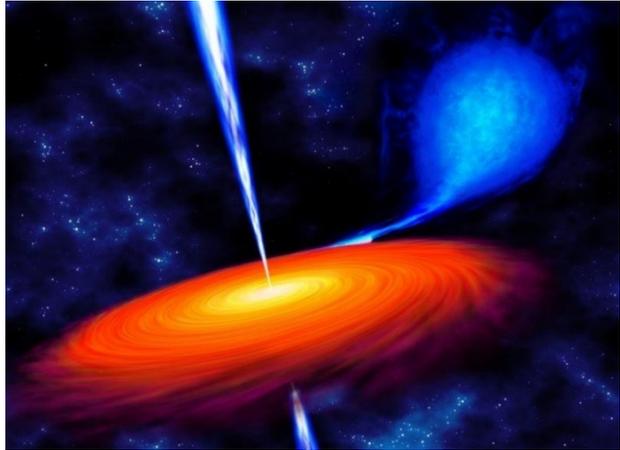


# BUSCANDO SEÑALES ERRANTES DE ONDAS GRAVITACIONALES CONTINUAS PROCEDENTES DE SCORPIUS X-1 EN O3.

## ¿Qué estamos buscando?

A día de hoy, las ondas gravitacionales detectadas por los detectores de la colaboración LIGO-Virgo-KAGRA (LVK) han sido producidas por la colisión de objetos astronómicos muy pesados, como **estrellas de neutrones** o agujeros negros. Sin embargo, estas no son las únicas ondas gravitacionales que se pueden observar. Un caso más esquivo son las ondas gravitacionales continuas, es decir, aquellas que son emitidas continuamente por alguna fuente. Potencialmente este tipo de ondas continuas pueden abrir un nuevo camino en la comprensión del universo. El problema es que este tipo de señales continuas son extremadamente débiles, por lo que su posible detección implica combinar datos durante largos periodos de tiempo

Una fuente prometedora para estas ondas gravitacionales continuas son las estrellas de neutrones, objetos extremadamente densos y que giran muy rápidamente, generando campos gravitatorios extremos. Aunque existen varios mecanismos por los cuales una estrella de neutrones puede generar ondas gravitacionales continuas, un caso sencillo sería considerar una asimetría o protuberancia en la corteza de la estrella de neutrones. A medida que la estrella de neutrones gira, esta asimetría crearía ondas gravitacionales continuas, de manera similar a como una hélice genera ondas en el agua.



*Figura 1. Impresión artística del sistema binario de objetos de baja masa que emite rayos X Scorpius X-1. (Cortesía de Ralg Schoofs).*

## ¿Por qué es Scorpius X-1 una fuente ideal de ondas gravitacionales continuas?

Scorpius X-1 es un sistema binario de objetos de baja masa que emite rayos X, es decir, un sistema compuesto por una estrella de neutrones en órbita con una estrella de baja masa que generalmente es llamada la compañera. Una propiedad característica de este tipo de sistemas es el flujo de gas de la estrella compañera a la estrella de neutrones, en un proceso llamado **acreción**. Este fenómeno genera rayos X, de tal manera que a mayor acreción más rayos X son producidos.

Dado que el proceso de acreción puede generar una asimetría en la estrella de neutrones, fuentes que generan muchos rayos X son buenas candidatas para intentar detectar ondas gravitacionales continuas. Aparte del Sol, Scorpius X-1 es la fuente más brillante de rayos X en el cielo, lo cual la convierte en un candidato ideal para buscar este tipo de señales. Este es el motivo para llevar a cabo búsquedas de ondas gravitacionales continuas procedentes de Scorpius X-1 en el primer (O1) (¿Interesado? - véanse los resúmenes [O1 hidden Markov model analysis](#), [O1 CrossCorr analysis](#)) y segundo (O2) (véase este resumen [O2 hidden Markov model analysis](#)) periodos de observación.

Sin embargo, buscar ondas gravitacionales continuas generadas por Scorpius X-1 tiene sus problemas. En primer lugar, las ondas gravitacionales son emitidas en armónicos (múltiplos) de la frecuencia de rotación de la estrella de neutrones, y en el caso particular de Scorpius X-1 no existen mediciones de esta frecuencia. Esto implica que nuestra búsqueda debe cubrir un rango amplio de frecuencias para intentar encontrar la señal. En segundo lugar, la naturaleza caótica del proceso de acreción implica que la frecuencia de rotación de la estrella de neutrones puede cambiar de manera impredecible en el tiempo. A este último fenómeno se le denomina frecuencia rotacional errante.

## ¿Cómo buscamos ondas gravitacionales continuas?

Existen varios métodos para buscar ondas gravitacionales continuas procedentes de Scorpius X-1, usando por ejemplo una búsqueda CrossCorr o Radiometer. No obstante, para poder incluir la banda ancha de frecuencias así como la frecuencia rotacional errante, utilizamos una técnica llamada **modelo oculto de Markov**, el cual nos permite buscar eficientemente señales cuyas frecuencias varían ligeramente durante el periodo de observación. Esta técnica se basa en analizar segmentos de diez días de observación y luego reconstruir el camino (o valores) más probable(s) que haya seguido la frecuencia conectando todos los segmentos.

## VISITE 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/)



Para analizar correctamente cada segmento se utiliza un estadístico conocido como **J-statistic**, en inglés. Esta herramienta usa información sobre el sistema binario, como: la orientación del plano orbital, la posición de la estrella de neutrones en el sistema binario y el periodo orbital, y luego convierte los datos registrados en los interferómetros en la probabilidad de que haya una señal presente con una frecuencia dada. Esto crea un problema adicional para este tipo de búsqueda ya que las mediciones de los parámetros del sistema binario tienen incertidumbres. Para mejorar la sensibilidad utilizamos una malla de posibles valores para estos parámetros, similar a una red de pescar, para intentar capturar la señal. A día de hoy, esta es la búsqueda usando un modelo oculto de Markov más exhaustiva llevada a cabo. ¡Se necesitaron aproximadamente seis meses haciendo uso de una **supercomputadora**!

## Resultados y perspectivas a futuro

No se encontró evidencia suficiente de ondas gravitacionales continuas utilizando los datos del tercer periodo de observación (O3). Aunque varios candidatos para esta señal fueron considerados, la explicación más probable para estos son fluctuaciones en el ruido de fondo de los interferómetros que simula señales reales.

A partir de este análisis pudimos imponer **cotas superiores** a la señal, es decir, estimar la amplitud que debería tener la señal para haber sido detectada en esta búsqueda. Esta es la primera vez que se usa un modelo oculto de Markov para buscar señales que, para un rango de frecuencias considerado, se encuentran por debajo de la amplitud máxima estimada teóricamente. Las estimaciones se muestran en la **Figura 2** con las líneas rojas, mientras las cotas superiores son los puntos de colores.

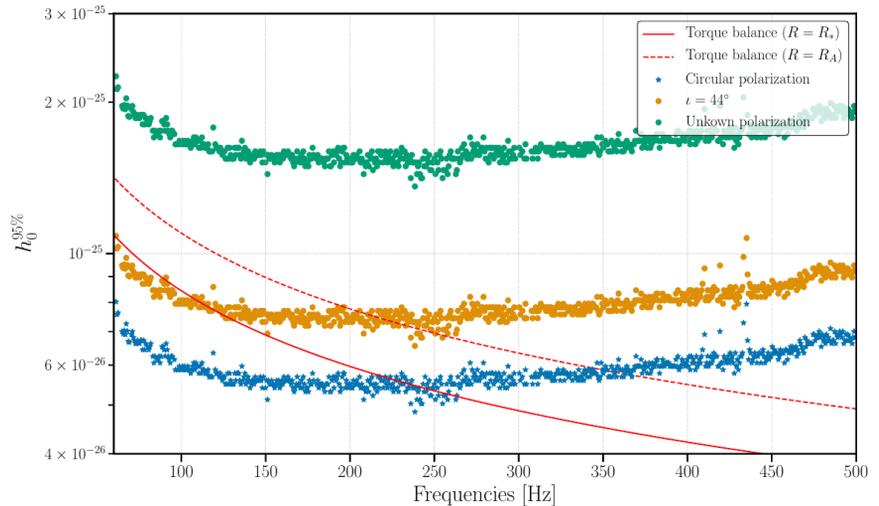


Figura 2. Cotas superiores estimadas en esta búsqueda para la amplitud de deformación de la onda gravitacional continuas (eje vertical) en función de la frecuencia de búsqueda (eje horizontal). Los puntos verdes representan las cotas superiores sin tener en cuenta ninguna hipótesis sobre el **ángulo de inclinación** de la órbita, los puntos anaranjados representan las cotas superiores asumiendo un ángulo de inclinación de 44 grados, mientras que las estrellas azules representan el caso de polarización circular (es decir un ángulo de inclinación nulo). Las líneas rojas (punteadas y continuas) representan la amplitud de deformación de las ondas gravitacionales continuas calculadas teóricamente asumiendo condiciones ideales.

Con este nivel de sensibilidad, estamos adentrándonos en terrenos inexplorados. Seguramente el siguiente periodo de observación (O4), que involucra mejores detectores y un periodo de observación más largo, ¡traerá resultados fascinantes para las próximas búsquedas de ondas gravitacionales continuas de Scorpius X-1!

## MÁS INFORMACIÓN

Visite 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/)

Lea una preimpresión gratuita del Artículo científico competo [aquí](#)

Traducción al castellano por Andrés Vargas-Sánchez e Isabel Cordero-Carrión (a partir de la [versión original en inglés](#)).

## Glosario

**Estrella de neutrones:** remanente del colapso del núcleo de una estrella al final de su evolución, normalmente de 1,4 masas solares, pero a penas de varios kilómetros de diámetro haciendo que sean ¡objetos extremadamente densos!

**Sistema binario de objetos de baja masa que emite rayos X:** sistemas binarios compuestos de un donante que acreta materia a su compañera, generalmente un objeto compacto como una enana blanca, una estrella de neutrones o un agujero negro.

**Ángulo de inclinación:** ángulo entre el plano orbital de un objeto y algún plano de referencia.

**Modelo oculto de Markov:** Técnica para buscar señales cuyas frecuencias varían aleatoriamente.

**J-statistic:** Una herramienta matemática que utiliza información del sistema binario para convertir los datos del interferómetro a la probabilidad de que una señal, de cierta frecuencia, esté presente en los datos.

**Supercomputadora:** Colección de computadoras interconectadas que permiten ejecutar códigos o programas muy costosos computacionalmente de manera paralela, reduciendo el tiempo de espera considerablemente.

**Cota superior:** Valor máximo que puede tener la amplitud de deformación de la onda gravitacional continua para ser detectada a un nivel de confianza de 95%. En otras palabras, de existir una señal de esta magnitud en los datos, la hubiéramos encontrado 95 veces en 100 intentos..