

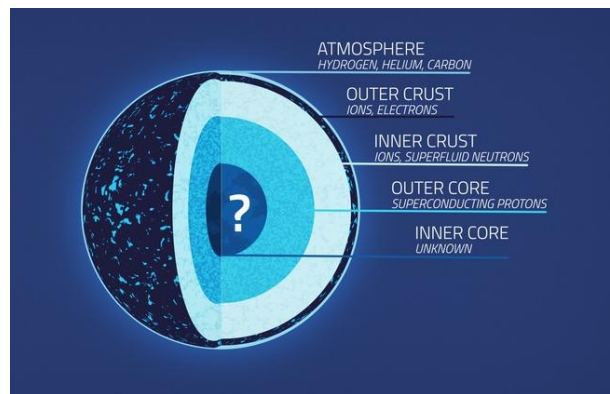
# DISECCIONANDO LOS INTERIORES DE LAS ESTRELLAS DE NEUTRONES CON ONDAS GRAVITACIONALES

Las colaboraciones [LIGO Virgo y KAGRA \(LVK\)](#) han llevado a cabo una nueva búsqueda de las increíblemente débiles [ondas gravitacionales continuas](#) (CWs) emitidas por las [estrellas de neutrones](#) (NSs), los núcleos extremadamente densos y giratorios que quedan después de que las estrellas masivas sufran una [explosión de supernova](#). Utilizando datos de la primera y segunda parte de la cuarta [campana de observación](#) (O4a: mayo de 2023-enero de 2024, y O4b: abril de 2024-enero de 2025) de los [LIGO, Virgo y KAGRA](#), esta búsqueda marca otro hito en el esfuerzo por detectar ondas gravitacionales no procedentes de violentas [colisiones cósmicas](#), sino de fuentes astrofísicas estables. Estas delicadas señales periódicas podrían abrir una ventana al interior oculto de las NSs, los objetos más compactos del cosmos después de los [agujeros negros](#). A pesar de los numerosos esfuerzos realizados (véase nuestra última búsqueda [aquí](#)), estas señales siguen sin detectarse, lo que indica lo cerca que están las NSs de ser esferas perfectas.

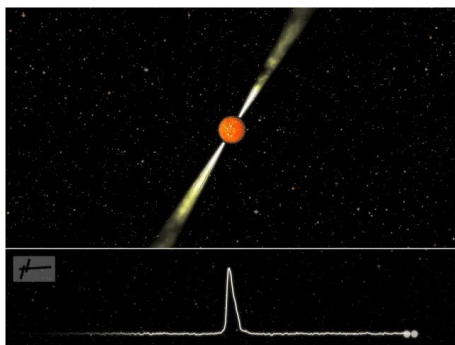
## ¿QUÉ OBJETOS EMITEN CWS Y POR QUÉ SON INTERESANTES PARA NOSOTROS?

Las NSs son objetos densos y muy compactos con una [masa mayor que la de nuestro Sol](#) comprimida en un radio de aproximadamente 10 km. La densidad extrema pone en juego fenómenos cuánticos que determinan la estructura de estos objetos extraordinarios. A diferencia de las estrellas normales, se cree que son extremadamente rígidas y que tienen una estructura en capas (véase la **Figura 1**). Están rodeadas por una atmósfera muy fina, con una corteza exterior y un núcleo interno, donde las propiedades de la materia se vuelven cada vez más exóticas a medida que se acerca al centro de la estrella. Algunas NSs giran cientos de veces por segundo y si su distribución de masa es incluso ligeramente asimétrica, esta imperfección puede hacer que emitan CWs débiles y periódicas que aún no se han detectado.

Las NSs poseen campos magnéticos extremadamente fuertes, entre cien millones y un billón de veces más fuertes que el campo magnético terrestre, que generan haces de radiación electromagnética (véase la **Figura 2**) en una amplia gama de frecuencias, desde ondas de radio hasta rayos X y rayos gamma.



**Figura 1.** Esquema de la estructura interna en capas de una NS. Crédito: NASA GSFC. (Véase también este [artículo de revisión](#).)



**Figura 2.** [Impresión de un púlsar](#) que muestra la estrella de neutrones en rotación, junto con los haces emitidos de radiación electromagnética, destacando la llegada regular de pulsos a un telescopio. Crédito de la imagen: Joeri van Leeuwen, Licencia: [CC-BY-AS](#).

A medida que la estrella gira, estos haces barren el espacio como un faro cósmico, produciendo pulsos regulares cada vez que cruzan nuestra línea de visión en la Tierra. Las observaciones de púlsares en múltiples observatorios electromagnéticos (EM) nos proporcionan mediciones precisas de las posiciones de los púlsares en el cielo, su frecuencia de rotación y cómo los parámetros que describen su comportamiento evolucionan con el tiempo (lo que se conoce como «spin-down» o deceleración). A partir de estas observaciones EM, también podemos comprender y describir el movimiento orbital del púlsar si se encuentra en un sistema binario. Este conocimiento detallado hace que los púlsares sean objetivos ideales para las búsquedas de CW, ya que permite a los científicos concentrarse en los rangos de frecuencia específicos en los que se esperan tales señales.

El descubrimiento de estas señales supondría un gran avance, ya que permitiría a los científicos investigar la [estructura interna](#) de las NSs y obtener nuevos conocimientos sobre la materia en condiciones extremas.

## PARA SABER MÁS:

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



En este estudio, nos centramos en 39 [púlsares](#) conocidos (véase la **Figura 3**), tratando de captar sus débiles emisiones de CW.

### ¿CÓMO BUSCAMOS UNA SEÑAL DE CW?

Por lo general, debemos adaptar nuestro método de búsqueda al mecanismo de emisión que consideramos, o a la precisión con la que conocemos los parámetros de CW. En este caso, aplicamos una búsqueda denominada «de banda estrecha», capaz de explorar una banda de frecuencia pequeña y diseñada para tener en cuenta posibles discrepancias entre las emisiones EM y de CW. De hecho, algunos modelos predicen que la corteza exterior de la NS (véase la **Figura 1**), que es la fuente dominante de la emisión EM, podría estar rezagada con respecto al núcleo, girando a una velocidad ligeramente diferente. En este escenario, con búsquedas de banda estrecha, buscamos deformaciones del núcleo inducidas por el potente campo magnético del interior de la estrella de neutrones.

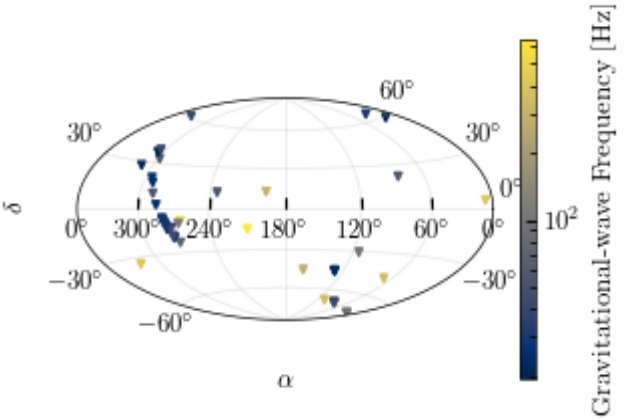
También podría ocurrir que los datos EM ruidosos no nos permitan limitar adecuadamente la evolución de la frecuencia de la emisión del púlsar a lo largo del tiempo. En consecuencia, estos efectos reducen nuestras posibilidades de detección si no se tienen debidamente en cuenta.

### ¿QUÉ HEMOS ENCONTRADO?

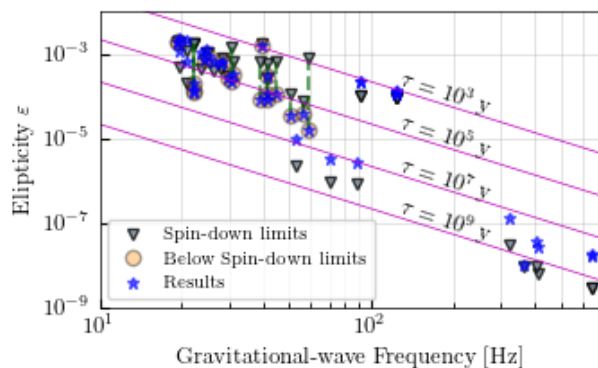
Desafortunadamente, no detectamos nada en nuestros objetivos utilizando los datos O4ab tomados por los observatorios [LIGO Hanford](#) y [LIGO Livingston](#).

Las deformaciones de estas estrellas de neutrones se cuantifican mediante un parámetro denominado “[elipticidad](#)” y la no detección de CWs en O4ab significa que sus elipticidades deben ser inferiores a los valores umbral denominados [límites superiores](#) (véase la **Figura 4**). En otras palabras, los científicos disponen ahora de estimaciones más precisas de las distorsiones máximas posibles que podrían tener estos púlsares, incluso si esas deformaciones fueran demasiado pequeñas para generar una señal detectable.

Nuestros resultados en la **Figura 4** se comparan con los denominados [límites de desaceleración](#), una amplitud máxima teórica para cada una de las estrellas. Para más de la mitad de nuestros objetivos, informamos de un límite superior por debajo de los de desaceleración de la estrella, lo que limita la fracción de energía perdida debido a la emisión de CW. Nuestro límite superior más estricto sobre la elipticidad de una NS es para J0711-6830 (con una frecuencia de CW esperada de alrededor de 364 Hz), lo que corresponde a deformaciones de la estrella ligeramente superiores a 100 [micras](#) (donde una micra equivale a una millonésima parte de un metro) para un radio de 10 km. Estos límites también implican límites superiores en la energía de las CWs emitidas: en el caso del [púlsar del Cangrejo](#) (alrededor de 60 Hz), ¡encontramos que la estrella pierde como máximo solo el 0,04 % de su energía a través de la emisión de CWs!



**Figura 3:** (Fig. 1 de nuestro artículo) Ubicación en el cielo en [coordenadas ecuatoriales](#) de los objetivos analizados.



**Figura 4.** (Fig. 6 de nuestro artículo). Estrellas: límites superiores experimentales de la elipticidad para cada púlsar en función de la frecuencia de CW esperada. Triángulos: límites superiores teóricos de la elipticidad, suponiendo que la [desaceleración](#) de los púlsares se debe completamente a la emisión CW. Líneas moradas: los púlsares de una determinada edad ( $\tau$  en la figura), que pierden energía a través de la emisión de ondas gravitacionales (GW), deberían situarse alrededor de la misma línea.

Aunque no encontramos ondas gravitacionales en esta búsqueda, mejoramos nuestros límites superiores anteriores gracias a un período de recopilación de datos más largo y a las mejoras en los detectores. En general, este es un resultado importante porque impone restricciones más estrictas a las teorías que describen las NNs y nos ayuda a acercarnos aún más a una comprensión integral de la compleja física de las estrellas de neutrones.

### PARA SABER MÁS

Visita nuestras : [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/) (KAGRA)

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

Lea una introducción a las ondas gravitacionales continuas [aquí](#).

Traducido al español por Irene Prohens Peteracova (a partir de la versión original en inglés) y revisado por Pablo García.