

Recreación de ondas gravitacionales procedentes de un choque entre agujeros negros. Foto: NASA

## Detectadas ondas gravitacionales

*El experimento LIGO abre una nueva ventana al Universo con la primera observación directa de ondas gravitacionales, ondulaciones del espacio-tiempo predichas por la teoría de la relatividad general de Einstein hace 100 años. El grupo de Relatividad y Gravitación de la UIB, miembro del CPAN, es el único en España que participa en LIGO.*

Las ondas gravitacionales fueron detectadas el 14 de septiembre de 2015 por los dos detectores gemelos del Observatorio por Interferometría Láser de Ondas Gravitacionales (LIGO, por sus siglas en inglés), ubicados en Livingston y Hanford (EE.UU.), separados más de 3.000 kilómetros. El descubrimiento, publicado en *Physical Review Letters*, fue realizado por la colaboración científica LIGO (que incluye la Colaboración GEO600 y el Australian Consortium for Interferometric Gravitational Astronomy) y la colaboración Virgo.

Las ondas gravitacionales llevan consigo información acerca de sus dramáticos orígenes y sobre la naturaleza de la gravedad que no puede obtenerse de otra manera. El equipo de LIGO ha llegado a la conclusión de que las ondas gravitacionales detectadas fueron producidas durante la última fracción de segundo de la fusión de dos agujeros negros para producir un solo agujero negro más masivo en rotación. Esta colisión

de dos agujeros negros había sido predicha, pero nunca antes había sido observada.

De acuerdo con la relatividad general, una pareja de agujeros negros orbitando pierde energía mediante la emisión de ondas gravitacionales, produciendo un acercamiento gradual durante

***La onda gravitacional detectada por LIGO el 14 de septiembre procede de la energía liberada en el choque de dos agujeros negros masivos a millones de años luz de la Tierra***

miles de millones de años. Durante la última fracción de segundo, los dos agujeros negros chocan a casi la mitad de la velocidad de la luz y forman un único agujero negro más masivo, convirtiendo una parte de la masa de ambos en energía que se emite como una explosión final de ondas gravitacionales. Basándose en la física del choque, el equipo de

LIGO estima que la masa de los agujeros negros de este evento era 29 y 36 veces mayor que la del Sol, y que el evento tuvo lugar hace 1.300 millones de años. Una masa aproximadamente 3 veces mayor que la del Sol se convirtió en ondas gravitacionales en una fracción de segundo, con una potencia pico de unas 50 veces la de todo el Universo visible. Estas son las ondas gravitacionales que observó LIGO.

El descubrimiento fue posible por las capacidades mejoradas de *Advanced LIGO*, una importante actualización que aumenta la sensibilidad de los primeros detectores LIGO. En cada observatorio, los interferómetros LIGO, de 4 kilómetros de largo en forma de L, utilizan luz láser separada en dos haces para controlar la distancia entre espejos posicionados de forma muy precisa en los extremos. De acuerdo con la teoría de Einstein, la distancia entre los espejos cambiará una cantidad infinitesimal, del orden de la diezmilésima parte del diámetro de un protón ( $10^{-19}$ ), cuando una onda gravitacional pase por el detector. Sin embargo, se necesitan observatorios independientes y muy separados para determinar la dirección del evento que causa las ondas gravitacionales. LIGO acaba de abrir una nueva ventana para estudiar el cosmos.



### Participación española

*La colaboración científica de LIGO la forman más de 1.000 científicos de 15 países. El grupo de Relatividad y Gravitación de la Universidad de las Islas Baleares (en la foto) es el único español que ha participado en este histórico descubrimiento a través de la colaboración científica LIGO y GEO. Este grupo participa en LIGO desde 2002, aunque una de sus responsables, Alicia Sintés, intervino en la puesta en marcha de la colaboración*

*en 1997. Además, Alicia Sintés y Sascha Husa forman parte del Consejo de LIGO. Entre las tareas de este grupo de investigación en LIGO está la elaboración de un catálogo de simulaciones de colisiones de agujeros negros para poder comparar con las detecciones de LIGO. Otros miembros del grupo buscan señales procedentes de púlsares desconocidos (estrellas de neutrones en rotación), que aportarían valiosa información sobre la materia en el interior de las estrellas de neutrones. MÁS INFORMACIÓN EN PAG. 3 / ENTREVISTA EN PAG. 4.*

# El CNA, en un estudio mundial de medidas de radiocarbono

El laboratorio de radiocarbono del Centro Nacional de Aceleradores (CNA, Universidad de Sevilla-Junta de Andalucía-CSIC) ha participado en un proyecto a nivel mundial llamado SIRI, del inglés *Sixth International Radiocarbon Intercomparison*. Este proyecto consistió en un ejercicio de comparación a nivel internacional con muestras de radiocarbono en el que han participado un gran número de laboratorios de todo el mundo. Tuvo lugar entre 2013 y 2014, cuando distintas muestras fueron repartidas entre laboratorios con sistemas de espectrometría de masas con acelerador y laboratorios radiométricos. El objetivo de este trabajo era revisar los procedimientos empleados en cada laboratorio y comparar los resultados obtenidos en cada uno de ellos. De este modo se puede

controlar la fiabilidad de los resultados obtenidos a la hora de datar muestras, pudiéndose comprobar si los resultados concuerdan con los de los de los restantes laboratorios participantes.

En el caso del CNA, se aprovechó para hacer las muestras por duplicado y medirlas en los dos sistemas de medida de radiocarbono de los que se dispone el centro de investigación andaluz, tanto en SARA (*Spanish Accelerator for Radionuclide Analysis*), de 1 millón de voltios, como en Micadas (*Miniradiocarbon Dating System*), de 0,2 millones de voltios, para obtener a su vez una comparativa interna de los dos sistemas. La comparativa entre Micadas y SARA ha servido para confirmar que en ambos sistemas se pueden obtener resultados análogos, es decir, ambos sistemas dan resultados comparables.



## Consolidator Grant del ERC para recrear la 'cocina' de las estrellas

El investigador César Domingo Pardo, del Instituto de Física Corpuscular (IFIC, CSIC-UV), ha recibido una *Consolidator Grant* del *European Research Council* (ERC) para reproducir en el laboratorio la formación de elementos pesados en las estrellas. El proyecto, que se llevará a cabo los próximos cinco años en el IFIC y el experimento  $n_{TOF}$  del CERN, desarrollará un innovador sistema de detección para producir y medir por primera vez reacciones inducidas por neutrones en isótopos radiactivos, creando un 'termómetro' que permitirá desvelar la temperatura en el interior de las estrellas gigantes rojas cuando forman los elementos de la tabla periódica más pesados que el hierro.

El estudio reproducirá reacciones nucleares inducidas por neutrones en isótopos radiactivos, procesos similares a los que suceden en el interior

de estrellas del tipo 'gigantes rojas'. En esta fase de evolución estelar juega un papel fundamental la captura neutrónica, por la que los núcleos del interior de la estrella absorben neutrones para formar núcleos más pesados. Midiendo estas reacciones en laboratorio se extrae información de las condiciones físicas del medio estelar, como la temperatura a la que se producen los elementos más pesados que el hierro. El proyecto desarrollará un nuevo sistema de detección de la radiación que permitirá seleccionar con alta precisión y gran sensibilidad los procesos de captura de neutrones.

En 2015 se presentaron más de 2.000 solicitudes, de las que solo se financiaron un 15%. En España se han concedido 18 de los 302 proyectos aprobados, siendo el de César Domingo el único en Física Fundamental y Constituyentes de la Materia.

## Divulgación

### Último mes para el concurso del CERN 'Beamline for Schools'

El 31 de marzo finaliza el plazo para inscribirse en el tercer concurso 'Beamline for Schools', una iniciativa internacional donde grupos de estudiantes de secundaria pueden realizar un experimento en el mayor laboratorio de física de partículas del mundo, el CERN. Pueden participar equipos de al menos 5 estudiantes de 16 años o más con al menos un supervisor adulto. Los equipos registrados tienen hasta el 31 de marzo para enviar su propuesta de experimento, consistente en un texto de 1.000 palabras y un vídeo de un minuto (en inglés). En junio de 2016, el CERN anunciará una lista de entre 10 y 20 equipos finalistas, de entre los que se elegirá uno o dos equipos ganadores. Los ganadores viajarán al CERN en septiembre de 2016 para realizar el experimento propuesto. Más información: <http://beamline-for-schools.web.cern.ch/>

## Agenda/Convocatorias

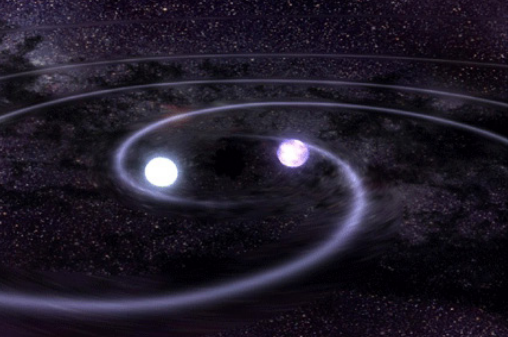
➤ **Rencontres de Moriond.** Un año más vuelve este clásico de la física de altas energías. Con más de medio siglo de vida, este encuentro en la localidad italiana de La Thuile (Alpes) es el primer gran meeting del año para discutir las principales novedades en física de partículas, cosmología y QCD. Del 12 al 26 de marzo. <http://moriond.in2p3.fr/>

➤ **XLIV International Meeting on Fundamental Physics.** El 'clásico' español en física de altas energías cumple 43 años. Cubre un amplio abanico de temas, desde la física experimental de partículas hasta física de astropartículas, neutrino, cosmología, física teórica... Se celebra en la sede del IFT de Madrid, del 4 al 7 de abril. <https://workshops.ift.uam-csic.es/IMFP16>

➤ **Convocatoria Retos-Colaboración.** Para proyectos en cooperación entre empresas y organismos de investigación. Hasta el 7 de marzo. Más información en la web de la Secretaría de Estado de I+D+i (MINECO).

### Oficina CPAN

INSTITUTO DE FÍSICA CORPUSCULAR (IFIC, CSIC-UV)  
PARQUE CIENTÍFICO UNIVERSIDAD DE VALENCIA  
C/ CATEDRÁTICO JOSÉ BELTRÁN, 2  
46980 - PATERNA (VALENCIA)  
EMAIL: [comunicacion@i-cpan.es](mailto:comunicacion@i-cpan.es)  
Tlf: 96 354 48 46 // [www.i-cpan.es](http://www.i-cpan.es)



Secuencia del choque entre dos estrellas. Imagen: NASA.

# Buscan neutrinos asociados a 'GW150914'

**Las colaboraciones LIGO/VIRGO, ANTARES y IceCube publican los primeros resultados de la búsqueda conjunta de neutrinos procedentes del choque de dos agujeros negros cuya onda gravitacional detectó LIGO. Se trata de dos nuevas formas de estudiar el cosmos.**

La detección de ondas gravitacionales es el acontecimiento científico del año. Este hito fue logrado por el experimento LIGO, que el 14 de septiembre de 2015 registró una onda gravitacional producida por la colisión de dos agujeros negros masivos a 1.300 millones de años luz (ver página 1). Sin embargo, para determinar exactamente dónde se produjo esta colisión, LIGO necesita más información. La vía tradicional es mediante telescopios ópticos que colaboran con LIGO. Pero también se puede estudiar el cielo utilizando no luz, sino neutrinos, como hacen los telescopios IceCube (en la Antártida) y ANTARES (en el Mediterráneo). Se publican ahora los primeros resultados de la búsqueda conjunta de neutrinos procedentes del choque cuya onda gravitacional detectó LIGO.

La ventaja de observar el universo con neutrinos es que esta partícula elemental, que apenas tiene masa y no tiene carga eléctrica,

viaja directamente hasta nosotros desde que se produce sin apenas interactuar con el resto de materia. Contiene información de primera mano del suceso que la ha originado, al igual que las ondas gravitacionales. Se trata de dos nuevas maneras de estudiar el cosmos.

**Al igual que las ondas gravitacionales, la ventaja de estudiar el universo con neutrinos es que contienen información de primera mano del suceso que los ha originado**

Sin embargo, para determinar con exactitud el lugar del cosmos donde se produjo la colisión entre esos dos agujeros negros, LIGO necesita más información que la aportada por sus dos detectores, separados más de 3.000 kilómetros en los EE.UU. Esta información se la proporciona una

red de telescopios ópticos y los dos telescopios de neutrinos citados. Cuando LIGO alerta de la detección de la onda gravitacional, los telescopios ópticos apuntan a la región del cielo señalada para detectar otros restos de la colisión. IceCube y ANTARES no tienen que 'apuntar' sus telescopios, puesto que observan todo el cielo continuamente. Intentan buscar neutrinos simultáneos a la onda gravitacional del evento GW150914. El análisis de LIGO sólo puede acotar el origen de esta onda en unos 600 grados cuadrados (el cielo tiene unos 40.000 grados cuadrados), mientras que la precisión de ANTARES o IceCube es de un grado cuadrado. Sin embargo, como publican las tres colaboraciones, no se detectó un número de sucesos por encima de lo esperado. "Estas nuevas ventanas al cosmos no solo complementan a los mensajeros clásicos, sino que se complementan entre ellas", resume Juan de Dios Corzo, investigador del Instituto de Física Corpuscular (IFIC, CSIC-UV) miembro de ANTARES. "Aunque no se haya observado esta correlación en este caso, esto es sólo el principio y esperamos nuevas ondas gravitacionales para estudiar".



## Claves del proyecto

- SESAME es un sincrotrón de tercera generación que se construye en Jordania. Participan varios países de la región: Barein, Chipre, Egipto, Israel, Jordania, Pakistán, Palestina y Turquía.
- El CERN apoya el proyecto desde sus inicios.
- Mediante el proyecto europeo CESSAMag se construyeron los imanes para el acelerador de SESAME. España ha contribuido en este proyecto global fabricando parte de los imanes cuadrupolos y probándolos en el sincrotrón ALBA de Barcelona.
- Se espera que SESAME comience a finales de 2016.

## España contribuye a SESAME, sincrotrón de Oriente Medio

**Salen del CERN los imanes para la primera instalación científica de su tipo en la región. Parte se han fabricado y probado en España.**

A principios de febrero partieron de la sede del CERN en Ginebra (Suiza) los imanes de SESAME, un sincrotrón de tercera generación que se construye en Jordania. Esta instalación, única en su género en la región, es el primer proyecto científico que reúne a varios países de Oriente Medio: Barein, Chipre, Egipto, Israel, Jordania, Pakistán, la Autoridad Palestina y Turquía. El proyecto, concebido por el premio Nobel paquistaní Abdus Salam en los años ochenta, cuenta con un apoyo importante del CERN desde sus comienzos, así como de otros laboratorios y países del mundo, entre ellos España.

La producción de imanes y fuentes de alimentación para SESAME se ha realizado con el proyecto CESSAMag, con financiación del 7º Programa Marco Europeo. Se han construido 17 imanes dipolos, 66 cuadrupolos y 66 sextupolos. CESSAMag ha sido un verdadero proyecto

internacional: la mitad de los imanes sextupolos se produjo en Chipre, mientras los 33 restantes fueron donados por Pakistán. Algunos de sus componentes se produjeron en Francia. Israel produjo 79 fuentes de alimentación. Turquía proporcionó 280 bobinas para los imanes cuadrupolos (en la imagen) que fueron construidos en España por ELYTT Energy. Los dipolos proceden del Reino Unido, y sus fuentes de alimentación de Italia. Suiza proporcionó controladores y fuentes de alimentación. El CERN proporcionó las especificaciones de los componentes y coordinó la producción de los imanes, que se testaron en el sincrotrón ALBA de Barcelona.

Los imanes llegarán a Jordania a mediados de marzo. La instalación se realizará durante el verano, y el comisionado de los primeros haces se prevé para el último trimestre de 2016.

# “La detección de ondas gravitacionales abre una nueva ventana al Universo”

*Las fotos de estrellas y galaxias y la ‘Historia del tiempo’ de Hawking llevaron a Ryuichi Fujita (Okayama, 1977) a la Física de Astropartículas. El postdoc del CPAN en el Grupo de Relatividad y Gravitación de la UIB le permitió unir la teoría de las ondas gravitacionales con los datos de experimentos como LIGO.*

**-Pregunta:** ¿Cómo ha sido su trayectoria investigadora?

**-Respuesta:** Desde que era un estudiante de doctorado en la Universidad de Osaka (Japón) he trabajado en la física de las ondas gravitacionales, centrándome en sistemas binarios para entender fenómenos asociados a la gravedad en el régimen de campo fuerte. Después de terminar mi tesis doctoral fui como investigador postdoctoral al Raman Research Institute (India) en 2008. En 2011 comencé un contrato postdoctoral del CPAN en el grupo de Relatividad y Gravitación de la Universidad de las Islas Baleares. Desde septiembre de 2013 soy investigador postdoctoral del grupo de Gravedad del Instituto Superior Técnico (Portugal).

**-P:** ¿Por qué decidió dedicarse a la ciencia? ¿Y por qué a la Física de Astropartículas?

**-R:** Cuando era un niño, me gustaba mirar las fotos de estrellas y galaxias en los libros de astronomía para niños. En el instituto comencé a leer libros de divulgación, incluyendo ‘Breve historia del tiempo’ de Stephen Hawking. Me fascinó la física de astropartículas, y decidí estudiarla en la universidad. Después de terminar la carrera de Física pude ir al grupo de astrofísica de la Universidad de Osaka para estudiar y trabajar en estos temas.

**-P:** Estuvo en el grupo de Relatividad y Gravitación de la Universidad de las Islas Baleares. ¿Cuál fue su trabajo allí?

**-R:** Yo trabajaba en modelos teóricos de fuentes de ondas gravitacionales. Pero, considerando la importancia del análisis de datos para la observación de ondas gravitacionales, comencé a interesarme por la aplicación de esos modelos teóricos al análisis de datos de ondas gravitacionales. El grupo de Relatividad y Gravitación es uno de los mejores de España para esto, puesto que juega un papel importante tanto en el modelado teórico de fuentes de ondas gravitacionales como en el desarrollo de métodos de análisis de datos como miembro de las colaboraciones LIGO, GEO, NINJA-2 y NRAR.



Ryuichi Fujita continúa su investigación en ondas gravitacionales en Lisboa

**-P:** En ese tiempo tuvo un contrato postdoctoral del CPAN. ¿Qué supuso para su carrera científica?

**-R:** Durante el contrato postdoctoral del CPAN trabajé en física de ondas gravitacionales, en modelos teóricos de fuentes de ondas gravitacionales y su aplicación al análisis de datos. Me permitió encontrar mi actual posición investigadora, en el Instituto Superior Técnico de Portugal.

**-P:** ¿Qué opina de la detección de ondas gravitacionales por el experimento LIGO?

**-R:** Es una de las observaciones más importantes e históricas de la ciencia. Me sorprendió que no solo

**-R:** La detección de ondas gravitacionales abre una nueva ventana al Universo. Demuestra la existencia de sistemas binarios de agujeros negros y su fusión, produciendo un agujero negro remanente que gira. También es la primera vez que se comprueba la relatividad general en la gravedad del régimen de campo fuerte de la fusión de dos agujeros negros. LIGO ha medido las masas del sistema binario de agujeros negros, el espín del agujero negro final y la distancia de luminosidad (medida de la distancia de sucesos astrofísicos). Cuando alcance la sensibilidad para la que está diseñado, tres veces mayor que en este primer periodo, LIGO podrá medir estos parámetros con mayor precisión, así como establecer restricciones más fuertes en las teorías modificadas de la gravedad.

**-P:** ¿Podría comparar el sistema de ciencia español con el de otros países?

**-R:** India sería el mejor sitio para encontrar plazas de investigador. El gobierno indio ha creado nuevos centros de investigación, y se pueden encontrar contratos postdoctorales y plazas fijas no solo en estos nuevos centros, sino también en institutos ya existentes. Uno de los problemas en Japón es que no hay becas nacionales para investigadores sénior, solo algunas en institutos de prestigio. Esto complica el regreso para investigadores japoneses en el extranjero. De no haber crisis económica, los sistemas portugués y español serían mejor que el japonés para investigadores sénior, puesto que hay becas nacionales para ellos. Sin embargo, la crisis económica ha reducido las oportunidades para conseguir estas becas en España.

*“Cuando LIGO alcance la sensibilidad para la que está diseñado, tres veces mayor que ahora, podrá medir parámetros de las ondas gravitacionales con mayor precisión”*

detectaron ondas gravitacionales, sino que también las observaron. Podía esperar que los detectores de LIGO obtuvieran una señal de ondas gravitacionales durante su primer periodo de observación tras la actualización, pero no esperaba que obtuvieran mucha información de la fuente, puesto que LIGO aún no ha alcanzado la sensibilidad para la que está diseñado y la señal sería débil. Sin embargo, la primera detección de ondas gravitacionales ha cambiado completamente la situación.

**-P:** ¿Cuál es la importancia de este hallazgo para el estudio del Universo?