

CUANDO UN PÚLSAR TIENE HIPO, ¿PODEMOS DETECTARLO CON ONDAS GRAVITACIONALES?

En 2024, uno de los mejores viejos amigos de los [radioastrónomos](#) en el cielo presentó una oportunidad muy emocionante para la búsqueda de [ondas gravitacionales](#) (GW): una [estrella de neutrones](#) conocida como el [púlsar Vela](#) experimentó un [glitch](#), una especie de hipótesis en sus señales de radio, que suelen ser estables. Los procesos físicos que subyacen a los [glitches](#) de los púlsares aún no se comprenden del todo, y detectar sus secuelas en las GW podría ser un paso crucial para resolver este enigma.

GLITCHES DE PULSAR

El púlsar Vela, situado a unos mil [años luz](#) de la Tierra y con una antigüedad de poco más de diez mil años, pertenece a un tipo de estrella especialmente fascinante: es un remanente extremadamente denso de la [explosión de una supernova](#) al final de la vida de una estrella masiva, comprimido hasta tal punto que se convirtió en una [estrella de neutrones](#). Además, gira tan rápido (más de 11 veces por segundo) y tiene un campo magnético tan intenso (más de un billón de veces más fuerte que el de la Tierra) que emite fuertes haces de [radiación electromagnética](#). A medida que estos haces barren la Tierra con cada rotación, los radiotelescopios (y los que observan en otras longitudes de onda) captan señales pulsadas, de ahí el término púlsar. El púlsar pierde energía lentamente con el tiempo y se ralentiza, y una pequeña parte de esta pérdida de energía podría explicarse por la [emisión de ondas gravitacionales continuas](#).

Pero en el caso del púlsar Vela, esta serie tan regular de pulsos muestra una característica inusual cada dos años aproximadamente: durante lo que se conoce como *glitch*, la rotación del púlsar se acelera repentinamente de nuevo. Estos *glitches* se conocen en otros púlsares, pero Vela, que fue el primer púlsar en el que se observó este fenómeno, ha mostrado algunos de los *glitches* más fuertes que se conocen y se encuentran entre los púlsares que producen con mayor frecuencia estos extraños hipos. Aún así, solo a partir de las observaciones con telescopios, los *glitches* siguen siendo eventos muy enigmáticos. Probablemente estén relacionados con potentes «terremotos estelares», con efectos [superfluidos](#) en el denso interior de la estrella, o con una combinación de ambos, pero los detalles siguen siendo desconocidos.

En particular, desde la Colaboración [LIGO-Virgo-KAGRA](#) (LVK), nos emocionó el último gran *glitch* del púlsar Vela, que fue captado por radiotelescopios a finales de abril de 2024, mientras los detectores LIGO y Virgo estaban en plena fase de observación. Dado que Vela es una constelación del cielo austral, los dos radiotelescopios que proporcionaron información precisa sobre el momento en que se produjo esta anomalía fueron los del [Instituto Argentino de Radioastronomía](#) y el [Observatorio Mount Pleasant](#) de la Universidad de Tasmania.

¿POR QUÉ LOS GLITCHES DE LOS PÚLSARES DEBEN PROVOCAR ONDAS GRAVITACIONALES?

Debido a su extrema densidad y rápida rotación, las estrellas de neutrones también son interesantes como posibles fuentes de ondas gravitacionales. Además de las débiles señales a largo plazo procedentes de su lenta decadencia en su rotación, también podrían producirse señales más fuertes durante períodos más cortos cada vez que la estrella sufre algún evento violento, como un *glitch* de púlsar. De hecho, existen varios modelos que explican cómo un *glitch* de púlsar podría producir ondas gravitacionales.



Figura 2: Los cuatro observatorios que participan en este trabajo: dos radiotelescopios en Argentina y Tasmania, y los dos detectores de ondas gravitacionales LIGO en EEUU. Créditos: Instituto Argentino de Radioastronomía, Universidad de Tasmania, Laboratorio LIGO (Caltech/MIT).



Figura 1: La nebulosa que rodea al púlsar Vela y el haz que este emite. Imagen compuesta de rayos X (crédito: NASA/CXC/Univ of Toronto/M.Durant et al.) y óptica (crédito: DSS/Davide De Martin).

En primer lugar, una estrella de neutrones puede sonar como una campana con varios [tipos de oscilaciones](#). Las más fuertes se denominan «modos f», abreviatura de «modos fundamentales». Los *glitches* pueden desencadenar estos modos f, al igual que una campana suena cuando se golpea con un martillo. A medida que la estrella de neutrones vibra, esperamos que emita ondas gravitacionales en el rango de los [kilohercios](#), que duran solo una fracción de segundo o, como máximo, unos pocos segundos.

En segundo lugar, el *glitch* también podría deformar la forma de la estrella de neutrones. Esto se puede imaginar como la formación de una especie de «montaña transitoria» que, durante un tiempo, se eleva sobre la forma mayoritariamente lisa del púlsar en reposo. Una vez que esto ocurre, la rotación ahora desigual también emitiría GWs. Pero debido a la inmensa gravedad de la estrella de neutrones, la montaña acabaría disolviéndose de nuevo. Estas ondas gravitacionales tendrían frecuencias mucho más bajas (el doble de la velocidad de rotación del propio púlsar, es decir, unos 22 hercios para Vela) y serían más débiles que las de los modos f, pero podrían durar días o incluso meses, por lo que aún tendríamos buenas posibilidades de detectar su efecto global.

BUSQUEDA DE ONDAS GRAVITACIONALES

En su cuarta campaña de observación, los detectores LIGO han alcanzado una sensibilidad tan impresionante que ahora, por primera vez, tenemos una posibilidad realista de detectar GWs causadas por un evento como una perturbación del púlsar Vela. Para aprovechar esta oportunidad, utilizamos una combinación de diferentes métodos para asegurarnos de poder encontrar algo a pesar de las grandes incógnitas sobre lo que realmente ocurre durante la perturbación. Es importante utilizar varios algoritmos de búsqueda diferentes para cada clase de señal a fin de garantizar la robustez frente a la física desconocida y los complicados patrones de [ruido del detector](#).

ENCUENTRA MÁS INFORMACIÓN:

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



Usamos tres algoritmos diferentes para buscar señales de, como máximo, segundos o minutos de duración. Estos cubren un rango amplio de frecuencias y no asumen modelos de señal específicos, por lo que son sensibles a los modos f esperados, así como a otras señales de corta duración que podría emitir una estrella de neutrones perturbada.

Además de esto, cuatro algoritmos más están diseñados para señales de larga duración, que oscilan entre media hora y cuatro meses. Estos se centran en frecuencias de aproximadamente 11 hercios y 22 hercios, tal como se espera, por ejemplo, en el escenario de "montaña transitoria".

PRIMERAS LIMITACIONES FÍSICAS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

Desafortunadamente, a pesar de la [sensibilidad](#) de los detectores LIGO en su ciclo de observación actual, no hemos encontrado aún ninguna señal convincente de GWs procedentes del púlsar Vela. No obstante, este conjunto de resultados representa un hito importante: por primera vez, hemos sido lo suficientemente sensibles para imponer restricciones físicamente significativas a la radiación gravitacional tras el *glitch* de un púlsar. Esto significa que si la energía total liberada en el *glitch* hubiera sido destinada a producir GWs, deberíamos haber detectado algo. Esto se cumple para todo el rango de las señales de larga duración, mientras que para los modos f sólo hemos alcanzado esas restricciones a frecuencias bajas, por debajo de un Kilohercio, mientras que los modelos más realistas de estrellas de neutrones dicen que la emisión debería ser a frecuencias mayores.

Como resultado, la conclusión más relevante que hemos obtenido del púlsar Vela sin haber encontrado nada en esta búsqueda concierne al escenario de la "montaña transitoria". En este caso podemos decir que:

- la idea de que los cambios específicos observados en la emisión de radio del púlsar tras el *glitch* son causados por la "montaña transitoria" no es correcta, o
- si esta idea es correcta y las GWs se emitieron tal como predice este escenario, entonces el púlsar debe estar en el límite inferior de tamaño y masa posibles para este tipo de remanente estelar compacto. Esto se debe a que una estrella de neutrones mayor o más masiva habría emitido una señal de su "montaña transitoria" que deberíamos haber detectado – ver figura 3.

Estos resultados son consistentes con los de otras observaciones de estrellas de neutrones (como las de la famosa [fusión binaria GW170817](#)), que ya nos dicen que el púlsar Vela debe contener una [masa mayor que el Sol](#) confinada en una esfera de radio inferior a 15 km – ¡no mucho mayor que la mayoría de ciudades en la Tierra!

Tras este resultado, podemos esperar que futuros *glitches* de púlsares que ocurran cuando los detectores de GWs se hayan vuelto aún más sensibles proporcionarán aún mejores restricciones. Con el tiempo, una detección directa de GWs procedente de un púlsar con *glitches* nos ayudará a descifrar el misterio de por qué Vela y sus parientes experimentan estos extraños hipos.

GLOSARIO

Radiosferométrica: El estudio de radiación electromagnética de longitud de onda muy larga, similar a la usada para señales de radio o televisión, provenientes del espacio exterior.

Ondas gravitacionales (GWs): Ondulaciones en el espacio-tiempo creadas por objetos masivos en aceleración. Como la radiación electromagnética, viajan a la velocidad de la luz. Están predichas en la teoría de la relatividad general de Einstein y se conocen comúnmente como ondas gravitacionales. Si quieres saber más, ¡estás en el lugar adecuado! Te invitamos a ver nuestras otras páginas sobre ciencia de ondas gravitacionales.

Púlsar: Del inglés "pulsating radio source" (fuente de radio pulsante): una estrella compacta con rápida rotación y altamente magnetizada que emite haces de radiación electromagnética desde sus polos magnéticos. ([Wikipedia](#))

Púlsar Vela: Una estrella de neutrones en la constelación de Vela, a unos 1000 años luz de la Tierra. Es uno de los púlsares más cercanos, brillantes y activos que se conocen. También nos referimos a él como simplemente "Vela". Para más información y un video del púlsar, véase también <https://www.nasa.gov/missions/chandra/vela-pulsar/>

Estrella de neutrones: El remanente de una estrella masiva. Cuando una estrella masiva ha agotado su combustible nuclear, muere de forma catastrófica –una supernova– que puede resultar en la formación de una estrella de neutrones: un objeto tan masivo y denso (aunque no tanto como un agujero negro) que los átomos no pueden mantener su estructura tal y como la conocemos en la Tierra. Suelen ser tan masivas como el sol, con radios de apenas 10 km. ([Wikipedia](#))

Glitches de púlsares: Cambios repentinos en la velocidad de rotación de un púlsar. Los mecanismos responsables en el interior de la estrella de neutrones aún no se comprenden por completo. No deben confundirse con los *glitches* de los detectores, efectos de ruidos molestos que dificultan aún más la búsqueda de ondas gravitacionales.

Radiación electromagnética: La luz visible ([óptica](#)) se extiende del rojo al violeta, pero el [espectro](#) continúa más allá. Tras el rojo se encuentra la radiación infrarroja, las microondas y las ondas de radio. Más allá del violeta están la radiación ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma. Los astrónomos utilizan diferentes partes del espectro para observar diferentes aspectos del Universo. Sin embargo, algunos objetos son oscuros, y por tanto, difíciles de detectar en cualquier región de este espectro. ([Wikipedia](#))

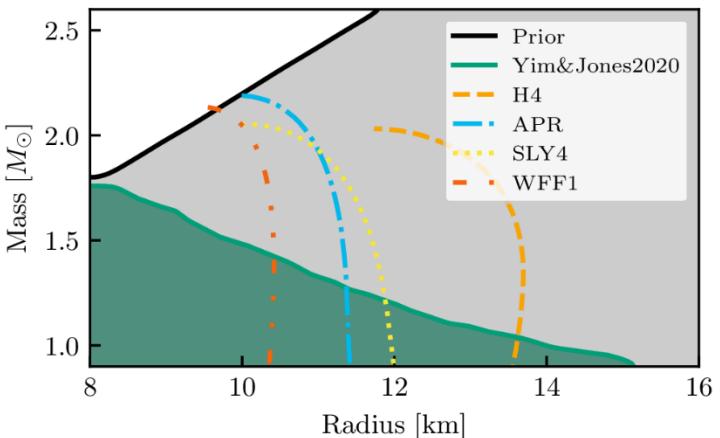


Figura 3: (figura 7 del [artículo científico](#)): Que los detectores de GWs de LIGO no hayan encontrado ninguna señal del púlsar Vela tras su *glitch* de 2024 nos indica que, o bien algunos modelos de emisión no son del todo correctos, o que esta estrella de neutrones debe poseer ciertas propiedades que hacen las GWs lo suficientemente débiles como para que las pasemos por alto. En particular, nuestros resultados en señales de larga duración sugieren que los cambios específicos que se han visto en la emisión de radio del púlsar después del *glitch* no son causados por una "montaña transitoria", o si lo son, que el púlsar no puede tener su masa o tamaño que excedan ciertos límites. En este gráfico vemos esos límites en el radio (eje horizontal) y masa (eje vertical). La gran área bajo la línea negra sólida es el conjunto de posibles valores que hemos considerado inicialmente, mientras que el área sombreada de verde en el inferior izquierdo es lo que resta tras tener en cuenta la no observación de señales de larga duración, pero donde aún asumimos que una montaña ha emitido GWs de acuerdo al modelo específico que hemos probado. Las líneas discontinuas y punteadas corresponden a algunas predicciones teóricas sobre cómo la masa y el radio de una estrella de neutrones podrían estar relacionados entre sí.

Ondas gravitacionales continuas (CWS): Ondas gravitacionales extremadamente débiles pero persistentes que normalmente se espera que procedan de estrellas de neutrones en rotación con pequeñas deformaciones. También buscamos este tipo de señales en muchos púlsares, incluido Vela; y en recientes datos de LIGO encontramos que menos del 1% de la pérdida de la energía que la estrella puede atribuirse a ondas gravitacionales. (Véase [aquí](#)).

Superfluído: Un estado peculiar de la materia en el que el fluido fluye sin viscosidad. ([Wikipedia](#))

Kilohertz: Una frecuencia de oscilación de mil hercios. Para ondas sonoras, esto corresponde a la parte alta del rango audible del oído humano; para las ondas gravitacionales también sería el extremo superior de rango de sensibilidad de los detectores LIGO, lo que dificulta más la detección de señales en comparación con su frecuencia óptima, de unos pocos cientos de hercios.

Cuarto período de observación: Un intervalo de observación donde los detectores de ondas gravitacionales de la red global LIGO-Virgo-KAGRA recopilaron datos entre mayo de 2023 y noviembre de 2025.

LIGO: El Observatorio de ondas Gravitacionales por Interferometría Láser (Laser Interferometric Gravitational-Wave Observatory, LIGO) es un par de detectores de ondas gravitacionales en Estados Unidos. Uno está cerca de Livingston, Luisiana, y otro cerca de Hanford, Washington. Ambos son interferómetros láser con dos brazos perpendiculares de 4km de longitud. ([Wikipedia](#))

MÁS INFORMACIÓN:

Visita nuestras webs:

- www.ligo.org
- www.virgo-gw.eu
- gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/en/ (KAGRA)
- www.iar.unlp.edu.ar (Argentine Institute of Radioastronomy – in Spanish)
- ra-wiki.phys.utas.edu.au UTAS Radio Astronomy Group (Mt. Pleasant Radio Observatory)

Lee una prepublicación gratuita del artículo completo [aquí](#) o en arxiv.

Traducido al español por Irene Prohens Peteracova y Marta Carrión (a partir de la versión original en inglés) y corregida por María Antonia Ferrer Martínez.