

GW190425: ¿El sistema binario de estrellas de neutrones más masivo jamás visto?

6 de enero de 2020. Lea la versión original en inglés y en otros idiomas [aquí](#).

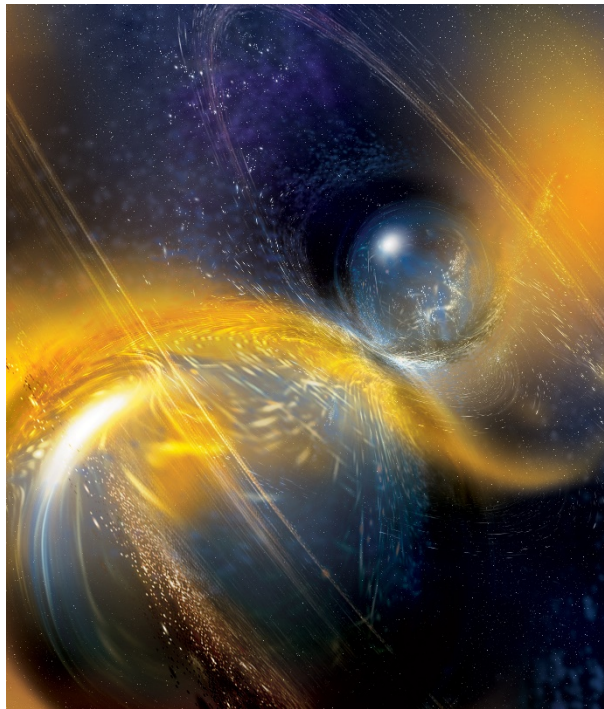


Figura 1: Representación artística de la fusión un sistema binario de estrellas de neutrones que ha producido GW190425. Créditos: National Science Foundation/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet.

¿Qué hemos descubierto?

La [Colaboración Científica LIGO](#) y la [Colaboración Virgo](#) informan que el 25 de abril de 2019 se detectaron ondas gravitacionales procedentes de la fusión de dos objetos compactos. Nuestras colaboraciones etiquetaron esta señal como GW190425. [LIGO](#) incluye dos detectores de ondas gravitacionales, uno en [Hanford, Washington](#) y el otro en [Livingston, Louisiana](#). En el momento en que se registró la señal GW190425, el detector LIGO-Hanford estaba temporalmente no operativo, pero esta intensa señal fue registrada por el detector LIGO-Livingston. El [detector Virgo](#), ubicado en Cascina, Italia, estaba también tomando datos. No obstante, debido a su menor sensibilidad en comparación con el detector LIGO-Livingston y en particular por el hecho de que la fuente de GW190425 estaba localizada probablemente en una región del cielo menos visible

para Virgo, la señal sólo quedó por encima del umbral de detección de LIGO-Livingston. Sin embargo, los datos de Virgo fueron útiles para ayudarnos a entender los parámetros de la fuente de GW190425. Hemos encontrado que la masa total de este sistema binario está entre 3,3 y 3,7 veces la masa del Sol. Con este rango de masas, la explicación más plausible es que dos estrellas de neutrones colisionaron aproximadamente a unos 520 millones de años-luz de distancia. La masa de este sistema binario es significativamente mayor que la de otro sistema binario de estrellas de neutrones conocido.

Un poco de contexto

GW190425 fue detectada en el tercer período de observación de Advanced LIGO y Virgo, llamado O3, que comenzó el 1 de abril de 2019 y finalizará el 30 de abril de 2020. Con anterioridad a este período de observación, han habido otros dos períodos de observación con los detectores avanzados: O1 (septiembre de 2015 a enero de 2016) y O2 (noviembre de 2016 a agosto de 2017). Se pueden encontrar más detalles [aquí](#). Entre los diferentes períodos de observación los detectores se han actualizado con nuevas tecnologías para aumentar su sensibilidad.

En O2, LIGO y Virgo realizaron la primera observación de ondas gravitacionales procedente de dos estrellas de neutrones orbitando una alrededor de la otra, etiquetada como [GW170817](#). Esta colisión de estrellas de neutrones también produjo una contrapartida [detectada a lo largo de todo el espectro electromagnético](#). GW190425 es probablemente nuestra segunda observación de una fusión de estrellas de neutrones con ondas gravitacionales. Hasta la fecha, no se ha identificado ninguna contrapartida electromagnética o de neutrinos asociada con GW190425. Esto no es sorprendente, sin embargo, dado que la fuente estaba aún más lejos que GW170817 y por tanto la señal electromagnética esperada habría sido más débil. Pero quizás el factor más importante sea que GW190425 no estaba bien localizada. De hecho, la fuente de GW190425 estaba localizada en una región que cubría alrededor del 16% de todo el cielo. ¡Es una enorme área del cielo para buscar usando telescopios convencionales!

¿Cómo sabemos que GW190425 tiene origen astrofísico?

Tenemos una serie de herramientas que buscan señales de ondas gravitacionales procedentes de la fusión de objetos compactos. Estas herramientas comparan los datos observados con las señales teóricas predichas por la [Relatividad General](#) usando una técnica llamada “[matched filtering](#)” o filtraje por coincidencia. Nuestros canales de búsqueda identificaron la señal de GW190425 de los datos de LIGO-Livingston. El siguiente paso es estimar cómo de significativo es el evento, es decir, queremos saber la frecuencia con la que esperaríamos que ocurriera una señal de este tipo por casualidad debido a las características del ruido de los datos del detector. A esta cantidad se le conoce como tasa de falsas alarmas. Para estimarla, necesitamos comparar la intensidad de GW190425 con respecto a la distribución de eventos asociados al ruido de fondo. Este fondo se generó llevando a cabo la búsqueda durante 169,5 días de O1 y O2, y 50 días de

O3, tomados individualmente de LIGO-Livingston, LIGO-Hanford y Virgo. Hemos encontrado que la tasa de falsas alarmas para que GW190425 fuera casual es de una en 69.000 años. La Figura 2 muestra que, en los 219,5 días de datos combinados del ruido de fondo, GW190425 claramente se distingue de este fondo, aparte de la otra detección confirmada de GW170817.

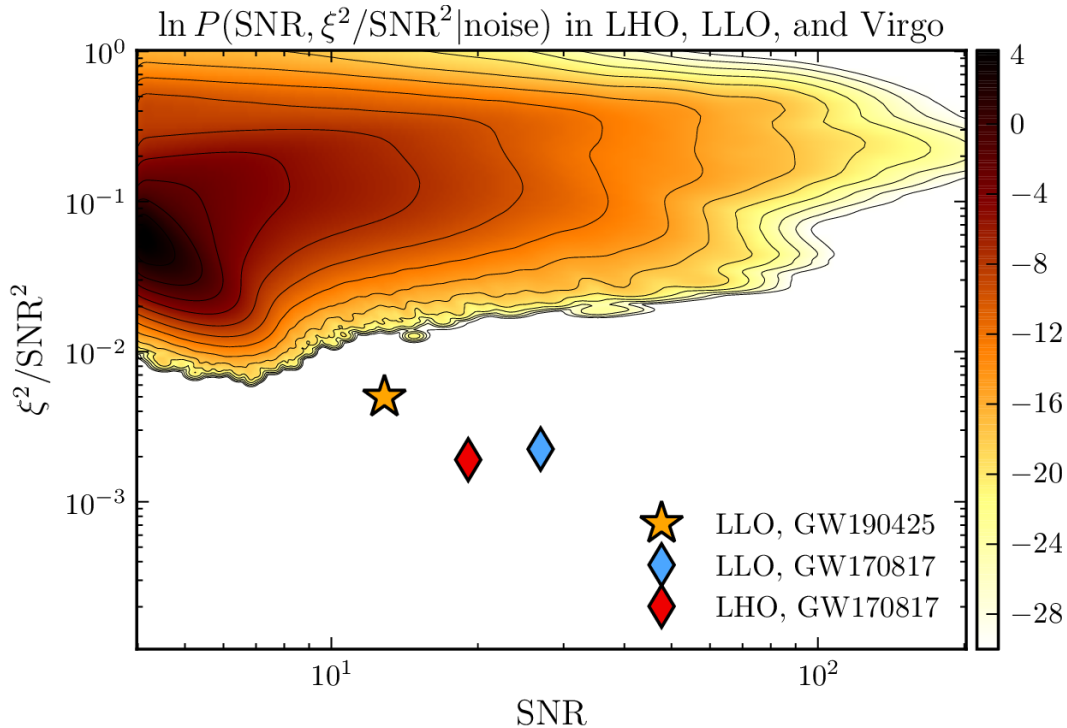


Figura 2: Esta figura muestra la combinación de la relación señal-ruido (SNR, de sus siglas en inglés) y la función de probabilidad de ruido ξ^2 para LIGO-Hanford (LHO), LIGO-Livingston (LLO) y Virgo. La SNR cuantifica cómo de ruidosa es la señal y ξ^2 comprueba cómo de bien concuerda la evolución temporal de la SNR con la señal de un sistema binario real de objetos compactos. La figura muestra la distribución de fondo en la región asociada a señales de sistemas binarios de estrellas de neutrones. Esta distribución ha sido calculada usando 169,5 días de O1 y O2, y 50 días de O3. No hay señales de fondo presentes en la posición de GW190425 (estrella dorada); la señal se distingue del fondo. Por comparar, la señal GW170817 registrada en los detectores LIGO-Hanford y LIGO-Livingston se muestra con diamantes azul y rojo.

Además de las búsquedas, también hemos llevado a cabo procedimientos de detección para GW190425 similares [a los que hemos realizado en eventos anteriores](#). Estas comprobaciones investigan si un ruido transitorio instrumental esporádico en LIGO-Livingston podría haber sido el responsable de la señal GW190425. No hemos encontrado ninguna alteración instrumental o ambiental que pudiera ser responsable de esta señal.

¿Por qué es la señal GW190425 tan interesante?

Hemos encontrado que la masa de la componente más masiva del sistema binario de dos objetos compactos está entre 1,61 y 2,52 veces la masa del Sol, y que la masa de la otra componente está entre 1,12 y 1,68 veces la masa del Sol. Estas masas son consistentes con las medidas en otras estrellas de neutrones así como con lo que esperamos de simulaciones de explosiones de [supernova](#). La estrella de neutrones más masiva identificada a partir de observaciones electromagnéticas ([PSR J0740+6620](#)) tiene una masa entre 2,05 y 2,24 veces la masa del Sol. Para GW190425 no podemos descartar que una o ambas de sus componentes sean agujeros negros. Sin embargo, la interpretación más directa es que estos objetos son en realidad estrellas de neutrones. Si este es el caso, ¿qué podemos inferir de GW190425?

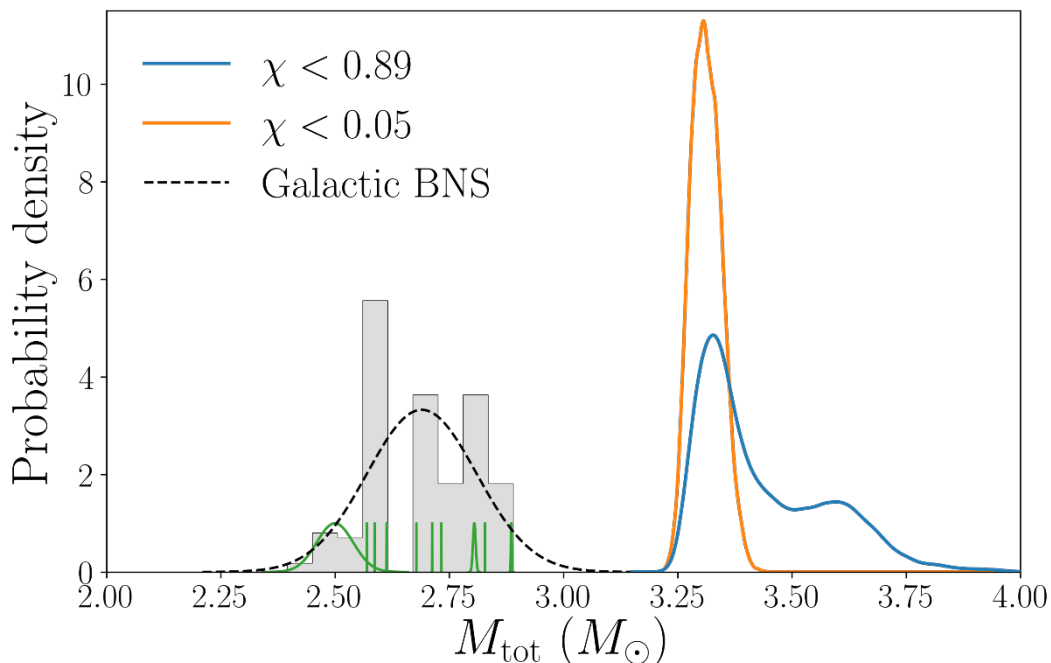


Figura 3: Esta figura muestra la distribución de posible masa total del sistema binario GW190425 bajo las diferentes hipótesis asumidas para las rotaciones individuales de los dos objetos compactos (curvas azul y naranja). También se muestra la masa total de 10 sistemas binarios de estrellas de neutrones galácticos que esperamos que se fusionen a lo largo de la edad del Universo. La distribución de masa total de los sistemas binarios galácticos está ajustada usando una [distribución normal](#) representada por una línea negra continua. Las líneas verdes hacen referencia a sistemas binarios de estrellas de neutrones galácticos individuales reescalados a una misma altura de 1.

En algunos aspectos GW190425 no es como otros sistemas binarios de estrellas de neutrones en nuestra Galaxia. Aunque que la masa de cada estrella de neutrones es similar a las que ya conocemos, la masa total del sistema es muy diferente. La Figura 3 muestra la masa total de 10 sistemas binarios de estrellas de neutrones galácticos que se espera que se fusionen a lo largo de la edad del Universo. Una [distribución normal](#) ha sido ajustada a estos 10 sistemas. El resultado es que la masa media de los sistemas binarios galácticos es de alrededor de 2,69 veces la masa del Sol, mientras que la masa del sistema binario GW190425 es de alrededor de 3,4 veces la masa del Sol. De hecho, se sitúa a más de 5 [desviaciones estándares](#) de la media galáctica. Esto sugiere que GW190425 se ha formado de manera diferente con respecto a los sistemas binarios galácticos conocidos.

[Hay dos maneras](#) en las que esperamos que se formen sistemas binarios de dos estrellas de neutrones. Una de ellas es el llamado “canal de evolución de sistemas binarios aislados de envoltura común”, en donde dos estrellas de neutrones se forman cuando cada una de las dos estrellas en un sistema binario experimenta una explosión supernova pero de manera aislada con respecto al otro objeto compacto. La segunda manera se conoce como “canal de formación dinámico”. En este escenario, a un sistema binario existente, que podría estar formado por dos estrellas de neutrones o por una estrella de neutrones y una [estrella en secuencia principal](#) por ejemplo, se le une otra estrella de neutrones que expulsa a la estrella menos masiva. El resultado es un sistema binario formado por dos estrellas de neutrones. Un origen dinámico para GW190425 es improbable, ya que se piensa que este escenario no contribuye significativamente a la tasa de fusiones de sistemas binarios de estrellas de neutrones. Si GW190425 se hubiera formado de manera aislada, esto podría querer decir que las estrellas de neutrones se habrían originado a partir de estrellas de baja [metalicidad](#). O quizás indique que cuando se produjo la primera explosión de supernova y se creó la primera estrella de neutrones en el sistema binario, se podría haber transferido masa desde la segunda componente (que todavía no habría llegado a explotar como supernova) a la primera estrella de neutrones y provocara que fuese más masiva. En cualquier caso, el descubrimiento de GW190425 parece sugerir que hay una población de sistemas binarios de estrellas de neutrones con períodos orbitales inferiores a una hora que no son todavía detectables a través de las actuales búsquedas electromagnéticas.

También hemos intentado ver si podríamos determinar la velocidad de rotación de las estrellas de neutrones. Desafortunadamente, nuestros resultados no permiten determinar la rotación de las estrellas de neutrones. Son consistentes con una velocidad de rotación como la de los dos sistemas binarios de estrellas de neutrones galácticos con una rotación más rápida que esperamos que se fusionen a lo largo de la edad del Universo, PSR J0737–3039A/B y PSR J1946+2052. Este último contiene un púlsar que gira una vez cada 17ms.

Si consideramos el descubrimiento de GW190425 como resultado de un sistema binario de estrellas de neutrones y lo combinamos con el otro sistema binario de estrellas de neutrones que hemos observado (GW170817), podemos estimar el número de estrellas de neutrones que colisionan por volumen de Universo y año. Encontramos que la tasa de fusiones de sistemas binarios de estrellas de neutrones está entre 250 y 2810 por gigapársec cúbico y año.

GW190425 es potencialmente la segunda observación de un sistema binario de estrellas de neutrones, y nos ha proporcionado información única sobre estos extraños objetos.

Para saber más:

- Visita nuestras páginas web: www.ligo.org, www.virgo-gw.eu
- Lee las notas de prensa de LIGO sobre este descubrimiento: ligo.caltech.edu/news/ligo20200106
- Puedes leer el artículo científico completo [aquí](#).

Glosario

- **Objeto compacto:** Término usado para objetos estelares muy pequeños y muy densos, tales como estrellas de neutrones y agujeros negros. ¡Cuando hablamos de muy pequeños, nos referimos en sentido astronómico! Estos objetos tienen al menos la misma masa que el Sol, pero concentrada hasta alcanzar un diámetro de varios o decenas de varios kilómetros.
- **Sistema binario:** Sistema con dos objetos girando uno alrededor del otro.
- **Estrella de neutrones:** Objeto extremadamente denso que se produce tras el colapso de una estrella masiva.
- **Agujero negro:** Región del espacio-tiempo que contiene una masa extremadamente compacta en donde la gravedad es tan intensa que impide que cualquier cosa, incluyendo a la luz, escape.
- **Rotación:** Cantidad que mide cómo de rápido giran los objetos. Por ejemplo, la rotación de la Tierra es de 1 cada 24 horas.
- **Púlsar:** Estrella de neutrones que ha sido observada por los pulsos de radiación electromagnética (normalmente en banda de radio) que emite. Una fracción importante de las estrellas de neutrones que creemos que existen no pueden ser observadas como los púlsares, ya sea porque no emiten radiación electromagnética suficientemente intensa o bien porque la dirección de la radiación electromagnética que emiten no apunta hacia la Tierra.