

# RESTRICCIONES SOBRE LAS CUERDAS CÓSMICAS A PARTIR DE DATOS DEL TERCER PERÍODO DE OBSERVACIÓN DE ADVANCED LIGO-VIRGO

## INTRODUCCIÓN

El Universo se está expandiendo y enfriando lentamente. Este proceso puede llevar a la creación de [cuerdas cósmicas](#): son [defectos topológicos](#) unidimensionales cuya energía se concentra a lo largo de una línea. Las cuerdas cósmicas son análogas a las fisuras que pueden aparecer en el hielo conforme el agua se congela. En el Universo, las cuerdas cósmicas son generalmente curvas, y evolucionan, formando lazos cerrados como resultado de sus interacciones.

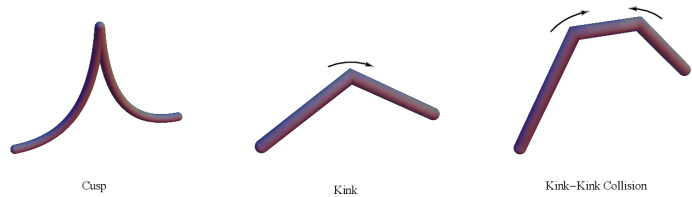


Figura 1: Ilustraciones de cúspides (cusps), pliegues (kinks) y colisiones de pliegues. Crédito de la imagen: [Long, Hyde and Vachaspati](#)

Las cuerdas cósmicas existen en muchas [teorías de campos](#) motivadas por la física de partículas y se pueden hacer algunas predicciones observacionales sobre ellas. Esto significa que las cuerdas cósmicas podrían servirnos como herramienta para explorar la física más allá del [Modelo Estándar](#), a escalas de energía mucho mayores que aquellas alcanzadas por aceleradores de partículas como el [LHC](#) en el CERN. En particular, la producción de señales de ondas gravitacionales por cuerdas cósmicas es una de las huellas observacionales más prometedoras que actualmente podemos buscar con detectores terrestres como [LIGO](#), [Virgo](#) y [KAGRA](#).

## ONDAS GRAVITACIONALES DE LAZOS DE CUERDAS CÓSMICAS

Los lazos de cuerdas cósmicas oscilan e irradian energía generalmente en forma de ondas gravitacionales, lo que hace que se encojan y eventualmente se desintegren. El espectro de ondas gravitacionales de un lazo oscilante viene dominado por lo que se conoce como cúspides y pliegues. Los primeros son puntos en la cuerda que viajan brevemente a la velocidad de la luz, y los segundos son discontinuidades que aparecen por pares como resultado de que las cuerdas intercambian compañeras. Muchos de estos estallidos de ondas gravitacionales se pueden considerar de manera conjunta, formando un fondo estocástico (es decir, determinado de manera aleatoria) de ondas gravitacionales. Ocasionalmente, brotes pronunciados de gran amplitud pueden sobresalir con respecto al fondo estocástico – como el grito de una voz solitaria que se escucha sobre el sonido de una multitud ruidosa – y por lo tanto podrían ser detectados, en principio, de manera individual.

Hemos buscado señales gravitacionales producidas por cúspides, pliegues y colisiones de pliegues (ver [Figura 1](#)) en los datos recogidos por los detectores Advanced LIGO y Advanced Virgo durante su tercer período de observación, etiquetado como O3. Hemos considerado dos modelos analíticos (llamados A y B) para la distribución de los lazos de las cuerdas cósmicas, que están basados en los resultados de dos simulaciones computacionales diferentes de esta distribución. Además, hemos desarrollado un tercer modelo, llamado C, que fue diseñado para ser más “agnóstico” al interpolar entre los modelos A y B; en nuestra búsqueda se han considerado dos variantes (C-1 y C-2) de este modelo.

## ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se han utilizado los datos de los detectores LIGO y Virgo para analizar, en cada uno de estos cuatro modelos, la posible presencia tanto de una señal gravitacional procedente de una única cuerda cósmica como de un fondo estocástico de señales de cuerdas cósmicas. Para llevar a cabo nuestra búsqueda de estallidos gravitacionales, los candidatos que eran emparejados con la señal gravitacional predicha por esa misma señal fueron primero identificados y a continuación se usaron métodos de análisis para calcular la probabilidad de que cada evento candidato fuera una cuerda cósmica y no ruido del detector.

Visita nuestras páginas web:

[www.ligo.org](http://www.ligo.org)

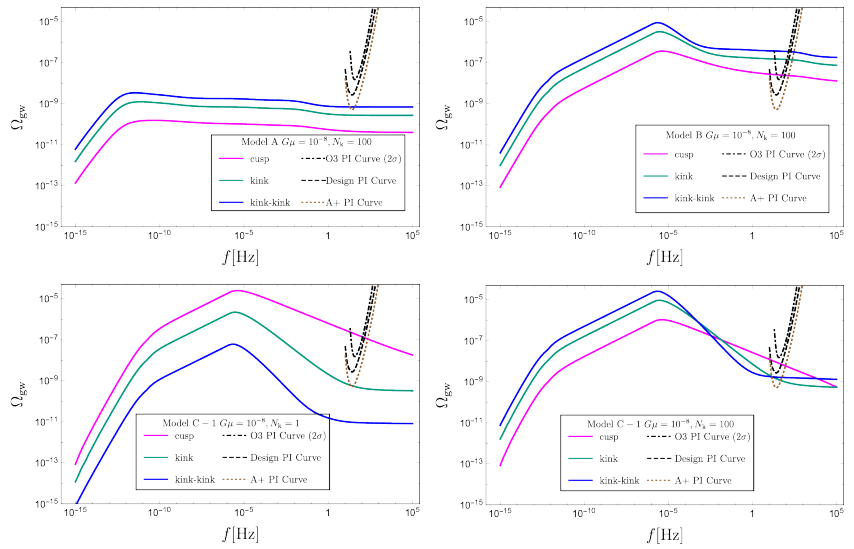
[www.virgo-gw.eu](http://www.virgo-gw.eu)

[gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/](http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/)



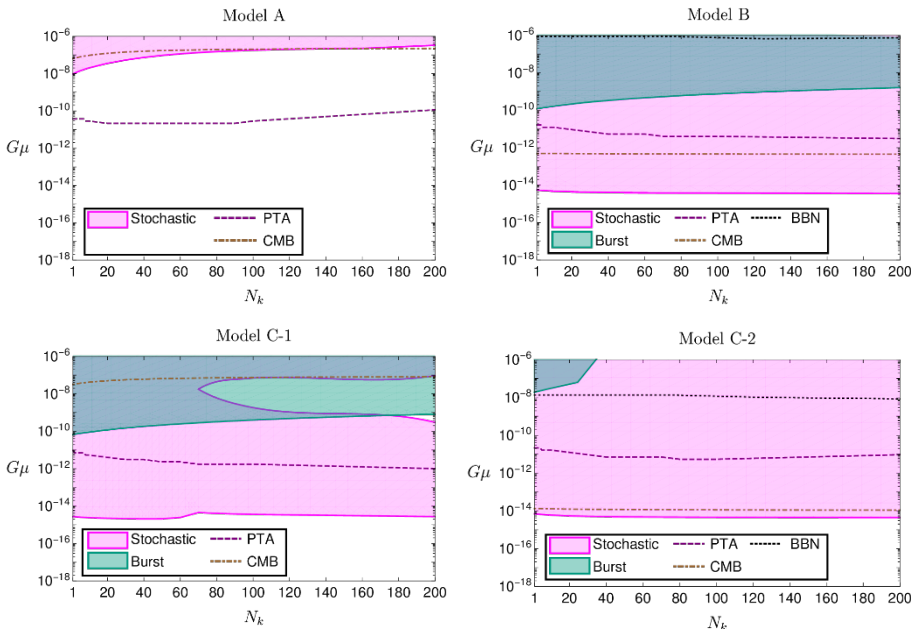
La búsqueda de fondo estocástico fue realizada calculando la [densidad de energía](#) de las señales gravitacionales de las cuerdas cósmicas predichas por cada modelo que consideramos; estas predicciones fueron entonces comparadas con los resultados observacionales del detector que utilizan la ausencia de señal para establecer cotas superiores sobre esta densidad de energía.

**Figura 2:** Predicciones del espectro de densidad de energía en ondas gravitacionales usando diferentes modelos (llamados A, B, C-1) para la función de distribución de los lazos y variando el número de pliegues por oscilación de cada lazo,  $N_k$ . La tensión de la cuerda  $G\mu$  se fija a  $10^{-8}$ . El parámetro  $G$  es la constante de Newton y  $\mu$  denota la densidad de masa lineal de la cuerda. Arriba-izquierda: modelo A,  $N_k = 100$ . Arriba-derecha: modelo B,  $N_k = 100$ . Abajo-izquierda: modelo C-1,  $N_k = 1$ . Abajo-derecha: modelo C-1,  $N_k = 100$ . También se muestra el espectro de densidad de energía de los tres componentes y las curvas de ley de potencias  $2\sigma$  para la búsqueda isotrópica del fondo estocástico de O3, y las proyecciones de estas curvas sobre la red de LIGO Handford, LIGO Livingston y Virgo en sus sensibilidades de diseño, y para los detectores **Advanced LIGO+** (A+).



Aunque no se detectó ninguna señal de cuerdas cósmicas, nuestro análisis nos permitió restringir los dos parámetros propios de estas, la tensión de la cuerda y el número de pliegues por lazo, para cada uno de los modelos de distribución de lazos (para que los valores de estos parámetros fueran consistentes con nuestra no-detección). Estas restricciones se muestran en las **Figuras 2 y 3**. En particular, hemos encontrado que las restricciones más estrictas en la tensión de las cuerdas proceden de nuestro análisis en la búsqueda de un fondo estocástico de ondas gravitacionales.

También hemos comparado nuestros resultados con límites obtenidos a partir de las mediciones del [PTA](#) (Pulsar Timing Array, en inglés), y con límites indirectos procedentes de la [nucleosíntesis del Big Bang](#) y de las observaciones del [fondo cósmico de microondas](#) (CMB, Cosmic Microwave Background, en inglés). El [siguiente período de observación, O4](#), nos dará una nueva oportunidad para buscar señales gravitacionales de cuerdas cósmicas, aprovechando que los detectores LIGO y Virgo serán más sensibles todavía y que el detector KAGRA se unirá a la red global de interferómetros de ondas gravitacionales.



**Figura 3:** Contornos de exclusión de **Advanced LIGO-Virgo**, en un intervalo de confianza del 95%, en el espacio de parámetros de la cuerda cósmica,  $(N_k, G\mu)$ , derivado a partir de la búsqueda estocástica (rosa), la búsqueda de estallidos (verde claro) y ambas búsquedas (verde oscuro). Los contornos indican regiones del espacio de parámetros dentro de los cuales tenemos un nivel de confianza del 95% de que los parámetros verdaderos no se han encontrado. Cuatro modelos se consideran para describir la distribución de los lazos de cuerdas cósmicas: modelo A (arriba-izquierda), modelo B (arriba-derecha), modelo C-1 (abajo-izquierda) y modelo C-2 (abajo-derecha). Los resultados de la búsqueda estocástica combinan datos de los períodos de observación O1, O2 y O3, mientras que la búsqueda de estallidos solamente incluye datos de O3.

**PARA SABER MÁS:**

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 versión del artículo original [aquí](#).

Podrás encontrar más información acerca del concepto de ondas gravitacionales [aquí](#).