

## **Líneas de Investigación cultivadas en Facultad de Ciencias vinculadas al trabajo de Stephen Hawking**

Existen en los Institutos de Física y Matemática de la Facultad varias líneas de trabajo relacionadas a las temáticas en las que Stephen Hawking hizo contribuciones fundamentales. A continuación se mencionan algunas:

**1) Cuantización de agujeros negros.** Los agujeros negros son sistemas físicos que plantean muchas incógnitas. Se espera que la unificación de la relatividad general y la mecánica cuántica clarifique varios de los problemas que presenta nuestra comprensión actual. Dos de ellos son la llamada “paradoja de la Información”, a la que se hace referencia en la nota que acompaña este reporte, sobre la vida y la obra de Hawking, y el problema de las singularidades en los interiores de los agujeros negros. Respecto al primer problema, los agujeros negros son objetos que poseen propiedades termodinámicas y emiten radiación por lo que se evaporan gradualmente en escalas de tiempo muy grandes. Carecemos, sin embargo, de una comprensión completa del proceso de evaporación, porque el análisis de Hawking sólo describe las primeras etapas del mismo y una descripción completa solo será posible cuando se incluyan efectos cuánticos. Respecto al segundo problema, los agujeros negros poseen en su interior regiones donde todas sus propiedades físicas divergen, por ejemplo donde la curvatura del espacio se hace infinita. En física la presencia de infinitos es signo de que la teoría que estamos usando para describir el fenómeno ha dejado de ser válida, en este caso la relatividad general clásica desarrollada por Einstein debe dejar de ser válida en esas regiones extremas: antes de formar una singularidad con curvatura infinita el espacio tiempo deja de ser clásico y se transforma en un objeto cuántico. En el año 2013 investigadores del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias lograron por primera vez un tratamiento totalmente cuántico del agujero negro más simple. El agujero negro de Schwarzschild con simetría esférica. Luego las técnicas de cuantización fueron extendidas por miembros de nuestro Instituto a agujeros negros cargados y actualmente se están estudiando los agujeros negros rotantes. Dichos trabajos han tenido mucha difusión y abren las puertas para el estudio del problema planteado por Hawking acerca del destino final de la información que penetra en un agujero negro.

Participantes: Rodolfo Gambini, Javier Olmedo, Esteban Mato, Jorge Pullin

**2) Colapso de materia cuántica y formación de agujeros negros.** El agujero negro cuantizado al que hacemos referencia más arriba es un agujero eterno, es estático y no evoluciona en el tiempo. Los agujeros negros realistas son, como los estudiados por Penrose y Hawking, productos de el colapso gravitacional de un sistema material, de una estrella por ejemplo. Todos los tratamientos disponibles hasta ahora son puramente clásicos, es decir basados en la relatividad general. En el Instituto de Física, a partir de los resultados precedentes se ha intentado modelar el

colapso con una cáscara de materia cuántica gravitante.

Participantes Miguel Campiglia, Rodolfo Gambini, Javier Olmedo, Jorge Pullin.

**3) Radiación de Hawking y paradoja de la información.** Ha sido posible comprobar en trabajos desarrollados en el Instituto de Física de la Facultad de Ciencias que los agujeros negros cuánticos encontrados en 1) mantienen sus propiedades termodinámicas, en particular poseen una temperatura no nula y emiten radiación. El punto de mayor interés es determinar si la radiación emitida es puramente térmica y por tanto no sale información del agujero negro o si, por el contrario, la naturaleza cuántica de los agujeros negros cambian el comportamiento observado por Hawking y estos pueden devolver al exterior la información que inicialmente cayó en su interior en el momento de su formación. Trabajos realizados en el Instituto muestran que los efectos cuánticos permiten que salga cierta cantidad de información, aunque por ahora la cantidad de información emitida no parece suficiente para resolver la paradoja.

Participantes: Miguel Campiglia, Rodrigo Eyheralde, Rodolfo Gambini, Jorge Pullin.

**4) Nuevas cargas conservadas en espacios asintóticamente planos.** En los últimos años Hawking comenzó a pensar que la paradoja de la Información quizás podría ser resuelta si se toman en cuenta un conjunto de nuevas cargas conservadas descubiertas recientemente. Sus ideas al respecto fueron expuestas en una de sus últimas publicaciones. Estas nuevas cargas ya eran motivo de estudio por miembros del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias antes de que Hawking las considerase como posible solución del problema de la información en los agujeros negros. Los resultados aquí obtenidos son citados por Hawking ya que deben tomarse en cuenta para una demostración completa de la conjeturada resolución del problema. En los trabajos aquí realizados se mostró que dichas cargas pueden estar presentes también cuando se consideran partículas masivas y se profundizó en el estudio de la relación de las mismas con el momentum angular.

Participantes: Miguel Campiglia, Leonardo Coito, Alok Laddha.

**4) Gravedad cuántica y holografía.** El principio holográfico supone que la información contenida en un volumen de espacio se puede codificar en la superficie bidimensional nula -formada por rayos de luz- que lo contiene. Hawking fue el primero en observar que la entropía de un agujero negro esta dada, a menos de un factor de proporcionalidad, por el área del horizonte. Se puede decir que esta observación es el primer ejemplo de holografía y esta en la base de los desarrollos posteriores. Una de las líneas de trabajo del Instituto de Física consiste en un intento de cuantizar la gravedad basándose en superficies nulas -generadas por rayos luminosos. De lograrse dicha cuantización se podría demostrar el principio holográfico.

Participantes: Michael Reisenberger, Rafael Peraza.

**5) Unicidad de agujeros negros.** En el Centro de Matemática de la Facultad de Ciencias se aplican las técnicas introducidas por Stephen Hawking y George Ellis en

el libro: "The large scale structure of the spacetime". En particular se hace uso reiterado de los resultados vinculados a la ley de crecimiento del área-entropía y a la unicidad analítica de los agujeros negros rotantes de Kerr.

Participantes: Martín Reiris.