



Febrero 2020

## AGUJEROS NEGROS, LOCALIDAD Y ENTRELAZAMIENTO

En «Cómo fugarse de un agujero negro» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2020], Steven B. Giddings dibuja una visión actualizada de las distintas soluciones que se han propuesto en los últimos años para resolver el problema de la información en los agujeros negros: la aparente paradoja que surge al combinar las leyes cuánticas y la relatividad general, y que sugiere que los agujeros negros destruirían la información, a pesar de que la mecánica cuántica impone que la información no puede perderse nunca.

No obstante, hay algo en el artículo que me ha resultado confuso. Giddings explica que las tres propuestas principales para resolver la paradoja de la información tienen en común el mismo problema: todas violan de una forma u otra el principio de localidad, la condición de que ningún efecto físico puede propagarse por el espacio a una velocidad mayor que la de la luz.

Sin embargo, he leído varias veces en otros sitios que la violación del principio de localidad ha sido ya firmemente establecida tanto por los experimentos como

«¿De qué manera un cambio en la densidad del agua marina dificulta el transporte de nutrientes?»

—Miguel Ramos Navarro, Córdoba

por las consideraciones teóricas relativas al entrelazamiento cuántico. Si esto es así, ¿por qué se considera tan problemática la violación del principio de localidad en el caso de los agujeros negros? ¿Y por qué Giddings no menciona en su artículo que los efectos no locales han sido confirmados en los estudios sobre el entrelazamiento?

BRUCE ECKER  
Nueva York

RESPONDE GIDDINGS: *La pregunta del lector refleja un malentendido muy extendido sobre el significado del principio de localidad en física. Es cierto que la mecánica cuántica exhibe algunos efectos —en particular, el entrelazamiento cuántico— que parecen implicar un tipo de comportamiento no local. Y es conocido que este fenómeno inquietó sobremanera a Albert Einstein, quien describió sus consecuencias con la célebre expresión «fantasmal acción a distancia».*

*Sin embargo, la teoría cuántica de campos reconcilia a la perfección el principio de localidad con la mecánica cuántica. Aunque por supuesto esta teoría también permite el entrelazamiento, lo que quiere decir aquí el principio de localidad es que resulta imposible enviar ningún tipo de señal (es decir, transmitir información) a una velocidad mayor que la de la luz. Y por sí solo, el entrelazamiento cuántico no permite en absoluto esta clase de señalización.*

*Es esta propiedad local de las teorías cuánticas de campos la que entra en conflicto directo con la afirmación de que, aparentemente, la información ha de escapar de un agujero negro y de que eso nos obliga a considerar modificaciones de la teoría.*

## MAR CALIENTE

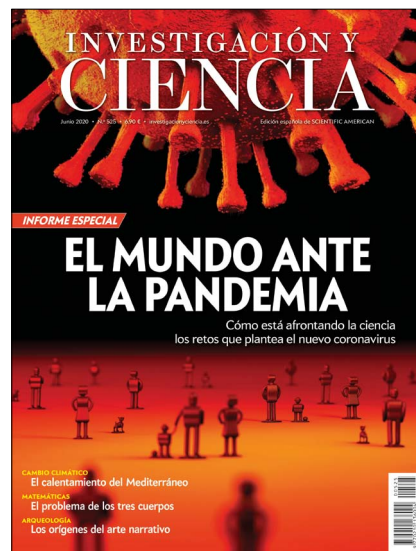
En «El trópico llega al Mediterráneo» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, junio de 2020], Roberto Danovaro explica que «el calentamiento de las aguas superficiales está creando una “barrera física” (de densidad) entre las aguas superficiales, más cálidas, y las aguas profundas, más frías, que reduce la cantidad de lluvia [de materia orgánica] que cae hasta el fondo marino».

¿A qué se refiere con «barrera de densidad»? ¿De qué manera un cambio de densidad dificulta el transporte de nutrientes? ¿Qué procesos físicos o químicos intervienen?

MIGUEL RAMOS NAVARRO  
Córdoba

RESPONDE DANOVARO: *La temperatura modifica la densidad de todos los líquidos, incluida el agua. En concreto, la densidad disminuye cuando la temperatura aumenta. La luz solar calienta primero las aguas superficiales, las cuales se vuelven menos densas («más ligeras») que el agua situada más abajo. Esa diferencia de densidad es imperceptible para nosotros, pero para una partícula muy pequeña (del tamaño de micrómetros, más fina que el polvo) y con una densidad muy similar a la del agua marina, ese aumento de densidad hace más difícil que la partícula se hunda, por lo que actúa como una barrera.*

*Al mismo tiempo, si una partícula de materia orgánica permanece durante más tiempo en las aguas superficiales, más cálidas, se hidrolizará con rapidez (degradada por las bacterias) y perderá la mayor parte de su capacidad nutricional.*



Junio 2020

### 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.