

ConCiencia

Joseph D. Romano  
Grupo de trabajo de educación y  
difusión NANOGrav



# Detector de OG de escala galáctica

Este año se cumple un siglo de la teoría general de la relatividad de Einstein; pero los científicos aún intentan detectar las ondas evasivas en el espacio-tiempo, llamadas ondas gravitacionales (OG) predichas en esta teoría.

**M**ediante un monitoreo preciso de los *tictacs* (golpeteos) de los relojes naturales más exactos (los pulsares), los científicos esperan detectar las ondas en el espacio-tiempo (ondas gravitacionales) producidas por algunos de los eventos más extremos en el Universo. En este artículo te describiremos una demostración que utiliza metrónomos y un micrófono, para ilustrar como hacer esta detección.

Aun cuando hay fuerte evidencia (aunque indirecta) de que las OG existen, no han sido detectadas directamente. Los sutiles efectos que estas producen en el espacio a través del cual viajan son casi imperceptibles, incluso para los eventos astrofísicos más potentes que suceden en el Universo. Por ejemplo: explosiones estelares o la fusión de los conocidos hoyos negros masivos que yacen en los centros de las galaxias. Sin embargo, los frutos de ubicar las OG llegarían a ser más que significativos, ya que proporcionarían a los astrónomos una nueva forma de observar el Universo complementaria a los métodos tradicionales que utilizan diferentes formas de luz, como la luz visible, la infrarroja, los rayos x o gamma, entre otras.



## Cronometraje de pulsares

Los científicos alrededor del mundo intentan aprovechar los relojes más exactos de la naturaleza (los pulsares) para detectar las OG. Un pulsar es básicamente una estrella de neutrones: un gigantesco núcleo atómico con una masa que equivale a la del Sol y con un diámetro equivalente al de una ciudad. Un pulsar posee un potente campo magnético (miles de millones de veces más potente que el de la Tierra) y que gira rápidamente (decenas de miles de veces por segundo, algo parecido a la velocidad de una licuadora casera).

Muchos pulsares emiten un destello de ondas de radio muy estrecho que atraviesa el cielo, de forma similar a la proyección de la luz desde lo alto de un faro marino. Si este destello de radio se cruza entre nuestra línea de visión y el pulsar, un radiotelescopio en la Tierra observará pulsos de radiación, los cuales se pueden considerar como *tictacs* de un gigantesco reloj astronómico cuya regularidad supera a la de cualquier reloj hecho por el hombre.

Cuando llegan los *tictacs*, por medio de un monitoreo preciso, los astrónomos pueden determinar el periodo de rotación del pulsar, ya sea que dicha rotación aumente o disminuya, o si es que el pulsar está en una órbita alrededor de una estrella compañera, etcétera. La diferencia entre los momentos de llegada medidos y los momentos de llegada esperados (considerando todos estos efectos) es llamada: faltante temporal. Estos "faltantes" apuntan a una dispersión aleatoria (el tipo de ruido típico que plaga las mediciones), a menos que suceda una influencia adicional a los momentos de llegada.

Las OG son un ejemplo de dicha influencia. Cuando una OG estira o comprime el espacio entre la Tierra y un pulsar, provoca que los radio-pulsos lleguen (ya sea un poco antes o después de lo esperado). Estas diferencias en los tiempos de llegada se muestran en los faltantes temporales de modo similar al ruido medido; pero, en este caso, teniendo una importancia considerablemente mayor.

El ruido medido para un pulsar es independiente del ruido medido para cualquier otro pulsar. En contraste, una OG presenta una "tendencia común" o una "relación" en el grupo de faltantes temporales. En otras palabras, los faltantes temporales para un grupo de pulsares serán correlacionados en una forma que no puede obedecer a ruido aleatorio alguno. Esta es la manera en la que un conjunto de cronometraje de pulsares (CCP en español) puede distinguir a las OG del ruido; y por ende, puede funcionar como un detector de OG a escala galáctica.

## Metronomos y micrófonos

Para ilustrar, en términos más simples, como trabaja un CCP para que tanto estudiantes como el público en general lo comprendan llevamos a cabo, recientemente, una práctica utilizando dos metronomos y un micrófono que funciona como un análogo acústico de CCP. Los dos metronomos juegan el papel de los pulsares; mientras que el micrófono juega el papel del radiotelescopio en la Tierra: el movimiento del micrófono en relación con los metronomos simula el tránsito de una OG cerca de la Tierra.

La analogía no es perfecta: el movimiento del micrófono no es ningún tipo de onda; pero cambia los tiempos de llegada de los pulsos del metrónomo debido a la distancia cambiante entre el micrófono y los metrónomos. Más aún, el movimiento del micrófono induce las correlaciones en los faltantes temporales de manera diferente a aquellas que se deben a las OG; pero lo verdaderamente importante de todo esto es que existen correlaciones.


Para ayudar en la demostración desarrollamos algunos programas de computación en forma de interfaces de uso gráfico, lo que nos permite: a) grabar y reproducir los pulsos de los metrónomos; b) estimar el periodo de pulsación (el tiempo entre pulsos sucesivos) y la forma del pulso; c) calcular los faltantes temporales restando los tiempos de llegada esperados de los tiempos de llegada medidos; y, d) calcular la correlación entre un par de faltantes temporales medidos.

Iniciamos la demostración llevando a cabo a, b y c para los metrónomos individuales, operando por separado (con diferentes *tictacs* por minuto) y sin mover el micrófono. Después, llevamos a cabo a, c y d para los dos metrónomos, operando simultáneamente y con el micrófono oscilando en un pequeño círculo. Repetimos el análisis del doble metrónomo varias veces: colocando los dos metrónomos en diferentes posiciones relativas entre ellos, pero siempre relacionándolos para determinar la forma en la que la correlación entre los faltantes temporales cambia, así como la medida en la que cambia el ángulo entre los metrónomos.

Si el escenario no es muy ruidoso y la demostración se da tal como fue planeada (algunas veces no es así) debemos encontrar que si los dos metrónomos se ubican uno al lado del otro, entonces los dos grupos de faltantes temporales estarán perfectamente correlacionados (en sincronía uno con el otro); pero si los dos metrónomos están a  $180^\circ$  de distancia (en lados opuestos de un círculo), entonces, los dos grupos de faltantes temporales estarán desplazados de tal forma en la que la cresta de uno esté alineada con el valle del otro.

En el caso de ángulos intermedios los dos grupos de faltantes temporales estarán desplazados nuevamente; pero no tanto como en los casos de  $180^\circ$ . Al hacer esta demostración estamos llevando a cabo de forma efectiva los mismos tipos de análisis con información de metrónomos que los astrónomos emplean con la información del ritmo real de los pulsares.

## Conclusión

Las analogías son útiles ya que nos ayudan a entender nuevas ideas por medio de conceptos familiares. La demostración metrónomo-micrófono es una analogía acústica que ilustra la forma en la que los científicos están utilizando los *tictacs* (pulsos) de un grupo de pulsares en nuestra galaxia en búsqueda de OG. Ojalá que para el final de esta década los científicos hayan hecho las primeras detecciones, así que... ¡manténganse informados! 

## Referencias

nanograv.org  
ipta4gw.org  
nanograv.org/outreach/ptdemo