

La caverna de Platón

César Gómez

Hace algunos meses, en un programa cultural, un conocido periodista preguntó a un filósofo sobre su opinión acerca de la visión holográfica de la naturaleza. Ante esta pregunta, el filósofo comenzó una breve disertación sobre el holismo presocrático, concluyendo con algunos comentarios sobre la filosofía de la ciencia de Prigogine. Aunque ciertamente sin conexión alguna con el holismo y mucho menos con las ideas del ilustre químico belga, sí es verdad que en el último año y medio la palabra de moda en física teórica es holografía, un concepto sobre el que en poco más de doce meses se han escrito alrededor de mil trabajos de investigación y que ha llegado hasta las páginas del New York Times.

En el momento actual, nuestra imagen del mundo físico está basada en dos pilares fundamentales. Por un lado, la mecánica cuántica con todas sus posibles derivaciones, desde el estudio de propiedades de la materia tan sorprendentes como la superconductividad o la superfluidez, a los modelos de unificación de las interacciones fundamentales. Por otro, la relatividad general –que extendiendo la vieja visión newtoniana– nos aporta una imagen del universo a grandes escalas, imagen que nos ha ido suministrando sorpresas como las singularidades del espacio y el tiempo –en particular la singularidad originaria o Big Bang– o los agujeros negros. Aunque desde hace ya más de cincuenta años se ha intentado encontrar un puente de unión entre ambas visiones del mundo, lo que llamaríamos una teoría de la gravedad cuántica, debemos confesar que terminamos el siglo XX sin haber encontrado este Santo Grial de la física.

Tanto la mecánica cuántica como la relatividad general son teorías que se han basado en el descubrimiento de principios nuevos de la naturaleza, a partir de los cuales la teoría se deriva casi de manera automática. En el caso de la mecánica cuántica, este principio es el conocido principio de incertidumbre de Heisenberg, mientras que en el caso de la relatividad general el principio rector es el de la equivalencia entre masa inercial y masa gravitatoria; principio del que decía el propio Einstein que había sido la idea más feliz de su vida.

A lo largo de los últimos años el esquema teórico desde el que se ha intentado dar el asalto definitivo al problema de la gravedad cuántica es lo que se conoce como la teoría de cuerdas. Esta teoría ha sido enormemente exitosa en algunos aspectos, pero en cierto sentido carece de un principio fundamental nuevo –como podría ser en el caso de la mecánica cuántica el principio de incertidumbre– a partir del cual pudieran organizarse lo que hasta ahora son tan sólo las piezas de un enorme puzzle. Lo que ha ocurrido en los últimos dos años es el descubrimiento de un nuevo principio, conocido como Principio Holográfico, que muchos sospechan podría servir para ordenar el puzzle de la teoría de cuerdas.

He decidido dedicar esta mi primera carta a Amalia al Principio Holográfico, no sólo

por su potencial interés en la solución de uno de los problemas fundamentales de la ciencia, como es la unificación entre gravedad y mecánica cuántica, sino porque constituye un magnífico ejemplo de cómo problemas aparentemente muy alejados de los intereses de la vida cotidiana o de muy dudosa aplicación práctica o tecnológica, pueden afectar nuestra comprensión de nociones que utilizamos todos los días. En el caso del Principio Holográfico lo que descubriremos es algo nuevo sobre el concepto, muy popular en nuestra sociedad, de información.

Cualquiera que haya ido alguna vez a un Museo de la Ciencia se habrá encontrado con algún ejemplo de holograma. De lo que se trata en un holograma es de registrar objetos tridimensionales, es decir con volumen, en una placa fotográfica, es decir en un plano. En un holograma se hace incidir un rayo láser sobre un objeto tridimensional cualquiera, por ejemplo una botella. El rayo láser reflejado por la botella se hace interferir con un rayo láser virginal que no haya sido perturbado. La imagen de interferencia entre ambos rayos láser se registra en una placa fotográfica. Finalmente iluminamos la placa fotográfica con otro rayo láser y la imagen tridimensional reaparecerá en la placa fotográfica. Lo que conseguimos por este procedimiento, es codificar en la placa fotográfica toda la información contenida en el objeto tridimensional, en nuestro ejemplo, la botella. El Principio Holográfico va a ser algo similar, pero en vez de la botella lo que elegiremos será el universo como un todo y lo que intentaremos será registrar todo lo que ocurre en el universo en una placa fotográfica. Una placa fotográfica que representará un espacio-tiempo de una dimensión más pequeña, a la que iluminaremos -para que nos reproduzca la naturaleza- con un tipo de rayo diferente del rayo láser que utilizamos en el holograma ordinario; un rayo de gravitones, un rayo constituido básicamente con ondas gravitacionales.

Aunque la descripción anterior suena enormemente complicada, e involucra conceptos que seguramente son extraños para el lector no científico, el fondo del asunto es más sencillo de lo que podría parecer a simple vista y puede plantearse en términos bastante asequibles. En último extremo, lo que nos estamos preguntando es cómo la naturaleza codifica la información, o si se prefiere, utilizando para ello una vieja metáfora, cómo y dónde está escrito el libro de la naturaleza.

Consideremos un lenguaje binario cuyas únicas dos letras son, por ejemplo, cero y uno. En este lenguaje un mensaje será una sucesión de ceros y unos, siendo su distribución particular la que definirá el contenido del mensaje. A cada letra la llamaremos un bit de información. Es un ejercicio sencillo de combinatoria saber cuántos mensajes distintos podemos escribir con un número dado, digamos N , de bits. Este número es simplemente 2 multiplicado por sí mismo N veces. Simplificando mucho las cosas, es este número de mensajes lo que identificaremos como la cantidad de información que podríamos codificar con el número dado de bits con el que contamos. Podemos, si lo deseamos, materializar estos bits en forma de sistemas físicos concretos con dos estados, esta es de hecho la manera en la que en la actualidad construimos los computadores.

Dicho lo anterior, nos podemos plantear el siguiente problema. Imaginemos una caja y supongamos que encerramos en su interior algún sistema físico. Ahora de lo que se trata es de describir lo que ocurre en dicho sistema físico y lo queremos hacer

utilizando para ello nuestro lenguaje binario. Una pregunta con perfecto sentido es cuántos bits de información necesitaríamos para describir todo lo que ocurre en el interior de la caja. El sentido común nos dice que cuanto más complejo sea el sistema que introducimos dentro de la caja, el número de bits que necesitaríamos sería cada vez mayor.

Para proceder a responder nuestra pregunta, vamos a llevarla a un caso límite. Vamos a introducir en nuestra caja el sistema físico más complejo imaginable en la naturaleza y vamos a intentar descubrir el número de bits de información que necesitaríamos para describirlo. Comencemos primero por visualizar cuál pueda ser el sistema físico más complejo que pudiéramos meter en la caja. Este sistema es precisamente lo que llamamos un agujero negro de exactamente el volumen de la caja. En efecto, un agujero negro, del que seguro que el lector habrá tenido noticia en múltiples artículos de divulgación, puede pensarse como el máximo empaquetamiento de materia en un volumen dado, por ejemplo en la caja.

Una vez contamos con la idea clara del sistema más complejo que podemos encerrar en la caja, podemos volver a la pregunta sobre cuántos bits de información necesitamos para describirlo completamente. La respuesta a esta pregunta se conoce desde hace ya algunos años y tiene sus bases en los trabajos de Stephen Hawking y del físico israelí Jacob Beckenstein sobre las propiedades termodinámicas de los agujeros negros. Las limitaciones de espacio y de paciencia del lector me obligan a presentar la respuesta sin más preámbulos y proseguir nuestro camino hacia la holografía a partir de ella. La respuesta es que el número de bits de información que necesitamos viene dada por el área de la superficie de la caja, pero medida en una unidad muy particular que se conoce como la longitud de Planck. Esta es la única unidad de longitud que podemos construir a partir de las tres constantes fundamentales de la naturaleza, que son: la velocidad de la luz, la constante de gravitación de Newton y la constante del cuanto de Planck. Toda la física conocida: la relatividad, la gravitación y la mecánica cuántica encerradas en una longitud básica. Esta longitud es de un tamaño muy pequeño; en centímetros sería $0,0...1$ donde los puntos suspensivos representarían 33 ceros!!

Ya podemos hacernos una idea del Principio Holográfico, que fue propuesto por primera vez hace cuatro años por el físico holandés Gerardus 'tHooft, uno de los galardonados con el Premio Nobel de este año. Dividamos mentalmente la superficie de nuestra caja en pequeñas celdillas cuadradas con lado de longitud igual a la longitud de Planck. Ahora imaginemos un bit de información en cada una de estas celdillas. Todo lo que pueda ocurrir dentro de la caja lo podremos describir con estos bits y digo todo porque el número de bits con el que contamos es suficiente para describir lo más complejo –el agujero negro– que pudiera ocurrir dentro de la caja. Ya estamos enfrente del Principio Holográfico: toda la física que pueda tener lugar en un volumen dado se puede describir en términos de distribuciones de bits de información colocados sobre la superficie que bordea dicho volumen. Esta distribución de bits define el holograma de lo que ocurra en el interior de la caja. Este resultado es enormemente sorprendente puesto que nos dice que cualquier cosa que ocurra en el interior de la caja, que podemos imaginar llena de partículas microscópicas en interacción y colisionando unas con otras de maneras muy complicadas, puede describirse con un mensaje escrito en lenguaje binario con cada bit ocupando una de las celdillas en las que hemos dividido la superficie de la caja. Dicho de otra manera, mirando la superficie de la caja podríamos

conocer todo lo que está ocurriendo dentro, aunque no pudiéramos verlo nunca. Algún lector escéptico podrá preguntarse por qué no meter más de un bit de información en cada celdilla. De hecho si lo pudiéramos hacer significaría que existe algo más complejo que un agujero negro que podemos encerrar en la caja. No es difícil demostrar, que si intentamos empaquetar más de un bit en cada una de las celdillas lo que ocurrirá es que la propia distribución de los bits de información colapsará en la forma de un agujero negro, que destruiría por completo nuestra placa fotográfica. Más de un bit de información por celdilla supondría intentar localizar demasiada energía en un espacio tan pequeño, lo que daría lugar a un colapso gravitacional que convertiría la propia celdilla en un agujero negro. De esta manera, un bit por celdilla es el límite de lo que la naturaleza puede utilizar para escribir su mensaje.

Ahora ya podemos dar un último paso y en vez de considerar una caja consideremos todo el universo, con sus estrellas, planetas y galaxias. La gravitación universal va a actuar como el rayo láser del ejemplo del holograma y lo que vamos a intentar es construir el holograma sobre una inmensa placa fotográfica, que estuviera colocada en los bordes del universo. Si lo conseguimos, habremos encontrado una descripción de la naturaleza completamente nueva, en la que la furnitura ontológica vendrá dada por los bits de información, localizados en la frontera del universo, y un campo gravitatorio -que como el rayo láser del holograma- ocupa todo el espacio-tiempo. El desafío, en el momento actual, radica en entender la naturaleza de estos bits de información -las letras en las que está escrito el libro de la naturaleza- que por el principio holográfico quedan promocionados a ser los constituyentes fundamentales.

Actualmente sabemos aún muy poco sobre el significado real del Principio Holográfico, lo que algunos científicos comienzan a hacer es preguntarse cuáles de las teorías físicas cuánticas que conocemos en la actualidad son holográficas en el sentido de admitir una descripción en términos del kit holográfico, que en nuestro caso serán los bits de información y el campo gravitatorio. El candidato más natural de teoría holográfica es la teoría de cuerdas y si promocionamos el principio holográfico a principio fundamental de la naturaleza, ésta alcanzará el status de teoría madre.

Una lección que deberíamos abstraer de la historia anterior es la de darnos cuenta que el concepto de información comienza a ser parte de la física y sus leyes parte de las leyes de la naturaleza. Un ingrediente crucial de dichas leyes es algo tan aparentemente apartado de lo que ingenuamente entenderíamos por información como son las leyes de la gravitación en su interfase con la mecánica cuántica.

Querida Amalia, es momento de concluir esta carta y quiero hacerlo con una metáfora de los clásicos, que recoge en parte el mensaje del Principio Holográfico. En el libro VII de La República, Platón nos habla de esa caverna en cuya pared se proyecta en forma de sombras, la realidad que pasa por fuera de la caverna. En su historia, Platón coloca delante de la cueva un fuego que pueda servir para crear las sombras. Siguiendo nuestra analogía, la pared de la caverna es el holograma, pero, al contrario de lo que pensara Platón, si reemplazamos el fuego por una fuente de gravitones, el holograma codificará toda la información de lo que pasa fuera de la caverna. En la pared quedará escrito el libro de la naturaleza que sólo espera a que nosotros lo descifremos.