

## Nuestro mundo podría ser un holograma gigante

*Marcus Chown*

(Reproducido de *New Scientist*, No. 2691. Traducción de Luis C.A. Gutiérrez Negrín)

---

**A**l pasar por la campiña del sur de Hannover, Alemania, es difícil notar el experimento GEO600. Desde fuera no parece gran cosa: en la esquina de un descampado se observa una gran variedad de edificios provisionales cuadrados, de los cuales salen un par de zanjas en ángulo recto entre sí, cubiertas de hierro corrugado. Sin embargo, debajo de las láminas de metal se encuentra un detector que se extiende por 600 metros.

Durante los últimos siete años, este experimento alemán ha estado buscando ondas gravitacionales, es decir ondulaciones del espacio-tiempo emitidas por objetos astronómicos súper-densos tales como estrellas de neutrones y agujeros negros. El GEO600 no ha detectado ninguna onda gravitacional hasta ahora, pero sin advertirlo podría haber hecho el descubrimiento en física más importante en el último medio siglo.

Durante meses, los investigadores del GEO600 se habían preguntado qué podría ser un ruido inexplicable que plagaba su detector gigante. De pronto, un investigador les propuso una explicación. De hecho, este investigador había predicho el ruido antes de saber que se estaba detectando. Según Craig Hogan, físico del Laboratorio de Física de Partículas del Fermilab en Batavia, Illinois, el GEO600 ha tropezado con el límite fundamental del espacio-tiempo, esto es, el punto donde el espacio-tiempo deja de comportarse como el suave continuum descrito por Einstein y se disuelve en “granos”, más o menos como una foto del periódico se disuelve en puntos al agrandarla cada vez más. “Al parecer el detector GEO600 está siendo sacudido por las convulsiones cuánticas microscópicas del espacio-tiempo”, dice Hogan.

Si esto no lo impresiona mucho, Hogan, que acaba de ser nombrado director del Centro de Astrofísica de Partículas del Fermilab, tiene todavía más: “Si el resultado del GEO600 es lo que sospecho que es, todos estamos viviendo en un holograma cósmico gigante.”

La idea de que vivimos en un holograma probablemente suena absurda, pero es una extensión natural de nuestra mejor explicación de lo que son los agujeros negros, y tiene una base teórica muy firme. También ha sido sorprendentemente útil para los físicos enredados con las teorías sobre cómo funciona el universo en su nivel más fundamental.

Los hologramas que se encuentran en tarjetas de crédito y billetes se graban en películas de plástico bidimensionales. Cuando la luz rebota en ellos, recrean la aparición de una imagen tridimensional. En la década de 1990, los físicos Leonard Susskind y el premio nobel Gerard ‘t Hooft sugirieron que el mismo principio podría aplicarse al universo como un todo. Nuestra experiencia cotidiana puede ser una proyección holográfica de procesos físicos que tienen lugar en una superficie bidimensional distante.

El “principio holográfico” desafía nuestros sentidos. Es difícil creer que uno se despierta, se cepilla los dientes y lee este artículo debido a que algo está pasando en el límite del universo. Nadie sabe qué significaría para nosotros vivir realmente en un holograma, pero los teóricos tienen buenas razones para creer que muchos aspectos del principio holográfico son ciertos.

La extraordinaria idea de Susskind y ‘t Hooft fue motivada por el trabajo pionero sobre agujeros negros de Jacob Bekenstein de la Universidad Hebrea de Jerusalén, en Israel, y de Stephen Hawking de la Universidad de Cambridge. A mediados de la década de 1970, Hawking demostró que los agujeros negros no son, de

hecho, del todo “negros” sino que emiten radiación lentamente, lo que los lleva a evaporarse y eventualmente a desaparecer. Esto plantea un enigma, ya que la radiación de Hawking no transmite ninguna información sobre el interior de los agujeros negros. Cuando el agujero negro se ha ido, toda la información sobre la estrella que se colapsó para formarlo ha desaparecido, lo que contradice el principio ampliamente aceptado de que la información no puede ser destruida. Esto es lo que se conoce como la paradoja de la información del agujero negro.

El trabajo de Bekenstein proporcionó una clave importante para resolver esa paradoja. Él descubrió que la entropía de un agujero negro, la cual es un sinónimo de su contenido de información, es proporcional al área de su evento-horizonte. El evento-horizonte es la superficie teórica que cubre un agujero negro y marca el punto de no retorno para la materia o la luz que cae en él. Desde entonces, los teóricos han demostrado que ondas cuánticas microscópicas en el evento-horizonte pueden codificar la información del interior del agujero negro, con lo que no hay ninguna pérdida misteriosa de información conforme el agujero negro se evapora.

Crucialmente, esto conlleva una consideración física de fondo: la información tridimensional sobre la estrella precursora puede ser completamente codificada en el horizonte bidimensional del agujero negro subsecuente, es decir, algo no muy diferente de la imagen tridimensional de un objeto codificada en un holograma bidimensional. Susskind y 't Hooft ampliaron la visión del universo en su conjunto, sobre la base de que el cosmos también tiene un horizonte, que es el límite más allá del cual la luz no ha tenido tiempo de llegar hasta nosotros en los 13,700 millones de años desde la formación del universo. Adicionalmente, el trabajo de varios investigadores de la teoría de cuerdas, sobre todo Juan Maldacena del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, ha confirmado que la idea va en el camino correcto. Él demostró que la física dentro de un universo hipotético de cinco dimensiones y en forma de ‘Pringle’ (papa frita) es la misma que la física que ocurre en un universo limitado por cuatro dimensiones.

Según Hogan, el principio holográfico cambia radicalmente nuestra visión del espacio-tiempo. Por mucho tiempo, los físicos teóricos han creído que los efectos cuánticos hacen que el espacio-tiempo se convulsione violentamente a la escala más diminuta. A esta escala, el tejido espacio-temporal se vuelve granular y compuesto en última instancia por unidades más pequeñas, como el píxel, pero  $10^{22}$  veces más pequeñas que un protón. Esta distancia es conocida como la longitud de Planck, de apenas  $10^{-35}$  metros. La longitud de Planck está mucho más allá del alcance de cualquier experimento concebible, por lo que nadie se atrevía a soñar que pudiera discernirse la granulometría del espacio-tiempo.

Es decir, no hasta que Hogan se dio cuenta de que el principio holográfico cambia todo. Si el espacio-tiempo es un holograma compuesto por granos, entonces se puede considerar al universo como una esfera cuya superficie exterior está tapizada de diminutos cuadrados del tamaño de la longitud de Planck, cada uno con un bit de información. El principio holográfico afirma que la cantidad de información que tapiza el exterior debe coincidir con el número de bits contenidos dentro del volumen del universo.

Dado que el volumen del universo esférico es mucho mayor que su superficie externa, ¿cómo podría ser cierto eso? Hogan dedujo que para tener el mismo número de bits dentro del universo que en su periferia, el mundo interior debería estar compuesto por granos mayores que la longitud de Planck. “O, para decirlo de otra manera, el universo holográfico es borroso”, dice Hogan.

Esta es una buena noticia para quien trate de probar la unidad más pequeña de espacio-tiempo. “Contrariamente a lo que se pensaba, esto implica que la estructura cuántica microscópica estaría al alcance de los experimentos actuales”, dice Hogan. Así, mientras que la longitud de Planck es demasiado pequeña para ser detectada experimentalmente, la proyección holográfica de sus gránulos puede ser mucho más grande, de unos  $10^{-16}$  metros. “Uno podría decir si vive dentro de un holograma, midiendo la borrosidad”, comenta.

Cuando Hogan comprendió esto por primera vez, se preguntó si algún experimento podría ser capaz de detectar la borrosidad holográfica del espacio-tiempo. Ahí es donde entra en juego el arreglo GEO600.

Los detectores de ondas gravitacionales como el GEO600 son esencialmente reglas fantásticamente sensibles. La idea es que si una onda gravitacional pasa a través del GEO600, el espacio se extenderá en una dirección y se contraerá alternativamente en la otra. Para medir eso, el equipo del GEO600 dispara un láser único a través de un espejo semi-plateado llamado divisor de haz. Esto divide la luz en dos haces, que pasan por las ramas perpendiculares de 600 metros del instrumento y regresan. Al regresar, los haces de luz se fusionan en el divisor de haz y crean un patrón de interferencia de regiones claras y oscuras, donde las ondas de luz o se anulan o se refuerzan mutuamente. Cualquier cambio en la posición de estas regiones indica que la longitud relativa de las ramas ha cambiado.

“El elemento clave es que estos experimentos son sensibles a cambios más pequeños que el diámetro de un protón en la longitud de las reglas”, explica Hogan.

Por lo tanto, ¿serían capaces de detectar la proyección holográfica de un espacio-tiempo granulado? De los cinco detectores de ondas gravitacionales en el mundo, Hogan concluyó que el experimento anglo-alemán GEO600 debería ser el más sensible a lo que él tenía en mente. Predijo que si el divisor de haz del experimento era sacudido por las convulsiones cuánticas del espacio-tiempo, esto tendría que reflejarse en sus mediciones (*Physical Review D*, vol. 77, p. 104031). “Esta fluctuación aleatoria provocaría ruido en la señal de luz del láser”, afirma Hogan.

En junio de 2008 Hogan envió su predicción al equipo del GEO600. “Increíblemente, descubrí que el experimento estaba registrando ruido inesperado”, menciona Hogan. El principal investigador del GEO600, Karsten Danzmann del Instituto Max Planck de Física Gravitacional en Potsdam, Alemania, y también de la Universidad de Hannover, admite que el exceso de ruido, con frecuencias de entre 300 y 1500 Hertz, había estado molestando al grupo durante mucho tiempo. Él le respondió a Hogan y le envió una muestra del ruido. “Lucía exactamente como lo que yo había predicho”, dice Hogan. “Era como si el divisor de haz tuviera una fluctuación lateral extra”.

Nadie, incluyendo a Hogan, afirma todavía que el GEO600 haya encontrado pruebas de que vivimos en un universo holográfico. Es demasiado pronto para decirlo. “Todavía podría haber una fuente mundana para ese ruido,” admite Hogan.

Los detectores de ondas gravitacionales son extremadamente sensibles, de modo que quienes los operan tienen que trabajar más duro que otros para descartar el ruido. Tienen que tomar en cuenta las nubes pasajeras, el tráfico lejano, el ruido sísmico y muchas otras fuentes que podrían enmascarar una señal real. “El trabajo cotidiano de mejorar la sensibilidad de estos experimentos siempre produce un poco de exceso de ruido”, dice Danzmann. “Trabajamos para identificar su causa, deshacerse de él y evaluar la siguiente fuente de exceso de ruido”. Actualmente no hay fuentes claras para explicar el ruido que el GEO600 está registrando. “En este sentido, yo consideraría la situación actual como desagradable, pero no como realmente preocupante”.

Durante un tiempo, el equipo de GEO600 pensó que el ruido que le interesaba a Hogan era causado por fluctuaciones de temperatura a lo largo del divisor de haz. Sin embargo, el equipo concluyó que esto podría explicar cuando mucho sólo una tercera parte del ruido.

Danzmann dice que varias mejoras planeadas deberán aumentar la sensibilidad del GEO600 y eliminar algunas posibles fuentes experimentales de exceso de ruido. “Si el ruido sigue como hasta ahora después de esas mejoras, lo tendremos que considerar de nuevo”, explica.

Si el GEO600 realmente ha descubierto ruido holográfico producido por convulsiones cuánticas del espacio-tiempo, representaría un arma de doble filo para los investigadores de ondas gravitacionales. Por un lado, ese ruido disminuiría la posibilidad de detectar ondas gravitacionales. Por otro, podría representar un descubrimiento aún más fundamental.

No sería la primera vez que pasa esto en física. Detectores gigantes construidos para buscar una forma hipotética de radiactividad en la que decaen los protones nunca pudieron encontrarla. En cambio, descubrieron que los neutrinos pueden cambiar de un tipo a otro, lo cual quizá es más importante ya que podría indicarnos cómo el universo quedó lleno de materia y no de antimateria (*New Scientist*, 12 de abril de 2008, p. 26).

Sería irónico que un instrumento diseñado para detectar algo tan vasto como fuentes astrofísicas de ondas gravitacionales haya detectado de manera inadvertida la minúscula granularidad del espacio-tiempo. “Hablando como un físico fundamental, veo el descubrimiento de ruido holográfico como algo mucho más interesante”, dice Hogan.

### **Un pequeño precio a pagar**

A pesar de que si Hogan está en lo cierto, y el ruido holográfico impide que el GEO600 pueda detectar ondas gravitacionales, Danzmann es optimista. “Incluso si esto limita la sensibilidad del GEO600 en un cierto rango de frecuencias, sería un precio que yo estaría dispuesto a pagar a cambio de la primera detección de la granularidad del espacio-tiempo”, dice. “Estaría encantado de hacerlo. Sería uno de los descubrimientos más notables en mucho tiempo.”

Sin embargo, Danzmann es cauteloso sobre la explicación de Hogan y cree que hay que hacer más trabajo teórico. “Es intrigante”, dice. “Pero todavía no es realmente una teoría sino sólo una idea”. Como muchos otros, Danzmann coincide en que es demasiado pronto para hacer cualquier declaración definitiva. “Vamos a esperar y ver”, dice. “Creemos que falta al menos un año para emocionarnos.”

Sin embargo, mientras más dure el enigma más fuerte se volverá el estímulo para construir un instrumento dedicado a investigar el ruido holográfico. John Cramer de la Universidad de Washington en Seattle, está de acuerdo. Fue “un accidente afortunado” que las predicciones de Hogan se pudieran asociar con el experimento GEO600, dice. “Pero es claro que podrían diseñarse experimentos mucho mejores si estos se centraran específicamente en la medición y caracterización del ruido holográfico y sus fenómenos conexos”.

Una posibilidad, según Hogan, sería utilizar un dispositivo llamado interferómetro atómico. Este funciona bajo el mismo principio que los detectores a base de láser, pero utiliza haces de átomos ultra-enfriados en lugar de luz láser. Puesto a que los átomos se pueden comportar como ondas con una longitud de onda mucho menor que la luz, los interferómetros atómicos son significativamente más pequeños y por lo tanto más baratos de construir que sus contrapartes para detectar ondas gravitacionales.

Entonces, ¿qué podría significar que en efecto se detectara ruido holográfico? Cramer lo compara con el descubrimiento de ruido inesperado en una antena en los Laboratorios Bell en Nueva Jersey en 1964. Ese ruido resultó ser el ruido micro-ondulatorio de fondo cósmico, remanente de la explosión inicial del Big Bang. “Esto no sólo le trajo un premio nobel a Arno Penzias y Robert Wilson, sino que confirmó el Big Bang y abrió todo un campo en la cosmología”, comenta Cramer.

Hogan es más específico. “Olvídense de *Quantum of Solace* (la más reciente película del agente 007): habríamos observado un cuanto de tiempo”, dice Hogan. “Este es el mínimo intervalo posible de tiempo: la longitud de Planck dividida por la velocidad de la luz.”

Y lo que es más importante, la confirmación del principio holográfico constituiría una gran ayuda para los investigadores que tratan de unir la mecánica cuántica y la teoría gravitatoria de Einstein. Hoy en día el método más popular de tratar la gravedad cuántica es la teoría de cuerdas, que los investigadores esperan podría describir lo que sucede en el universo en su nivel más fundamental. Pero no sólo eso. “El espacio-tiempo holográfico se utiliza en ciertos enfoques para dividir la gravedad en cuantos, y estos enfoques tienen una fuerte conexión con la teoría de cuerdas”, dice Cramer. “En consecuencia, algunas teorías sobre la gravedad cuántica podrían ser descartadas y otras reforzadas”.

Hogan coincide en que si el principio holográfico se confirma, descartaría todos los enfoques de la gravedad cuántica que no lo incorporan. Por el contrario, sería un estímulo para los que sí lo hacen, incluyendo algunos derivados de la teoría de cuerdas y algo llamado la teoría de la matriz. “En última instancia, podríamos tener nuestra primera indicación de cómo emerge el espacio-tiempo de la teoría cuántica.” Como todos los descubrimientos fortuitos, es difícil conseguir algo más innovador que eso.