

¿ES LA GRAVEDAD UNA MANIFESTACIÓN DE LA TERMODINÁMICA CUÁNTICA?

Los principios organizadores difieren de las leyes de la naturaleza ya que es preciso que se puedan aplicar a sistemas de tamaño finito. Nunca determinarán el movimiento de partículas elementales, pero dirán la forma en que toda una colección de entes puede ser configurada. Un ejemplo que es muy familiar es la segunda ley de la termodinámica, que describe el comportamiento de una gran cantidad de cosas. Dicho en forma muy elemental, esta ley exige que el grado de desorden (que puede ser definido con exactitud) en un sistema cerrado nunca disminuye con el paso del tiempo.

Esta tendencia, tan evidente en muchos fenómenos, ejerce una renovada fascinación en pensadores de todos los campos. Así se explica que surgiera como una rama de la ciencia al final del siglo XIX en pleno apogeo de la revolución industrial. El estudio de las máquinas de vapor no sólo llevó a un entendimiento de la degradación de la energía de formas ordenadas útiles a formas desordenadas inservibles, sino también al paradigma del *universo como una enorme máquina degenerando lentamente hacia una muerte cósmica térmica*.

Esta idea produjo un "pesimismo cósmico" a principio del siglo XX. Las máquinas de calor y las reacciones químicas se guían por este segundo principio de la termodinámica. Hasta ahí era casi una tautología. Pero en la década de los setenta un descubrimiento bastante insólito sorprendió a la comunidad de física teórica y matemática. Los astrofísicos se hallaban por esta fecha sumergidos en el estudio de esos objetos einstenianos llamados "agujeros negros". Estos objetos son los más simples del universo que se crean cuando una gran cantidad de masa se ve confinada por acción gravitatoria a un volumen suficientemente pequeño. La intensidad del campo gravitatorio produce la aparición de una superficie-horizonte tal que no puede salir ente físico alguno. El agujero negro contiene el "material" dentro pero no es sólido. De este objeto cósmico sólo podemos determinar su masa total, carga eléctrica y momento angular netos que posea. Éstas son las únicas cosas que pueden conocerse de un agujero negro, lo que los convierte en los objetos más simples del universo. Cuando tratamos con otros objetos, estrellas, personas, etc., es necesario conocer un sinnúmero de cantidades para poder especificarlos unívocamen-

te. Tendríamos necesidad de montar una epiyección entre unidades medibles (magnitudes) y objetos.

Las otras cantidades que definen un agujero negro no son sorprendentes: son las que se conservan completamente en todos los procesos físicos del universo. El agujero negro más general permitido por la gravitación de Einstein se encontró en la década de los sesenta. Fue tarea de los físicos analizar los posibles cambios cuando se añade materia a un agujero negro o cuando dos agujeros negros pasan a formar un solo por coalescencia. Aquí aparecen una serie de reglas simples que gobiernan cualquier proceso que involucre agujeros negros y otras formas de materia.

El campo gravitatorio debe tener una intensidad constante a lo largo del agujero negro. El área de superficie total de todas las superficies horizonte de los agujeros negros nunca puede decrecer. Los cambios que pueden experimentar cada una de las tres magnitudes de los agujeros negros están interrelacionados de una manera definida. Así se construyen las tres leyes que rigen los cambios en los agujeros negros, pero se observó que algo extraño estaba ocurriendo. Si sustituimos "área de superficie" por "entropía", y "campo gravitatorio" por "temperatura", las leyes que determinaban los cambios en los agujeros negros se convertían en los enunciados de las leyes de la termodinámica.

En un principio se pensó en una simple coincidencia. Los agujeros negro por definición no podían tener una temperatura distinta de cero. Si colocásemos un agujero negro en una caja con radiación térmica nunca se alcanzaría el equilibrio. Simplemente el agujero negro engulliría toda la radiación.

De esta aclaración salió la suposición de la coincidencia, negando toda relación más allá del azar entre la termodinámica y la gravitación en la superficie de acontecimientos de los agujeros negros. ¿Podría un agujero negro tener semejanza con una máquina de vapor?

El año 1974 Hawking decide examinar cómo se comportan los agujeros negros con ideas cuánticas. La gran respuesta fue: ***los agujeros negros no son negros.***

En la mecánica cuántica resulta posible que la energía escape de la superficie de acontecimientos. La variación de la intensidad del campo gravitatorio próximo a la superficie horizonte es tan fuerte como para ser capaz de crear pares de partículas-antipartículas de forma espontánea. La energía necesaria se obtiene de la fuente del campo gravita-

torio, y conforme esto acontece la masa decrece convirtiéndose en una función no constante. Luego si esperamos el tiempo suficiente el agujero negro desaparecerá (siempre que alguna física desconocida no pueda intervenir en los estados finales). Pero lo más explosivo: las partículas radiadas al exterior eran todas con características de la radiación térmica, con una temperatura igual al campo gravitatorio en el horizonte y una entropía dada por su área superficial. Los agujeros negros poseen una temperatura distinta de cero y obedecen a la termodinámica, pero **sólo** con la **mecánica cuántica** en su descripción.

Este encuentro, recuerdo yo en mis clases, tiene más importancia de lo que pueda parecer. Desde aquí podemos unificar la mecánica cuántica y la relatividad general en una sencilla descripción termodinámica. Así esta historia nos refuerza la esperanza en el papel de la termodinámica como una ley que gobierna la organización de los sistemas complejos.

Xermán Pita. Fisico-matemático.

nota: Para no hacer "dura" la exposición he omitido la parte de ecuaciones diferenciales que harían la conexión matemática. Pueden facilitarse a quien posea interés en ello.