciembre de 2014

## 1 Introducción

La Teoría de la Relatividad General y la Mecánica Cuántica son, sin duda, los logros más importantes de la Física del siglo XX; la primera teoría gobierna al reino de las estrellas mientras que la segunda hace lo propio con el mundo subatómico.

Su importancia es tal, que si lográramos crear una teoría que unifique a estas dos estaríamos frente a la antesala de una teoría que lo explique todo.

Sin embargo, hay un problema, estas dos teorías son como el agua y el aceite, simplemente no funcionan juntas, se resisten a ser unidas en un único modelo coherente. Y la dificultad es tal, que su unificación es uno de los problemas más grandes de la física actual.

Pero a pesar de esto, en las últimas décadas se han logrado concebir modelos que unifican estas dos teorías; el problema es que solo lo hacen de una manera limitada, es decir, solo pueden aplicarse bajo ciertas circunstancias.

De todos estos modelos existe uno en particular que capta nuestra atención y del cual vamos a hablar en el presente artículo. El atractivo de este modelo es que se desarrolla en uno de los lugares más extraños y misteriosos del universo: un agujero negro.

Un agujero negro es un lugar en el espacio-tiempo en el cual la gravedad es tan grande que ni siquiera la luz, lo más rápido en el universo, puede escapar. Dicho de otra forma, es el conjunto de sucesos desde los que no es posible escapar a una gran distancia. Así, la frontera del agujero negro, denominada horizonte de sucesos, está formada por los rayos de luz que están a punto de escapar del agujero negro, pero que en lugar de ello se quedan allí para siempre, congelados por la eternidad.

Es en esta frontera donde se desarrolla una teoría que une elegantemente a la Teoría de la Relatividad y a la Mecánica Cuántica, una teoría que propone algo que desafía al sentido común: radiación emanada de los agujeros negros, la radiación de Hawking.

## 2 Antecedentes

El físico británico Stephen W. Hawking (n. 1942) es famoso por su resiliencia frente a una enfermedad degenerativa conocida como Esclerosis Lateral Amiotrófica (ALS, por sus siglas en inglés). Esta enfermedad le fue diagnosticada a Hawking durante los primeros años de sus estudios universitarios.

Su resiliencia frente a esta enfermedad le permitió continuar con sus estudios y, posteriormente, realizar un posgrado.

Hawking entonces se dedicó a la investigación teórica, centrándose en la cuestión de si habría ocurrido una singularidad en el Big Bang.

Esta fue su principal línea de trabajo hasta septiembre del año 1973, cuando visitó Moscú. Allí conoció a dos expertos soviéticos, Yakov Zeldovich y Alexander Starobinski. Pasaron la tarde discutiendo sobre el principio de incertidumbre mecanocuántico y sus implicaciones en la física de los agujeros negros en rotación. Los físicos soviéticos proponían que debido a este principio de incertidumbre, los agujeros negros en rotación deberían de crear y emitir partículas. Hawking creyó en sus argumentos, pero no sentía agrado por la forma matemática en la que los físicos soviéticos calculaban la emisión. Así que se propuso a idear un tratamiento matemático mejor.

Fue durante este ejercicio que Hawking llegó a una conclusión que lo dejó sorprendido, sus cálculos indicaban que incluso los agujeros negros que no tuvieran rotación serían capaces de crear y emitir partículas a un ritmo estacionario.

En otras palabras, cualquier agujero negro sería capaz de emitir radiación.

### 3 Radiación de Hawking

Los cálculos de Hawking han sido repetidos por otras personas y todos han llegado a la misma solución: un agujero negro debería emitir partículas y radiación como si fuera un cuerpo caliente con una temperatura dependiente únicamente de su masa. Cuanto mayor sea la masa, menor será la temperatura.

¿Pero cómo? ¿Cómo puede un objeto que por definición posee una fuerza gravitatoria tan descomunal que ni la luz puede escapar de él, producir y emitir radiación? La respuesta se halla en la naturaleza del espacio vacío. El espacio vacío no puede estar en realidad totalmente vacío, pues esto significaría que todos los campos (gravitatorio y electromagnético, por ejemplo) tendrían que ser exactamente cero, y esto es imposible.

Es imposible porque el valor de un campo y su ritmo de cambio con el tiempo son como la posición y la velocidad de una partícula: obedecen el principio de incertidumbre. Esto significa que cuanto mayor sea la precisión con que se conoce una de las magnitudes, menor será la precisión con la que se pueda conocer la otra.

Así, el espacio vacío no puede estar fijo en un valor exactamente cero, pues violaría el principio de incertidumbre. En cambio, debe haber cierta cantidad de incertidumbre, o fluctuaciones cuánticas, en el valor de un campo.

Estas fluctuaciones cuánticas pueden considerarse como pares de partículas que aparecen juntas en un instante, se separan y luego se vuelven a juntar, aniquilándose mutuamente. Estas partículas se denominan virtuales y, a pesar de ser imposible su observación por medio de un detector de partículas, sus efectos indirectos se han podido detectar como cambios sutiles en la energía de las órbitas electrónicas en los átomos, cambios en la energía que concuerdan con las predicciones teóricas.

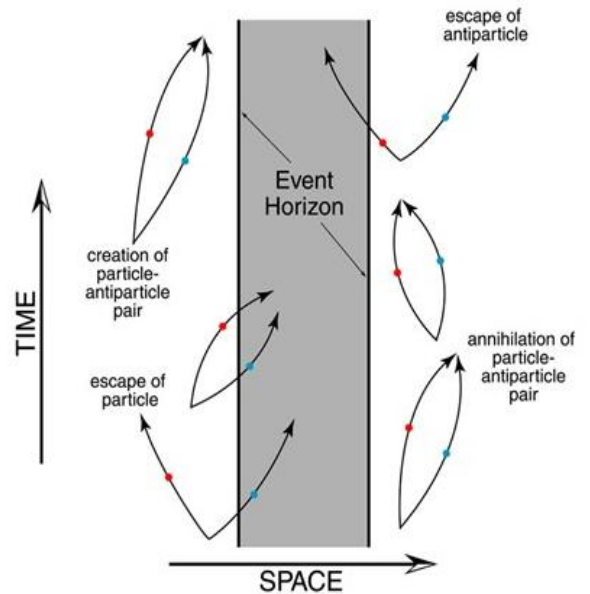
Ahora bien, debido al principio de la conservación de la energía, una de las componentes del par de partículas virtuales tendrá energía positiva y la otra energía negativa. Así, al crearse y al aniquilarse, la energía se conservará.

Una partícula real siempre tiene energía positiva en situaciones normales. Sin embargo, en el horizonte de sucesos de un agujero negro, las fuerzas son tan fuertes que incluso una partícula real puede tener allí energía negativa.

Así, si hay presente un agujero negro es posible que una partícula virtual con energía negativa caiga dentro del agujero negro y se convierta en partícula real. En este caso ya no es necesario que la partícula se aniquile con su compañera, y esta última puede caer también en el horizonte de sucesos o, puesto que tiene energía positiva, escapar al espacio como una partícula real. Para un observador externo parecerá que la partícula fue emitida desde el agujero negro.

La energía positiva de la radiación saliente estará compensada por un flujo de energía negativa que irá al interior del agujero negro, reduciendo su masa. Y cuanto menor sea la masa del agujero negro, mayor será su temperatura y el ritmo de emisión de radiación por consiguiente mayor.

Lo que ocurrirá en el momento en el que el agujero negro alcance una masa extremadamente pequeña no está del todo claro. La conjetura más razonable sugiere que éste desaparecerá en una gigantesca explosión de emisión final.



## 4 Conclusión

La física utilizada en el estudio de la radiación de Hawking nos ofrece un primer acercamiento a la naturaleza de la gravedad cuántica, y esto es importante pues es aquí donde ocurre el nexo entre la Relatividad General y la Mecánica Cuántica.

Esta teoría también devela el destino final de los agujeros negros, dándonos a entender que estos no son eternos, sino que llegará un momento en el que desaparecerán. Sin embargo, los cálculos indican que este momento de extinción no ocurriría sino hasta dentro de miles de millones de millones de años después del Big Bang. Por lo que pruebas observacionales de la conjetura mencionada anteriormente (la explosión de un agujero negro), están fuera de nuestro alcance.

Como conclusión general, esta investigación nos permite ver a la radiación de Hawking como un primer paso a una teoría que permita la unificación de la Relatividad General y la Mecánica Cuántica. Las interrogantes que surgen con respecto a esta radiación alentarán a los futuros investigadores a revelar los demás misterios que encierran los agujeros negros, y esto nos acercará al objetivo máximo de la física: una teoría del todo.

## BIBLIOGRAFÍA

Futterman, J.A.H., Handler F.A., Matzner R.A., "Scattering from black holes" 10-21 (1988)

Hawking, S. W., "Historia del Tiempo", 143-148 (1988)

Hawking, S.W., "Particle Creation by Black Holes", Commun.Math.Phys. 43, 199-220, (1975).

Kumar, K. N., B. S., Kiranagi, C. S., Bagewadi, "Hawking Radiation-A Augmentation Attrition Model", Advances in Natural Science 5, 14 (2012)