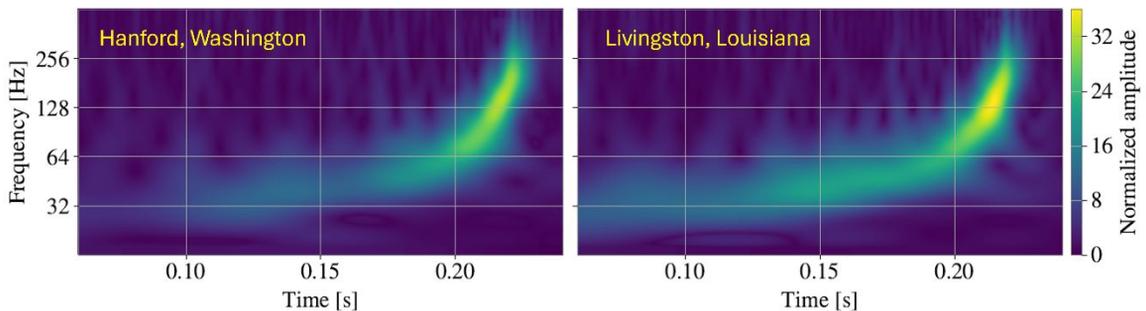


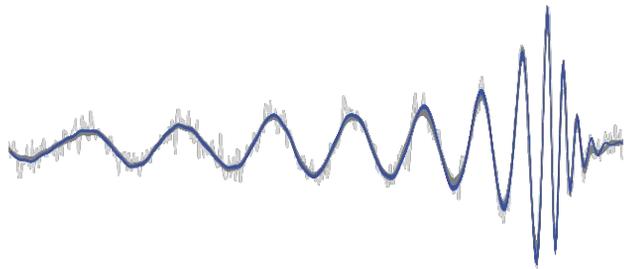
# GW250114: CARILLÓN CÓSMICO DEL CAOS

En el décimo aniversario de la detección de las ondas gravitacionales, las [colaboraciones LIGO, Virgo y KAGRA \(LVK\)](#) informan de una nueva señal procedente de la fusión de agujeros negros: GW250114. Los agujeros negros eran sorprendentemente similares (en cuanto a su masa y distancia) a los observados en la primera detección de LIGO, en 2015: [GW150914](#). Sin embargo, tras 10 años de mejoras tanto en la red global de detectores de ondas gravitacionales como en los métodos utilizados para analizar sus datos, los investigadores de LVK pudieron «oír» GW250114 tres veces más claramente que aquella primera detección pionera. Con esta observación sin precedentes, los investigadores de LVK han confirmado que los agujeros negros solo crecen en tamaño y que, cuando se perturban, resuenan como una campana con el «sonido» predicho por Einstein.



**Figura 1:** (Adaptada de la figura 1 de nuestra [publicación](#)). El evento de ondas gravitacionales GW250114 observado por los detectores LIGO Hanford (panel izquierdo) y LIGO Livingston (panel derecho). Los dos gráficos muestran cómo varió la deformación de la onda gravitacional producida por el evento en cada detector LIGO en función del tiempo (en segundos) y la frecuencia (en hercios, o número de ciclos de onda por segundo). Ambos gráficos muestran que la frecuencia de GW250114 incrementó bruscamente, en un patrón similar a un silbido, de aproximadamente 30 Hz a 250 Hz en dos décimas de segundo.

Hace más de 50 años, Stephen Hawking y Jacob Bekenstein conjeturaron que el [área del horizonte de sucesos de un agujero negro](#) codifica su [entropía](#). La entropía es una medida del desorden, o caos<sup>1</sup>, de un sistema que solo puede aumentar con el tiempo, como se sabe desde la época de las máquinas de vapor. Si su conjetura es cierta, esto significa que las áreas de los agujeros negros solo pueden crecer. Esto fascinó a los físicos porque, según la teoría de la gravedad de Einstein, la [Relatividad General](#), los agujeros negros deberían ser objetos extremadamente simples que solo se describen con dos números<sup>2</sup>: su masa y su [espín](#). Sin embargo, los hallazgos de Hawking y Bekenstein sugieren que los agujeros negros son a la vez simples y codifican enormes cantidades de caos. Esta dualidad subyace a una profunda conexión entre el espacio-tiempo y la mecánica cuántica.



**Figura 2:** Esquema que ilustra la excelente concordancia entre los datos (mostrados en gris claro) observados por el detector LIGO Livingston en el momento de la detección GW250114 y nuestro mejor modelo para las ondas gravitacionales producidas por la colisión de los dos agujeros negros (mostrados en azul oscuro). También se incluye la banda gris oscuro que muestra una reconstrucción de la forma de onda sin suponer que la señal fue producida por dos agujeros negros. El hecho de que la banda gris oscuro sea coherente con la banda azul oscuro indica que nuestro modelo describe con precisión la señal.

## PARA MÁS INFORMACIÓN:

Visita nuestras [www.ligo.org](http://www.ligo.org)  
páginas web: [www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)  
[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)

1. En sentido estricto, en matemáticas el caos se refiere a otro concepto distinto de la noción de desorden, pero los términos se utilizan a menudo de forma intercambiable en descripciones informales; véase, por ejemplo, [aqui](#).

2. Técnicamente, los agujeros negros también pueden tener una carga eléctrica neta, pero se espera que los agujeros negros formados a partir de estrellas tengan una carga eléctrica neta insignificante.



GW250114 pone a prueba estas dos características únicas de los agujeros negros: que son objetos simples y que su entropía siempre aumenta. Además, la claridad y la intensidad de la señal de GW250114 permiten la caracterización más precisa hasta la fecha del «repique» de los agujeros negros.

Cuando un agujero negro en rotación es perturbado, como ocurre cuando nace durante la fusión de dos agujeros negros progenitores, vibra como una campana o un tambor, emitiendo un «sonido» gravitacional único que se desvanece rápidamente. Se plantea la hipótesis de que su sonido se comporta como el de la idealización matemática predicha por primera vez por Roy Kerr, que es un [agujero negro que gira](#), conocido como agujero negro de Kerr. Para comprobar esta hipótesis, los investigadores de LVK utilizaron la señal GW250114 para aislar cuidadosamente el «sonido» del agujero negro resultante de la colisión (es decir, su emisión de ondas gravitacionales) y pudieron determinar que coincidía con los «sonidos» de un agujero negro de Kerr.

Para comprender el sonido de un agujero negro, imaginemos instrumentos musicales. Cada instrumento tiene un sonido único que viene determinado por su forma y las propiedades de sus materiales: una campana suena de forma diferente a un tambor o una guitarra. Pero el sonido también depende de cómo se perturba el instrumento: golpear un tambor con una baqueta produce un sonido diferente al de golpearlo con una escobilla. Los agujeros negros de Kerr solo pueden emitir sonidos de determinadas frecuencias y duraciones, que vienen determinadas de forma única por su masa y momento angular. Una perturbación hace que se emitan algunos de esos sonidos, pero no todos. Si se mide más de uno, se pueden comparar entre sí: ¿corresponden al mismo agujero negro de Kerr? Los investigadores del LVK pudieron determinar con gran certeza, por primera vez, que al menos dos de los sonidos previstos del agujero negro fueron emitidos por el agujero negro final y que sus frecuencias y tiempos de decaimiento coincidían con las expectativas para un agujero negro de Kerr. El remanente de GW250114 es, efectivamente, un agujero negro descrito únicamente por su masa y su espín.

Al mismo tiempo, los investigadores del LVK confirmaron que el área de ese agujero negro remanente es mayor que la suma de las áreas de los dos agujeros negros iniciales (véase la **Figura 3**). El sonido del agujero negro final contiene toda la información necesaria para medir su área. Los agujeros negros iniciales, aunque no emiten sonido, también emiten su propia señal gravitacional. A medida que orbitan uno alrededor del otro pierden energía en forma de ondas gravitacionales y «caen» uno hacia el otro. Los investigadores de LVK utilizaron la señal GW250114 previa a la colisión de los agujeros negros iniciales para medir sus áreas. Estas mediciones completamente independientes confirmaron que la fusión GW250114 había aumentado efectivamente la entropía del Universo.

La detección de GW250114 fue posible gracias al trabajo de décadas de miles de científicos/as para mejorar los detectores de ondas gravitacionales, comprender cómo deberían resonar los agujeros negros e idear formas ingeniosas de «escuchar» ese sonido a partir de los datos. En su décimo aniversario, la ciencia de las ondas gravitacionales está en pleno auge y sigue ofreciendo una forma completamente nueva de explorar nuestro universo, con muchas más sorpresas por venir.

## PARA MÁS INFORMACIÓN:

Visita nuestras páginas web:

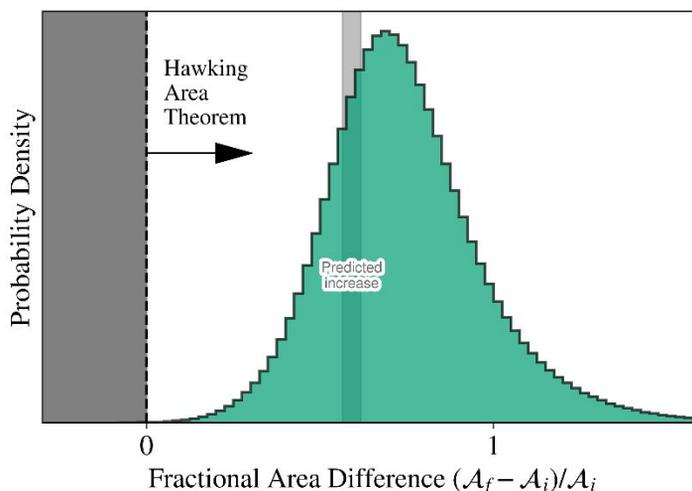
[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)

Lee una versión preliminar gratuita del artículo científico completo [aquí](#) o en [arxiv](#).

Los datos del GWOSC para GWTC-4.0 están disponibles [aquí](#).



**Figura 3:** (Adaptada de la Figura 5 de nuestra [publicación](#)) Distribución de probabilidad para la diferencia de área fraccional de GW250114, igual al área  $A_f$  del agujero negro final menos la suma de las áreas de los agujeros negros iniciales  $A_i$ , dividida por  $A_i$  como normalización. Por lo tanto, según el teorema del área de Hawking, la diferencia fraccional de área debería situarse a la derecha de la región sombreada en gris oscuro, es decir, a la derecha de la línea vertical discontinua que corresponde a una diferencia fraccional de área igual a cero, cuando  $A_f = A_i$ . Podemos observar que la distribución de probabilidad desfavorece claramente los valores de la diferencia fraccional de área que son inferiores a cero, lo que concuerda con el teorema del área de Hawking. El pico de la distribución de probabilidad también concuerda con la banda vertical gris clara, etiquetada como «Aumento previsto», que indica la diferencia fraccional de área prevista por la relatividad general, correspondiente a un aumento del área de aproximadamente el 65 %.