

BÚSQUEDA DE TRANSITORIOS DE ONDAS GRAVITACIONALES DE LARGA DURACIÓN DURANTE LOS PRIMEROS OCHO MESES DEL CUARTO PERIODO DE OBSERVACIÓN DE LIGO-VIRGO-KAGRA

Hasta ahora, todas las señales de ondas gravitacionales (OGs) detectadas por LIGO-Virgo-KAGRA provienen de [coalescencias de binarias compactas](#), donde pares de estrellas de neutrones o agujeros negros se fusionan tras una larga danza cósmica. Uno de los grandes éxitos de la teoría de la [relatividad general](#) de Einstein es la predicción precisa las señales de OGs emitidas en estos eventos cataclísmicos. Sin embargo, existen casi con toda certeza otras fuentes de OGs, menos comprendidas y aún no detectadas. Algunas de las fuentes más prometedoras emiten lo que se conoce como “[estallidos](#)”: [transitorios gravitacionales](#) cuya forma no se conoce previamente.

Este artículo científico presenta una búsqueda de este tipo de señales utilizando los datos de la primera parte del último [periodo de observación](#) de la colaboración LVK, denominado O4a, que tuvo lugar entre mayo de 2023 y enero de 2024. Concretamente, es una búsqueda de transitorios gravitacionales de larga duración, que se extienden aproximadamente entre 1 y 1000 segundos. Aunque no sabemos con exactitud qué origina estas señales, algunas teorías predicen que podrían ser emitidas por deformaciones no esféricas en estrellas de neutrones recién formadas, discos de acreción inestables o irregulares alrededor de agujeros negros, o sistemas binarios de estrellas de neutrones o agujeros negros en órbitas muy excéntricas (es decir, no circulares). En particular, este tipo de estallidos podría ofrecernos pistas sobre lo que ocurre [después de una fusión de estrellas de neutrones](#) como la espectacular [GW170817](#): si el objeto resultante es una estrella de neutrones muy masiva o un agujero negro.

PARA SABER MÁS:

Visita www.ligo.org
nuestros www.virgo-gw.eu
sitios gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/
web:



Figura 1: Ilustración artística de una estrella de neutrones hipermasiva formada tras la fusión de dos estrellas de neutrones. Estos objetos exóticos podrían generar estallidos de ondas gravitacionales de larga duración. Crédito: ESO/L. Calçada/M. Kornmesser

Dicha búsqueda se llevó a cabo utilizando dos algoritmos independientes, analizando unos 120 días de datos durante los cuales los detectores de LIGO en Livingston y Hanford estuvieron operando simultáneamente con datos de alta calidad científica. Esta coincidencia es esencial para distinguir señales astrofísicas, que deberían aparecer en ambos detectores, del ruido, que podría manifestarse solo en uno de ellos. Uno de los algoritmos utilizados, *coherent WaveBurst* (cWB), ha sido mejorado para ser más sensible a este tipo particular de señales en comparación con [la búsqueda realizada durante el ciclo de observación anterior \(O3\)](#). Esta mejora incluye el uso de XGBoost, un algoritmo de aprendizaje automático (*machine learning*) basado en árboles de decisión potenciados por gradiente, que actúa como un clasificador para distinguir entre ruido y señal, aumentando así la sensibilidad de la búsqueda.

Esta es la primera vez que se utiliza el aprendizaje automático en una búsqueda de la LVK. El otro algoritmo, PySTAMPAS, está realizando por primera vez una búsqueda en todo el cielo.

Después de eliminar los candidatos correspondientes a fusiones conocidas de agujeros negros, no se encontraron nuevos eventos astrofísicos. Las señales más significativas detectadas por cWB y PySTAMPAS tuvieron [tasas de falsa alarma](#) de 1 cada 8 meses y 1 cada 6 meses, respectivamente, lo que indica que ambas son consistentes con ruido.

A pesar de esta ausencia de detecciones, esta búsqueda sigue aportando información valiosa desde el punto de vista astrofísico. A partir de señales simuladas que representan distintos tipos de fuentes, podemos cuantificar la sensibilidad de cada búsqueda y aprender sobre la frecuencia con la que cada clase de fuente podría ocurrir en el Universo. De hecho, el no detectar nada sugiere que estos estallidos de larga duración podrían ser más escasos o más débiles de lo que ciertos modelos predicen, lo que nos permite establecer un “[límite superior](#)”. La Figura 2 muestra estos límites superiores en la amplitud de la OG en negro, comparados con los mejores resultados previos del periodo O3 en gris. Para la mayoría de los tipos de señal, estos límites son entre 1.2 y 2 veces más estrictos, gracias a la mejor sensibilidad de los detectores y a algoritmos de búsqueda más avanzados. Las futuras búsquedas en [los datos restantes de O4 \(que está previsto que continúe hasta finales de 2025\)](#) contarán con una sensibilidad aún mayor, permitiendo establecer límites más precisos y dando un paso más hacia la posibilidad de nuevos descubrimientos revolucionarios.

PARA SABER MÁS:

Visita nuestros sitios web:

www.ligo.org
www.virgo-gw.eu
gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/

Lea una versión gratuita del artículo científico completo [aquí](#)

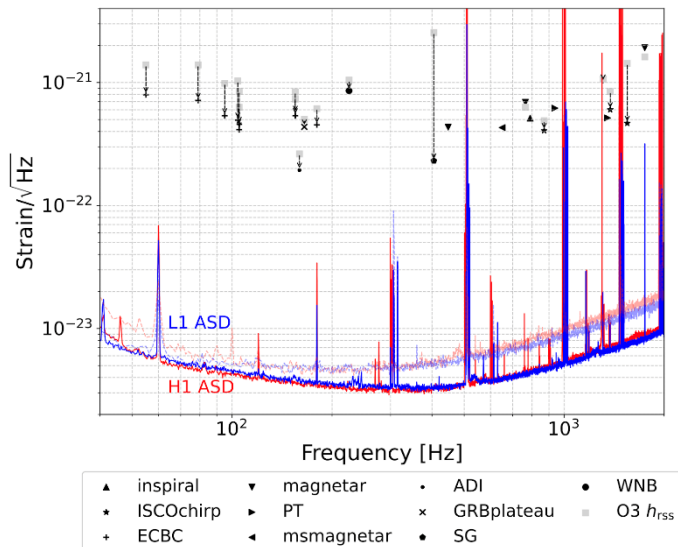


Figura 2: Límites superiores en la amplitud de las OG comparados con la sensibilidad del detector LIGO (en azul y rojo), para varios tipos de señales de estallidos de larga duración. La amplitud (“strain”, del inglés) está en el eje vertical, y la frecuencia de la OG en el eje horizontal. Cada marcador negro representa el límite superior de amplitud de O4a para un tipo determinado de señal de estallido, comparado con su equivalente de O3 en gris. La mayoría de los límites mejoran entre 1.2 y 2 veces. Por ejemplo, “magnetar” (flecha hacia abajo) y “msmagnetar” (magnetar de milisegundos, flecha hacia la izquierda) representan señales que provienen de dos tipos diferentes de magnetares, mientras que “ECBC” (coalescencia de binarias compactas en órbitas excéntricas, símbolo +) se refiere a binarias en órbitas excéntricas. Otros tipos incluyen “inspiral” (fusiones binarias de estrellas de neutrones), “ISCOchirp” (ondas del órbita circular estable más interna alrededor de agujeros negros en rotación), “PT” (acreción de material de retorno en estrellas de neutrones), “ADI” (inestabilidad en discos de acreción), “GRBplateau” (magnetares recién formados que alimentan mesetas en estallidos de rayos gamma), “SG” (formas de onda seno-Gaussiana), y “WNB” (estallidos de ruido blanco).

GLOSARIO

Coalescencia de binarias compactas - comúnmente abreviada como CBC, consiste en dos agujeros negros, dos estrellas de neutrones, o un agujero negro y una estrella de neutrones que orbitan en espiral hasta finalmente fusionarse. El proceso completo produce ondas gravitacionales cuya frecuencia y amplitud aumentan a medida que los dos objetos se acercan y aceleran. El objeto resultante de la fusión puede ser una estrella de neutrones o un agujero negro, dependiendo del sistema inicial. Los objetos que forman la binaria se denominan sus componentes, definiéndose como componente primaria aquella que tiene mayor masa.

Relatividad general - La teoría de la gravedad propuesta por Albert Einstein en 1915. Según esta teoría, el espacio y el tiempo forman una especie de “tejido” que se curva cuando hay materia o energía, y los objetos se mueven siguiendo trayectorias dentro de ese espacio deformado.

Búsqueda de estallidos - Una búsqueda de señales con exceso de energía simultáneas en una red de detectores de ondas gravitacionales, que opera sin basarse en un modelo predefinido de la forma de la señal.

Transitorio - Fenómeno astronómico de corta duración, en contraste con eventos astrofísicos que pueden durar desde miles hasta miles de millones de años.

Periodo de observación - Un periodo de observación en el que los detectores de ondas gravitacionales están recopilando datos.

Tasa de falsa alarma - La tasa de falsa alarma se utiliza para cuantificar la probabilidad de que un evento haya sido causado por ruido. Se calcula simulando eventos originados por el ruido y analizando su intensidad, para obtener una distribución de la tasa esperada de estos eventos en función de la intensidad de la señal. En términos más concretos, si un evento tiene una tasa de falsa alarma de 1 por día, esto significa que se espera que el ruido del detector genere un evento similar aproximadamente una vez al día. Por lo tanto, la confianza en que este evento sea real sería baja.

Upper limit - Una estimación sobre el valor máximo que puede tener una cantidad y que aún sea compatible con una ausencia de detección. Usamos un límite con un grado de confianza del 95%, es decir, dado los datos, hay un 95% de probabilidad de que la cantidad esté por debajo de este límite.