



Abril 2015

## EL PROBLEMA DEL HORIZONTE

En «Agujeros negros y muros de fuego» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2015], Joseph Polchinski explica las razones que le llevaron a concluir que los agujeros negros deberían estar rodeados por una barrera de alta energía, o «muro de fuego», en lugar de por un horizonte de sucesos. Dichas razones aparecen al considerar las propiedades del entrelazamiento cuántico entre las partículas de Hawking antiguas («C») y recientes («A» y «B») emitidas por un agujero negro (A es absorbida de inmediato por el objeto).

Si los muros de fuego existen, la solución clásica asociada a un agujero negro no puede ser válida, ya que esta predice un horizonte suave, no un muro de fuego. Sin embargo, la demostración de Hawking de que un agujero negro radia

partículas nace justamente al considerar las propiedades de los campos cuánticos en las inmediaciones de un horizonte de sucesos suave. Si dicha geometría no es real, ¿puede demostrarse la existencia de la radiación de Hawking? Si este fenómeno no puede probarse, ¿qué argumento conduciría a la existencia de muros de fuego?

Por otro lado, para evitar la «poligamia» del entrelazamiento entre A, B y C, ¿no podría ocurrir que los efectos gravitatorios modificasen la estructura del vacío cuántico de tal modo que las partículas A y B se creasen en un estado no entrelazado?

Por último, ¿tienen estos muros de fuego algo que ver con la «atmósfera térmica» de los agujeros negros considerada por Adam Brown en su artículo «Minería de agujeros negros» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, abril de 2015]?

PAULA F. ARROYO  
Barcelona

RESPONDE POLCHINSKI: *Todas ellas son preguntas excelentes.*

*Hay dos razones por las que la existencia de muros de fuego no cambia la predicción de Hawking. La primera surge al suponer que los muros de fuego solo afectan a lo que ocurre detrás del horizonte, que es lo mínimo que requiere la paradoja. Es cierto que el cálculo original de Hawking suponía la existencia de un horizonte de sucesos suave. Pero, si solo modificamos lo que sucede detrás del horizonte, la radiación exterior no podrá verse afectada, ya que nada de lo que ocurre en el interior de un agujero negro puede influir en lo que hay fuera. El cálculo se torna más complejo, pero el resultado debería ser el mismo.*

*Nuestros colegas no encontraron este argumento completamente satisfactorio. Sin embargo, hay una razón más convincente aún. Como explicaba en el artículo, los trabajos de Juan Maldacena, Andrew Strominger y Cumrun Vafa nos han permitido entender la entropía de los agujeros negros en términos de su estructura microscópica. Según las leyes de la termodinámica, toda entropía implica una temperatura, y un cuerpo a temperatura finita debe radiar. En mi opinión, este segundo argumento es muy robusto.*

*Alterar las propiedades del vacío cuántico exigiría introducir algún efecto tan devastador como los muros de fuego. Tal vez el artículo tendría que haber hecho más hincapié en este aspecto: los muros de fuego son el resultado de seguir nuestro entendimiento del problema hasta su última conclusión. Pero, si algo realmente drástico sucediese en el horizonte —como una modificación de las reglas de la mecánica cuántica—, entonces puede que no fuese necesario postular muros de fuego.*

*En cuanto a la relación de los muros de fuego con el trabajo de Brown, nuestro artículo original empleaba algunas ideas relacionadas con dicho proceso de «minería». En él describíamos dos experimentos mentales: uno en el que la radiación de Hawking pasada (C) escapaba del agujero negro de la forma usual, y otro en el que una parte de ella era extraída mediante minería. La segunda versión es algo más complicada, pero permite argumentar a favor de un muro de fuego incluso más drástico. (En el cálculo habitual, algunas de las partículas que en principio escaparían en forma de radiación de Hawking acaban cayendo en el agujero negro; el proceso de minería permite rescatarlas antes de que sean absorbidas.)*

## Errata corrige

En el artículo **La riqueza idiomática de los Andes** [por Paul Heggarty; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2015] concurren varias imprecisiones. En la página 40 se afirma erróneamente que la llegada del aimara a la zona del lago Titicaca se produjo hace 700 años; la datación correcta es unos 600 años. En la página 39, «cordillera central peruana» debería sustituirse por «sierra central peruana». En la página 41, la denominación «reino aimara» debería reemplazarse por «señorío aimara». Por último, en la tabla de la página 39, las transcripciones correctas de las voces *dos* en la lengua hablada en Tiahuanaco y *cinco* en quechua deberían ser, respectivamente, *paja* y *pichqa*.

En **Un punto débil de la resistencia bacteriana** [por Carl Zimmer; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2015], en el segundo párrafo de la segunda columna de la página 32, las dos menciones a la «membrana» celular deben sustituirse por «pared».

*Estos errores han sido corregidos en la edición digital de los artículos correspondientes.*

## CARTAS DE LOS LECTORES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA agradece la opinión de los lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S.A.  
Muntaner 339, pral. 1.º, 08021 BARCELONA  
o a la dirección de correo electrónico:  
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.