

RESULTADOS DEL PERIODO DE OBSERVACIÓN O3 GEO-KAGRA

INTRODUCCIÓN

[KAGRA](#) es un nuevo detector de ondas gravitacionales (OG) situado en Japón que recientemente se ha unido a la red internacional de detectores, junto con Advanced [LIGO](#) y Advanced [Virgo](#), desde octubre de 2019. KAGRA había planificado comenzar la observación conjunta con Advanced LIGO y Advanced Virgo en el último mes (abril) del tercer Periodo de Observación (O3) de 2020. Sin embargo, debido a la pandemia COVID-19, Advanced LIGO y Advanced Virgo se vieron obligados a interrumpirlo el 27 de marzo de 2020. Afortunadamente, KAGRA encontró un compañero, [GEO 600](#) (abreviado en este documento como GEO) en Alemania, que opera de manera continua bajo la colaboración LIGO.

En abril de 2020, GEO y KAGRA realizaron una observación conjunta durante dos semanas. Denominamos a este periodo de observación conjunta GEO-KAGRA como O3GK. Los resultados se presentan en un artículo científico. Debido a la débil **sensibilidad** de ambos detectores, no se ha informado de ninguna detección fiable de OG. Sin embargo, durante estas dos semanas, la comunidad astronómica observó varios **estallidos de rayos gamma (GRBs, del inglés gamma-ray bursts)** y la colaboración LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) realizó una serie de búsqueda de OG potencialmente asociadas: **busquedas de todo el cielo** de coalescencias de **sistemas binarios de estrellas de neutrones (BNS, del inglés binary neutron star)** y de estallidos genéricos no modelados, así como de búsquedas específicas de coalescencias de sistemas binarios compactos (CBCs, del inglés compact binary coalescences) y estallidos no modelados asociados con los GRBs anunciados durante el periodo (**busquedas asociadas con GRBs**).

No se identificó ninguna señal de OG de entre los datos resultantes, tal y como se esperaba dada la sensibilidad de los detectores. Sin embargo, estos análisis demuestran que los sistemas de análisis están preparados para incorporar datos de KAGRA, lo cual adquirirá una importancia creciente mientras KAGRA se acerca a su sensibilidad de diseño.

KAGRA Y GEO 600

El periodo O3GK fue la primera observación conjunta de KAGRA con otro detector de OG. KAGRA es un detector interferométrico de OG con tecnología láser y brazos de 3 kilómetros de longitud, situado en Kamioka, Gifu, Japón. KAGRA está construido en una mina subterránea, y usa espejos criogénicos para cuatro masas prueba, que reducen el ruido sísmico y térmico. En abril de 2019, la mayoría de los componentes del interferómetro se habían instalado y los trabajos de comisionado (ajuste de los detectores para hacerlos más sensibles) habían comenzado. Después del comisionado, la sensibilidad de KAGRA se había mejorado hasta lograr un **alcance de observación BNS** de aproximadamente 1 **megaparsec** (3,26 millones de años luz) para el final de marzo de 2020. Como KAGRA es un nuevo detector que todavía se encuentra en fase de mejora, no se encuentra todavía en su sensibilidad de diseño.

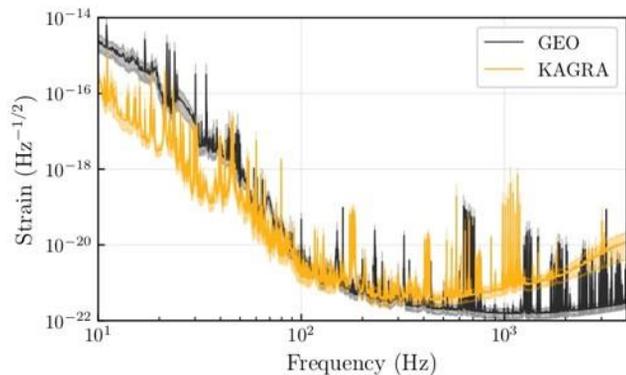


Figura 1: (Panel izquierdo de la Figura 1 de nuestra publicación) Gráfica mostrando la sensibilidad típica de KAGRA (amarillo) y GEO (negro) durante el periodo conjunto de observación. El eje vertical representa la intensidad media del ruido de los detectores, que es una medida de cuanto se mueven típicamente los espejos en función de la frecuencia (eje horizontal). Las curvas continuas representan la sensibilidad media para cada intervalo de frecuencia y las regiones sombreadas representan el 5º y 95º percentil asociado con este periodo.

GEO es uno de los detectores de OG más antiguo con diseño de interferómetro y, aunque es un detector pequeño con brazos de 600 metros de longitud, juega un papel importante como banco de pruebas de nuevas tecnologías de detección. La sensibilidad de los detectores de OG está limitada por el ruido que producen los instrumentos.

Por encima de un ruido de fondo, que es en esencia el mismo durante todo el tiempo, se encuentran artefactos instrumentales de corta duración en los datos, que llamamos glitches. Aunque se ha dedicado mucho esfuerzo en mantener el ruido tan bajo y libre de glitches como sea posible, los glitches pueden imitar señales de OG de corta duración. Utilizando dos detectores simultáneamente, reducimos significativamente el número de glitches que pueden confundirse con señales reales.

La **Figura 1** muestra la sensibilidad típica de los dos detectores durante el periodo de observación conjunto. Cuanto menor es la intensidad del ruido mayor es la sensibilidad. A bajas frecuencias KAGRA es más sensible mientras que a frecuencias altas GEO es más sensible. Durante el periodo de observación, KAGRA podría haber detectado espirales BNS hasta una distancia de aproximadamente 0,8 megaparsecs (2,6 millones de años luz) y GEO podría haberlo hecho hasta una distancia de aproximadamente 1,1 megaparsecs (3,6 millones de años luz).

La **Figura 2** muestra el alcance de observación de BNS de los dos detectores durante el periodo conjunto.

BÚSQUEDAS DE TODO EL CIELO

La colaboración LVK realizó una **búsqueda de estallidos y sistemas binarios de todo el cielo**. La búsqueda de sistemas binarios de todo el cielo es una búsqueda de **filtro adaptado** que compara los datos con un conjunto de plantillas de **funciones de onda** basadas en modelos teóricos de las OG emitidas por la coalescencia de un CBC. La búsqueda de estallidos de todo el cielo es una búsqueda de señales transitorias no modeladas de OG. Los resultados de las dos búsquedas de todo el cielo concluyen que no se ha detectado ninguna señal de OG. En la **figura 3** se muestra un gráfico con los resultados.

BÚSQUEDAS ASOCIADAS CON GRBs

Durante el periodo de observación, hubo algunos eventos de interés astronómico, los GRBs, los cuales podrían estar acompañados de OGs. Se buscó con más cuidado en los datos en torno a estos eventos. Cuatro GRBs, dos **GRBs largos** (de duración mayor de dos segundos) y dos **GRBs cortos** (de duración inferior a dos segundos), se detectaron coincidiendo con el periodo de toma de datos científicos de KAGRA y GEO. La colaboración LVK realizó **búsquedas específicas asociadas con GRBs y sistemas binarios**, con las cuales se examinó la banda temporal y la localización en el cielo delimitadas por las observaciones electromagnéticas de los GRBs. La colaboración LVK concluye que no hay evidencia de emisión de OG asociada a ninguno de los cuatro GRBs analizados por las búsquedas de estallidos y sistemas binarios.

Uno de los GRBs analizados, GRB 200415A, está asociado con **una ráfaga gigante de un magnetar** en la galaxia de Sculptor (NGC 253) a una distancia de 3,5 megaparsecs.

En la **figura 4** se muestra el resultado de la búsqueda específica de señales asociadas a GRBs para el 200415A. La **distancia de exclusión** basándonos en nuestro análisis es de solo unos pocos **kiloparsecs** y esto no es suficiente para excluir un progenitor de CBC y poner a prueba la hipótesis de la ráfaga gigante de magnetar. El resultado de la búsqueda genérica de estallidos asociados con GRBs se muestra en la **figura 5**. Para cada GRB se ha calculado la distancia de exclusión.

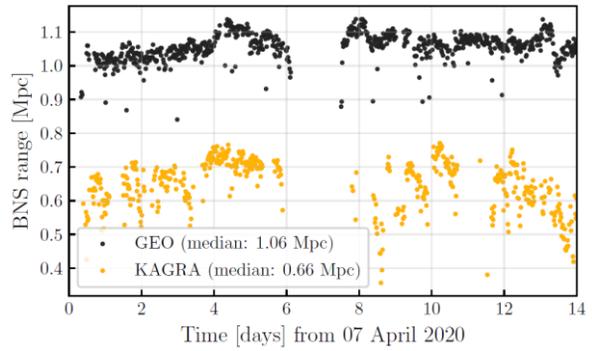


Figura 2: (Panel derecho de la Figura 1 de nuestra publicación) El alcance de observación BNS de KAGRA (amarillo) y GEO (negro) durante el periodo de observación conjunto. Se muestra la evolución de los alcances durante el periodo de observación. El hueco entre el día 6 y el 7 se debe a que ambos detectores se vieron afectados por el mal tiempo y fueron incapaces de mantenerse operativos. Los valores medios del alcance son 0,66 megaparsecs para KAGRA y de 1,06 megaparsecs para GEO.

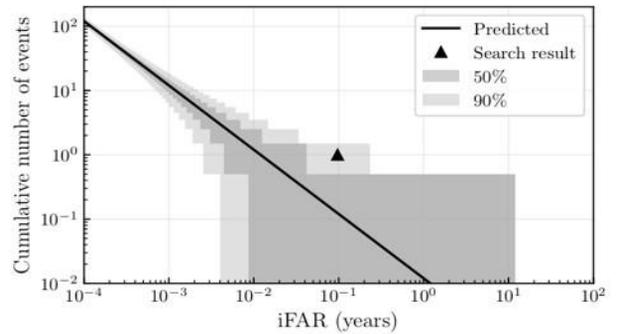


Figura 3: (Figura 5 de nuestra publicación) Número de eventos acumulados en función de la inversa de la **tasa de alarmas falsas (iFAR)** determinado por la búsqueda de estallidos genéricos de todo el cielo. Solo se identifica un único evento (triángulo), correspondiente al evento más intenso. Se encuentra dentro del 90% del intervalo, lo que significa que se considera que está producido por ruido. Las regiones sombreadas muestran el 50% y el 90% de las incertidumbres de Poisson.

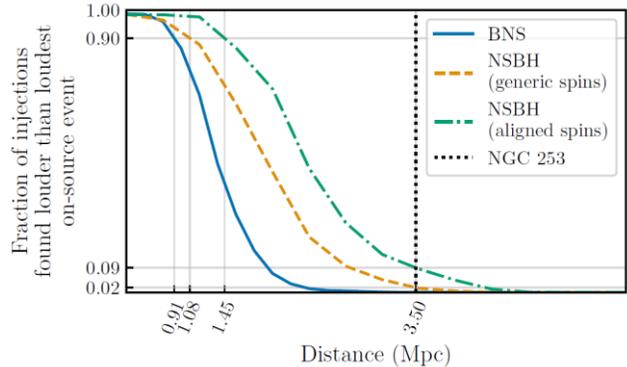


Figura 4: (Figura 7 de nuestra publicación) Distancias de exclusión del análisis de GRB 200415A realizado por la búsqueda de sistemas binarios asociados con GRBs para una señal de un BNS y de un sistema binario de una estrella de neutrones y un agujero negro (NSBH, del inglés Neutron Star Black Hole binary). Las curvas corresponden a las tres poblaciones simuladas: BNSs (azul continuo), NSBHs con espines orientados de forma genérica (naranja discontinuo) y NSBHs cuyos espines están alineados con el momento angular orbital (verde punteado). Las distancias de exclusión del 90% de 0,91 megaparsecs, 1,08 megaparsecs y 1,45 megaparsecs están marcadas con las líneas verticales, y también se muestra la distancia a NGC 253 (3,5 megaparsecs). Los niveles de confianza correspondientes a la distancia a NGC 253 para un BNS, NSBH (espines genéricos) y NSBH (espines alineados) están marcados por líneas horizontales: 0%, 2% y 9% respectivamente. Por tanto la sensibilidad de la búsqueda no es suficiente para excluir CBCs.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

Por medio de los análisis aquí presentados, la colaboración LVK ha demostrado la promesa de que KAGRA se convierta en parte de la red de detectores de OG. Los detectores LVK están en este momento fuera de servicio para realizar mejoras antes del próximo cuarto periodo de observación (O4), actualmente planeado para comenzar a mediados de diciembre de 2022 (<https://www.ligo.org/scientists/GWEMAlerts.php>).

Una vez KAGRA se encuentre operacional en su configuración de diseño, alcanzará una sensibilidad que será comparable con los detectores Advanced LIGO y Advanced Virgo; entonces KAGRA jugará un papel esencial en la detección de señales de OG. Es vital tener más detectores formando parte de la red en términos de recuperación de más información y mejorando nuestra habilidad para precisar la localización de las fuentes. El hecho de que los brazos de KAGRA estén orientados de manera muy diferente a otros detectores hace que su contribución sea todavía más importante.

Para saber más

Noticia en nuestras páginas web: <https://www.ligo.org/news.php>
<https://www.virgo-gw.eu/>
<https://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/>

Artículo científico completo:
<https://dcc.ligo.org/LIGO-P2100286/public>

Datos públicos GWTC-3 : <https://www.gw-openscience.org/>

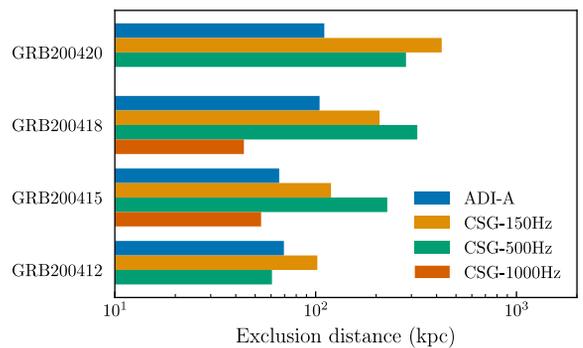


Figura 5: (Figura 8 de nuestra publicación) Distancia de exclusión de cada uno de los cuatro GRBs analizados por la búsqueda de estallidos genéricos asociados con GRBs. Aquí cada valor corresponde a un modelo diferente de OG utilizado; los cuatro modelos considerados se conocen como el modelo A de señal de la inestabilidad del disco de acreción (ADI, del inglés Accretion Disk Instability) y señales seno-gaussianas circulares (CSG, del inglés Circular Sine-Gaussian) con frecuencias centrales de 150 Hz, 500 Hz y 1000 Hz.

Visita nuestras páginas web

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



Glosario

Búsquedas de todo el cielo: Estas son las búsquedas estándar. Para los datos de O3GK, la colaboración LVK ha realizado una búsqueda de filtro adaptado de coalescencias BNS y de estallidos genéricos no modelados.

Sistema Binario de Estrellas de Neutrones: Sistema compuesto por dos estrellas de neutrones en órbita una alrededor de la otra. (Más información [aquí](#))

Alcance de observación de sistema binario de estrella de neutrones: Medida estándar de la sensibilidad del detector, que es la distancia promediada en ángulo y volumen a la cual se puede detectar la espiral de un sistema binario compuesto de dos estrellas de neutrones con una relación señal ruido de al menos 8 en el sistema de filtro adaptado.

Agujero negro: Región del espacio-tiempo extremadamente curvada a causa de una masa extremadamente compacta donde la gravedad es tan intensa que evita que cualquier cosa, incluso la luz, pueda escapar.

Búsqueda de estallidos: Búsqueda de un exceso de señal en coincidencia en una red de detectores de OG que se realiza sin asumir ningún modelo específico de función de onda.

Objeto compacto: Objeto astrofísico extremadamente denso tal como un agujero negro, una estrella de neutrones o una [enana blanca](#).

Distancia de exclusión: La distancia de exclusión es la distancia dentro de la cual el 90% de una población de señales simuladas se recuperaría con al menos tanta confianza como el evento candidato de mayor amplitud causado por el ruido del detector cerca del momento del GRB.

Tasa de Alarmas Falsas: Esta tasa mide la frecuencia con la que las fluctuaciones del ruido del detector podrían producir una señal similar al evento candidato bajo consideración. Cuanto menor sea esta tasa de alarmas falsas mayor es la probabilidad de que el evento candidato sea de origen astrofísico.

Rayos Gamma: Fotones de energía extremadamente alta, incluso mayor en energía que los rayos X.

Estallido de rayos gamma (GRB): Relámpago de rayos gamma procedente de una fuente astrofísica distante con una duración de hasta unos cientos de segundos, en muchos casos incluso menos de unos segundos.

GEO 600: El detector GEO es un interferómetro terrestre situado en Hannover, Alemania.

Función de onda gravitacional: Una representación de la evolución en el tiempo de una señal de onda gravitacional.

Búsquedas asociadas con GRBs: Estas son búsquedas de señales de OG asociadas con GRBs encontrados durante el periodo. Buscando en los mismos intervalos de tiempo y las mismas localizaciones en el cielo de los GRBs podemos detectar señales más débiles de OG asociadas que se podrían identificar con búsquedas de todo el cielo. Para los datos de O3GK, la colaboración LVK ha realizado una búsqueda de filtro adaptado de coalescencias de BNS y NSBH y estallidos genéricos no modelados.

KAGRA: El detector KAGRA es un interferómetro subterráneo situado en la mina Kamioka, Gifu, Japón. Se trata de un interferómetro láser con brazos de 3 km de longitud y espejos con refrigeración criogénica.

Kiloparsec (kpc): Mil veces la distancia de un parsec, equivalente a 3,26 miles de años luz aproximadamente.

Año luz: Unidad de distancia equivalente a la distancia que recorre la luz durante un año. Un año luz es aproximadamente igual a 9,46 billones de kilómetros (o aproximadamente 5,88 billones de millas).

LIGO: El observatorio de ondas gravitacionales del interferómetro láser (del inglés, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) compuesto de dos detectores interferométricos de ondas gravitacionales con brazos de 4 km de longitud separados por unos 3000 km (1900 mi) situados en Livingston, LA y Hanford, WA en los Estados Unidos.

GRB largo: La duración es mayor de 2 segundos. Se piensa que esto ocurre cuando colapsa el núcleo de una estrella masiva.

Magnetar: Estrella de neutrones cuyo potente campo magnético provoca comportamientos inusuales, como estallidos cortos.

Llamada Gigante de Magnetar: Una versión mucho mayor de un estallido corto, que emite la cantidad de energía que emitiría el Sol en 100.000 años en menos de un segundo.

Filtro adaptado: Técnica para detectar señales enterradas en el ruido de los datos. Se escanean plantillas de funciones de ondas gravitacionales calculadas a partir de la relatividad general a lo largo de los datos, que alertan cuando se encuentra un patrón coincidente en los datos.

Megaparsec (Mpc): Unidad de distancia. Un millón de veces la distancia de un parsec, igual a aproximadamente 3,26 millones de años luz.

Estrella de neutrones: Objetos extremadamente densos que quedan después del colapso de una estrella masiva. Una estrella tan densa que los átomos no pueden estar separados y la estrella es análoga a un núcleo gigante. Pueden contener de una a dos veces la masa del Sol, pero solo tienen un radio de unos 10 kilómetros.

Sistema binario de Estrella de Neutrones y Agujero Negro: Sistema consistente en un agujero negro y una estrella de neutrones que se mueven en órbita uno alrededor del otro. (Más información [aquí](#))

Ruido: Fluctuaciones en la señal que mide ondas gravitacionales debidas a varios efectos instrumentales y medioambientales. La sensibilidad de un detector de ondas gravitacionales está limitado por el ruido.

Periodo de observación: Periodo de tiempo en el que los detectores de ondas gravitacionales están observando para tomar datos.

Parsec (pc): Unidad de distancia ampliamente usada en astronomía, equivalente a unos 3,26 años luz. Corresponde aproximadamente a 31 billones de kilómetros.

Sensibilidad: Descripción de la habilidad de un detector para detectar una señal. Los detectores con poco ruido son capaces de detectar señales débiles y por lo tanto se dice que tienen mayor sensibilidad.

GRB corto: La duración es menor a 2 segundos. Se piensa que proceden de la coalescencia de objetos compactos (BNS o NSBH).

Relación señal ruido: El cociente de la potencia de la señal y la potencia del ruido, usado para comparar el nivel de la señal con respecto al nivel del ruido. Mide la intensidad de la señal en comparación a las fuentes de ruido que podrían contaminarla.

Intensidad: Cambio en la longitud del brazo del detector, debido a la deformación del espacio tiempo producida por una onda gravitacional que atraviesa el detector, dividido por la longitud total del brazo.

Virgo: El detector Virgo es un interferómetro terrestre situado en Cascina, Italia, cerca de Pisa.