

El Universo en mi bolsillo

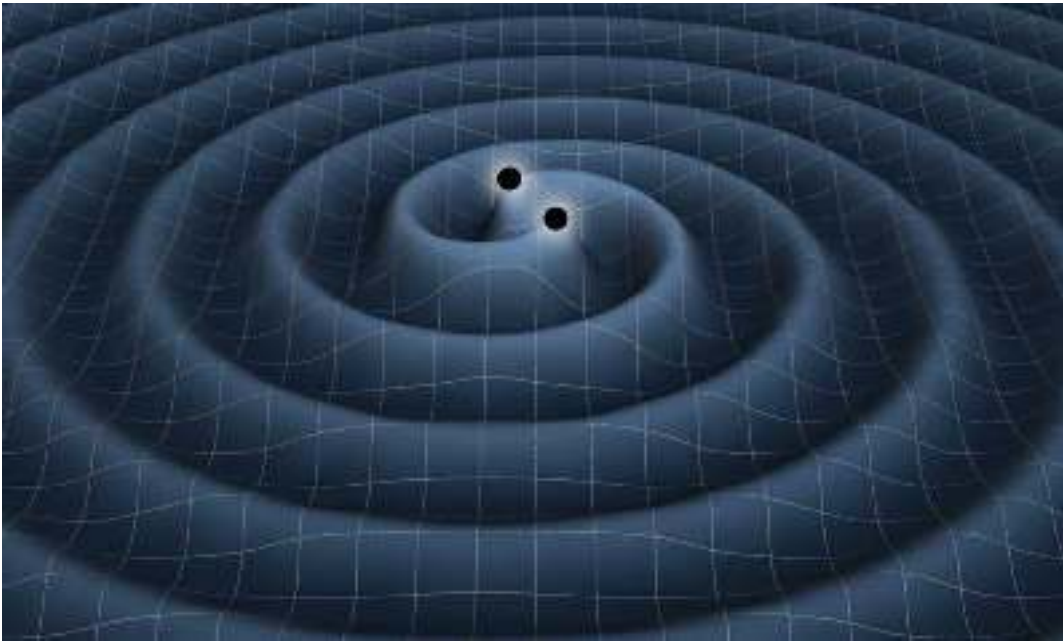


Ondas gravitacionales



Laura Bernard y
Alexandre Le Tiec
Observatorio de París

Representación artística de dos agujeros negros orbitando uno alrededor del otro por el efecto de su atracción gravitatoria mutua. Su movimiento orbital genera ondas gravitacionales.



[Crédito: NASA]

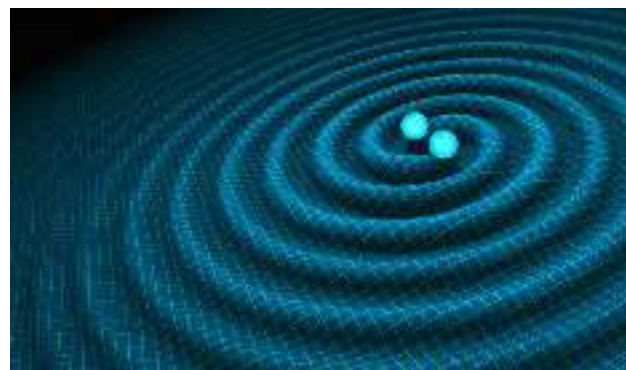
¿Qué son?

Las ondas gravitacionales son **pequeñas vibraciones** en la **estructura del espacio-tiempo** que se propagan a la velocidad de la luz. Son ondas transversales, lo que significa que el desplazamiento del espacio-tiempo es perpendicular a la dirección de propagación.

Fueron predichas por la **relatividad general**, la teoría de la gravitación formulada por Albert Einstein en 1915.

La primera prueba indirecta de su existencia fue la observación de Hulse y Taylor en 1974 de su efecto sobre el periodo orbital de un par de estrellas de neutrones.

La primera **detección instrumental** de una onda gravitacional se realizó en 2015 con los detectores **LIGO**. Esta onda gravitacional procedía de la fusión de dos agujeros negros de unas treinta masas solares cada uno.



Representación de un par de estrellas de neutrones.
[Crédito: R. Hurt/Caltech-JPL]

Representación artística de un par de estrellas enanas blancas.
[Crédito: ESO]



Vista artística de una estrella de neutrones aislada.
[Crédito: NASA]

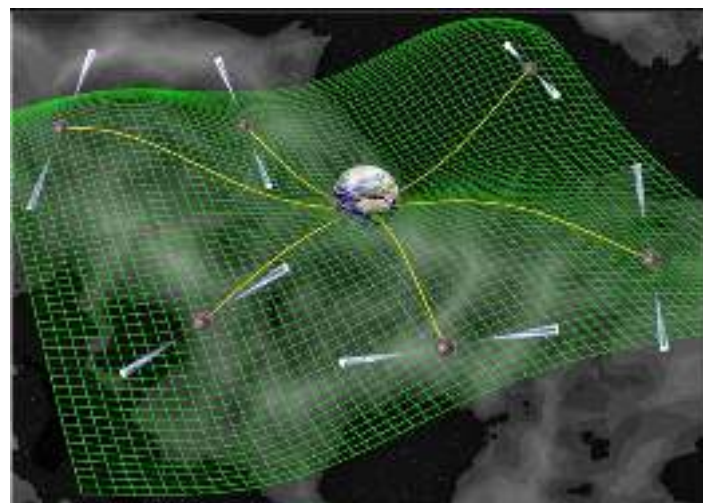


Vista artística de una supernova de tipo Ia. [Crédito:ESO]

Fuentes locales

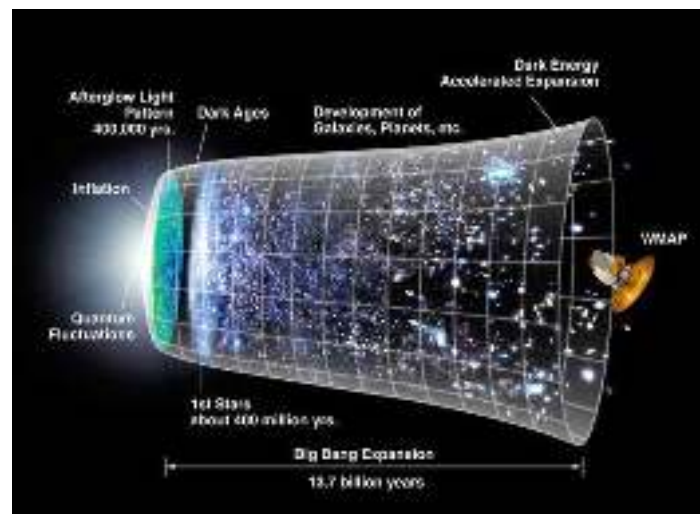
Las principales fuentes de ondas gravitacionales son las estrellas masivas y compactas (véase TUIMP n.º 9), como los agujeros negros, las estrellas de neutrones y las enanas blancas, solas o en parejas. Pueden distinguirse las siguientes fuentes localizadas:

- **Sistemas binarios de objetos compactos** galácticos o extra-galácticos, como agujeros negros o estrellas de neutrones, cayendo en espiral y fusionándose;
- **Estrellas enanas blancas binarias** en la Vía Láctea;
- **Estrellas de neutrones aisladas**, ligeramente asimétricas y en rotación, en la vecindad galáctica;
- **Explosión de estrellas masivas** (supernovas) en nuestra galaxia, formando estrellas de neutrones o agujeros negros.



[Crédito: D. J. Champion]

Representación de un conjunto de púlsares. Cada línea de visión a un púlsar actúa como un brazo del interferómetro con el que se mide el paso de una onda gravitatoria.



[Crédito: NASA]

Representación de la expansión del Universo desde el periodo de inflación hasta nuestros días.

Fuentes difusas

Cuando las ondas gravitacionales generadas por un gran número de fuentes localizadas se superponen, ya no pueden distinguirse unas de otras. El resultado es un **fondo estocástico astrofísico**.

Además, varios fenómenos físicos más especulativos producidos poco después del Big Bang (véase TUIMP n°12) podrían generar un **fondo estocástico cosmológico**:

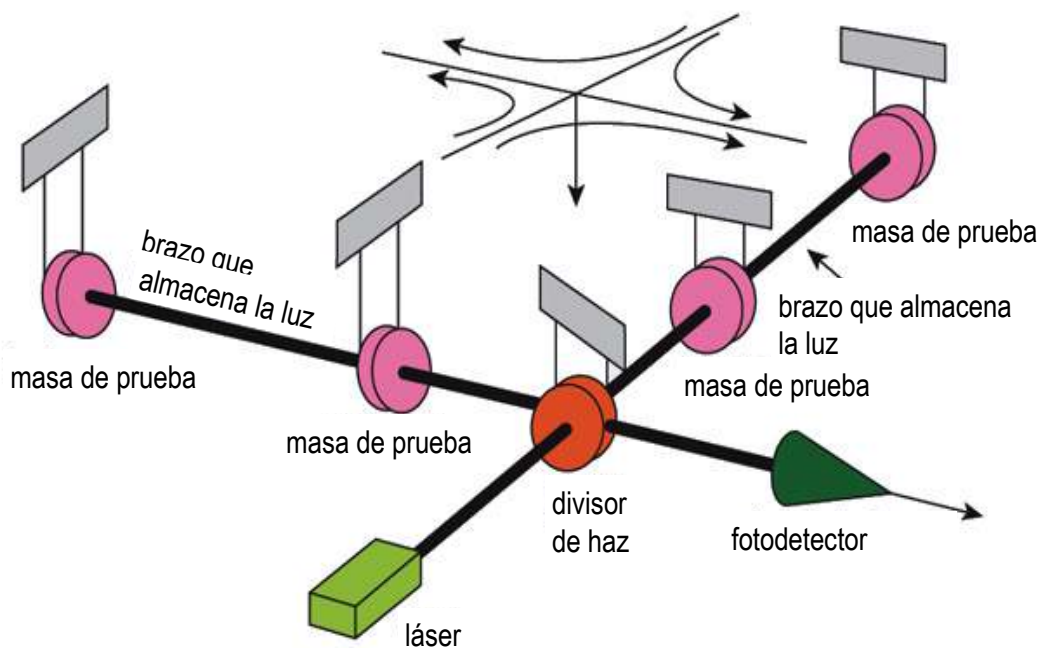
- **cuerdas cósmicas**, resultado de un cambio de estado repentino en el contenido energético y material del Universo primordial;
- **agujeros negros primordiales**, que se cree que se formaron como resultado de grandes fluctuaciones en la densidad de energía del Universo primitivo;
- **inflación**, un período de rápida expansión cósmica que tuvo lugar una fracción de segundo después del Big Bang.



El detector Virgo
en Cascina, cerca
de Pisa (Italia).



El detector
LIGO en
Livingston
(Luisiana,
EE.UU.).



Esquema de funcionamiento de un detector interferométrico de ondas gravitacionales.

Detectores actuales

[illegible]

Hay cuatro detectores en funcionamiento:

- los dos instrumentos **LIGO** en Estados Unidos (en Livingston y Hanford);
- el observatorio franco-italiano **Virgo**, cerca de Pisa (Italia);
- el detector **KAGRA** en Japón.

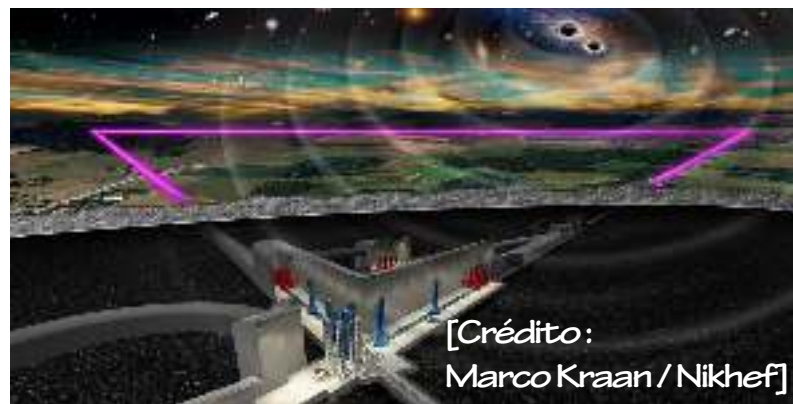
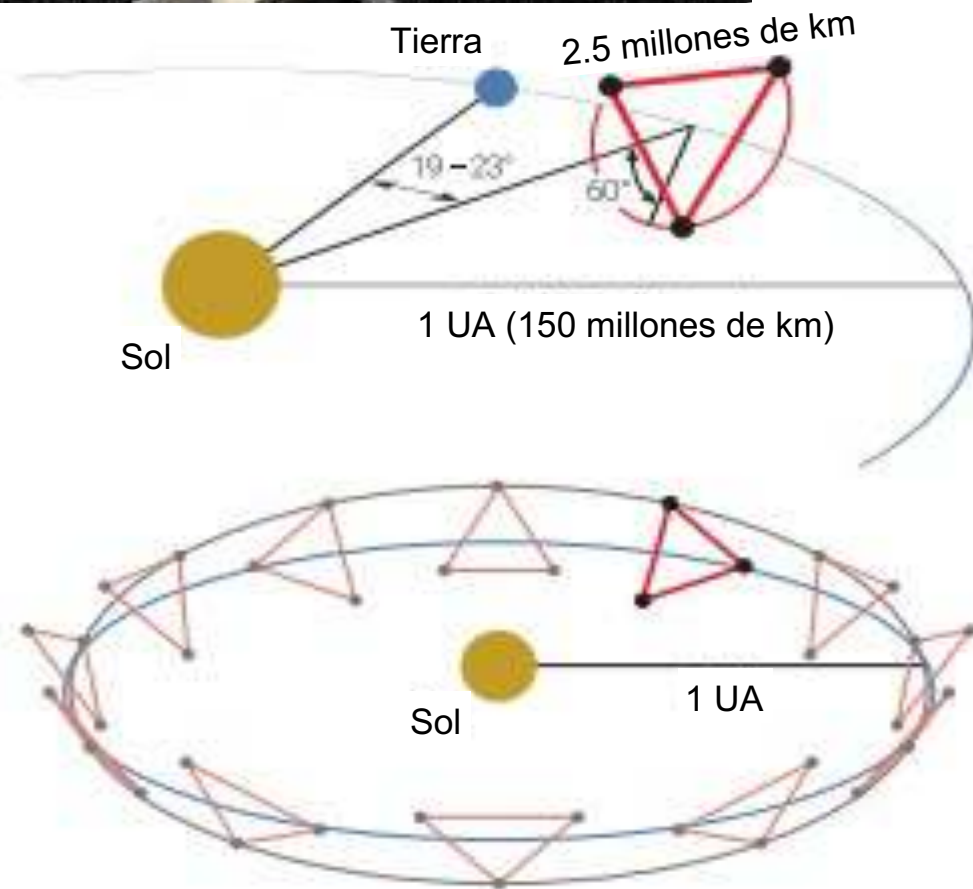


Imagen del detector Einstein, un futuro telescopio europeo.



El futuro detector espacial LISA. Los tres satélites en configuración triangular siguen la órbita terrestre.

Futuros detectores

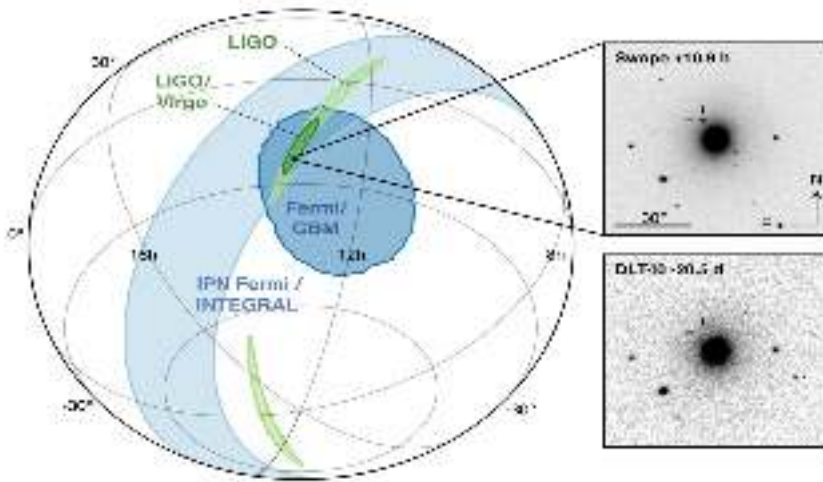
Como continuación de los detectores existentes, la Unión Europea planea construir el **Telescopio Einstein**, un nuevo observatorio de ondas gravitacionales. Tendrá una configuración triangular, un mayor aislamiento de las vibraciones, porque se colocará bajo tierra, y tecnología de refrigeración criogénica para los espejos.

La Agencia Espacial Europea está desarrollando **LISA**, un detector de ondas gravitacionales espacial, para eliminar perturbaciones terrestres como el ruido sísmico. Constará de tres satélites separados entre sí varios millones de kilómetros, lo que le permitirá observar fuentes especialmente masivas, complementarias a las que se ven desde la Tierra.

Astronomía multimensajero

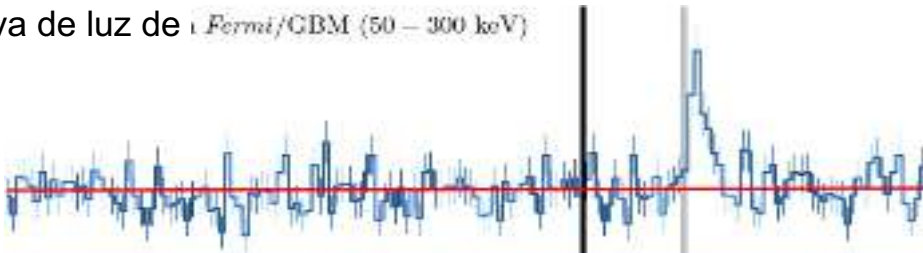
En agosto de 2017 se observó por primera vez la fusión de dos estrellas de neutrones. Casi simultáneamente, **LIGO** y **Virgo** midieron la señal de ondas gravitacionales emitida cuando los dos cuerpos compactos entraron en espiral, y el satélite **FERMI** detectó la explosión de rayos gamma (véase TUI MP n.º 9) resultante de su fusión. En los días siguientes, numerosos telescopios observaron las distintas emisiones electromagnéticas (visible, infrarrojo, radio, etc.) del evento.

Esta observación histórica inauguró lo que se conoce como astronomía **multi-mensajero**, en la que no sólo se detectan ondas electromagnéticas, sino también ondas gravitacionales y partículas de alta energía. Esto llevó a varios avances, confirmando que las ondas gravitacionales se propagan a la velocidad de la luz, que existe una relación entre las explosiones cortas de rayos gamma y la fusión de las estrellas de neutrones, y que este es el mecanismo de síntesis del oro.

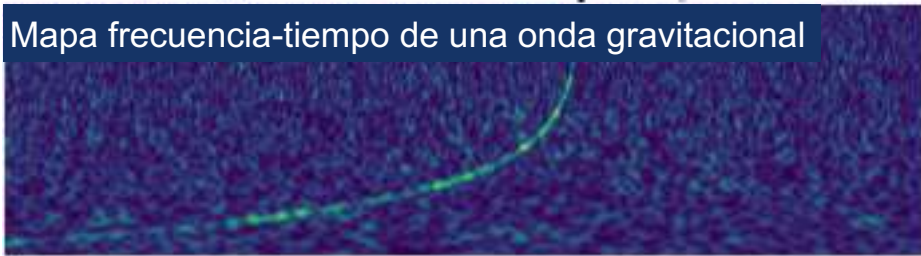


La señal de rayos gamma observada por FERMI y la posición de la fuente predicha por LIGO-Virgo (en verde) [Créditos: LIGO-Virgo, FERMI].

Curva de luz de *Fermi*/GBM (50 – 300 keV)



Mapa frecuencia-tiempo de una onda gravitacional



Señales de la fusión de dos estrellas de neutrones: arriba, rayos gamma; abajo, aumento de la frecuencia de la onda gravitatoria.

[Créditos: LIGO-Virgo, FERMI]

12

13



Test



La nebulosa planetaria IC 418

Crédito: HST



Impresión artística de una supernova

Respuestas

Todos estos objetos son (o han sido) fuentes de ondas gravitacionales, a excepción de la nebulosa planetaria.

¿Cuáles de estos objetos no emiten ondas gravitacionales?

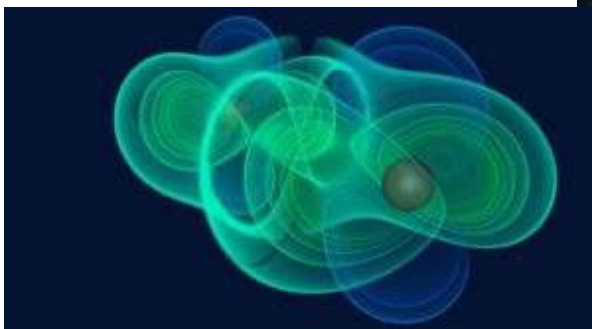
La nebulosa del Cangrejo, un remanente de supernova.
Crédito: HST

Visión artística de una estrella de neutrones

Representación de un sistema binario de agujeros negros

MPI de Física Gravitacional /
Instituto de Física Teórica de
Fráncfort / Instituto Zuse de Berlín

Respuestas al dorso



El Universo en mi bolsillo N° 18

Este librito ha sido escrito por Laura Bernard y Alexandre Le Tiec, del Observatorio de París (Francia).

Imagen de portada: Simulación numérica de un par de agujeros negros y visualización de las ondas gravitacionales generadas cuando se fusionan [crédito: Michael Koppitz/Albert Einstein Institute].



Para saber más sobre esta colección y los temas presentados en este librito, visite <http://www.tuimp.org>.

Traducción: Mónica Rodríguez
TUIMP Creative Commons

