

Recreación de una colisión de partículas en el LHC. Imagen: CERN.

Los haces de partículas vuelven al LHC

Marzo es el mes fijado en el calendario para que el mayor acelerador de partículas del mundo vuelva a funcionar. Tras dos años de parada técnica para actualizar sus sistemas y detectores, el LHC vuelve para batir un nuevo récord de energía (13 TeV) que sitúe a los científicos en un nuevo territorio a explorar en la física de partículas.

Los haces de partículas vuelven a circular por el Gran Colisionador de Hadrones (LHC) en marzo. Acaban dos años de intensa actividad del llamado *long shutdown 1* (LS1), tras los cuales el acelerador del CERN está listo para recibir los primeros protones. Las operaciones de mantenimiento han consistido básicamente en reforzar las interconexiones entre imanes y el sistema eléctrico en todo el circuito del acelerador. También se ha realizado el mantenimiento de toda la infraestructura e instrumentación, como la protección de la electrónica situada en túnel del LHC. El reto de las primeras semanas de funcionamiento del LHC consistirá en adecuar los haces y los parámetros de operación para conseguir colisiones en intervalos de 25 nanosegundos, lo que aumentará en un factor dos la frecuencia de cruce de haces que se alcanzó durante el primer periodo de funcionamiento del LHC o Run 1. Esto tiene una gran repercusión para los experimentos, ya que permitirá alcanzar una alta luminosidad integrada (medida del número de colisiones) manteniendo el número de colisiones múltiples por cruce (*pile-up*) en valores razonables. Todas estas actividades han tenido en cuenta no

Científicos y técnicos españoles han contribuido a la mejora de los experimentos y sistemas de datos del LHC

solo el siguiente ciclo de funcionamiento del LHC, Run 2, sino también su futura mejora, conocida como *High Luminosity LHC* (HL-LHC), prevista para 2020.

Además del acelerador, se han realizado operaciones de mantenimiento en los experimentos. Tanto ATLAS como CMS han instalado nuevas cámaras de muones (los detectores situados en la parte más externa). Ambos han realizado mejoras en el sistema de detección de vértices de colisiones que permitirán detectar y separar vértices principales en el nuevo entorno, en el que se producirán hasta 60 colisiones simultáneas en cada cruce de haces. También se ha trabajado en la mejora del sistema de selección de sucesos (*trigger*), en el *software* de reconstrucción y

en la optimización del sistema de computación, el GRID. Investigadores y técnicos españoles han participado tanto en el mantenimiento y mejora de los detectores como en las mejoras en *software* y *computing*. 200 investigadores y técnicos españoles trabajan en el LHC y sus principales experimentos, coordinados en el Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN).

Operaciones del LS1

- 24 meses de duración, 1,5 millones de horas de trabajo, 300 personas involucradas.
- Refuerzo de 10.170 interconexiones entre imanes para permitir corrientes de 11.000 A.
- 18 imanes superconductores reemplazados.
- Más de 1.000 kilómetros de cables instalados.
- Haces de partículas compuestos por paquetes con menos protones pero más seguidos en el tiempo (cada 25 nanosegundos).
- 400.000 test en los sistemas eléctricos para resistir la radiación.
- Colisiones a 13 TeV, en lugar de 8 TeV.
- De las 40 millones de colisiones por segundo se esperan guardar 1.000, más del doble.

Objetivos de Física del Run 2

- Producción y estudio del bosón de Higgs.
- Búsqueda de partículas exóticas, entre las que destacan las supersimétricas (réplicas pesadas de las partículas que conocemos).
- Búsqueda de materia oscura.
- Dimensiones extra.
- Estudios sobre antimateria y plasma de quarks y gluones (estado primigenio de la materia instantes después del Big Bang).

El Modelo Estándar, cada vez más preciso

El experimento COMPASS del CERN publicó en *Physical Review Letters* una medida fundamental sobre la interacción fuerte, una de las cuatro fuerzas fundamentales que mantiene unidos a los quarks dentro de protones y neutrones, y a ambos dentro del núcleo. Unas partículas llamadas piones, hechas de un quark y su antipartícula, transmiten esa interacción. La teoría de la interacción fuerte, llamada QCD, hace predicciones precisas de una propiedad llamada polarizabilidad (en inglés *polarizability*), el grado en que la forma de los piones puede ser distorsionada. Esta propiedad ha desconcertado a los científicos desde los ochenta, cuando las primeras medidas parecían estar en desacuerdo con la teoría. El resultado presentado ahora por COMPASS está en consonancia.

Los piones están hechos de un quark y un antiquark unidos por la fuerza fuerte. Su capacidad de deformación o polarizabilidad es una medida directa de la fuerza fuerte entre los quarks. Para medirla, COMPASS dispara un haz de piones a un objetivo de níquel. Cuando se acercan experimentan un campo eléctrico muy fuerte que los deforma y cambia de trayectoria, emitiendo un fotón. Midiendo la energía del fotón y la deflexión (desviación) de una amplia muestra (63.000 piones), pudieron medir la polarizabilidad. "El bosón de Higgs es responsable de la masa de las partículas elementales, pero la mayor parte de nuestra masa procede de la energía de la interacción fuerte que las mantiene unidas. Por eso es tan importante esta medición", dijo el director del CERN Rolf Heuer.



Imagen: CNA.

Un mural gótico 'revive' gracias a la física nuclear

El Centro Nacional de Aceleradores (CNA, centro mixto Universidad de Sevilla, Junta de Andalucía y CSIC) participa en un estudio para caracterizar un mural gótico descubierto en el monasterio de Ptuj (Eslovenia). Construido en el siglo XIV por los Dominicos en esta ciudad del noroeste de Eslovenia, el recinto alberga varios estilos: románico, medieval, barroco y gótico. Ptuj fue incluida como ciudad socia de Maribor, declarada Capital Cultural Europea para el año 2012, por lo que se procedió a la recuperación de este monasterio, uno de los monumentos más importantes de Eslovenia. Al iniciar la restauración, se descubrió una pared pintada en estilo gótico de gran riqueza pictórica. El mural estudiado muestra una procesión de varios jinetes y data de finales del siglo XIV. El estudio ha

caracterizado los pigmentos de la pared para una posterior restauración fiel a los colores originales. También se comprobó la tecnología empleada, propia de Europa Central basada en la cal. Se hallaron gran variedad de pigmentos inorgánicos sintéticos y naturales. El hallazgo más importante ha sido el del amarillo de plomo-estaño tipo I, que se cree empezó a comercializarse en la primera mitad del siglo XV, pero cuya utilización en este mural del siglo XIV revela un uso previo. En el trabajo participan el Instituto para la Protección del Patrimonio Cultural de Eslovenia, la Facultad de Bellas Artes de la Universidad de Ljubljana y el Instituto de Ingeniería Civil y Edificación Nacional de Eslovenia. Por el CNA participa Anabelle Kriznar, investigadora Juan de la Cierva en el centro.

Agenda/Convocatorias

➤ **Exposición 'La física en nuestras vidas'.** La exposición del CPAN llega a Madrid. En la Plaza de la Ciencia del campus de la Universidad Complutense, junto a la Facultad de Física. Desde el 13 de marzo. www.i-cpan.es/ExpoAplicaciones

➤ **XLIII International Meeting on Fundamental Physics.** Nueva edición de un clásico para la física de altas energías en España, centrado este año en física de astropartículas. Del 15 al 21 de marzo, Centro de Ciencias Pedro Pascual (Benasque). <http://benasque.org/2015imfp/>

➤ **Rencontres de Moriond 2015.** Otro clásico en física de partículas el que se celebra cada año en La Thuile (Italia). Este año incluye una sesión especial sobre Gravitación. 14-28 marzo. <http://moriond.in2p3.fr/>

➤ **IberiCOS 2015. Xth Iberian Cosmology Meeting.** Encuentro entre expertos en Cosmología y disciplinas afines (Gravitación, Física de Partículas, Astronomía). En Aranjuez, del 30 de marzo al 1 de abril. <http://teorica.fis.ucm.es/iberiCOS2015/>

➤ **FameLab @ CERN.** El CERN organiza su propia competición del famoso concurso de monólogos científicos. Registro antes del 15 de marzo. <http://famelab.web.cern.ch/>

➤ **Proposals for ERC Consolidator Grants.** Hasta 585 millones de la UE para IPs para estabilizar líneas de investigación y equipos. Hasta el 12 de marzo. Más información aquí.

➤ **Ayudas para la promoción de empleo joven e implantación de la Garantía Juvenil en I+D+i 2014.** Ayudas para OPIs para la contratación por 3 años de personal técnico y de gestión de la I+D. Del 3 de marzo al 9 de abril. Más info en la web I+D+i del MINECO.

➤ **Convocatoria Premios Rey Jaime I.** Dotados con 100.000 euros, reconocen el trabajo de personas que hayan desarrollado la mayor parte de su trayectoria profesional en España. Propuestas hasta el 22 de marzo. <http://www.fprj.es/bases/>

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
TÍF: 96 354 48 46 // www.i-cpan.es

GERENCIA: M^a José Gracia Vidal
ADMINISTRACIÓN: Marisa Hernando Recuerdo
INFORMÁTICA: Carlos García Montoro
COMUNICACIÓN: Isidoro García Cano

El universo desde el mar visto con neutrinos

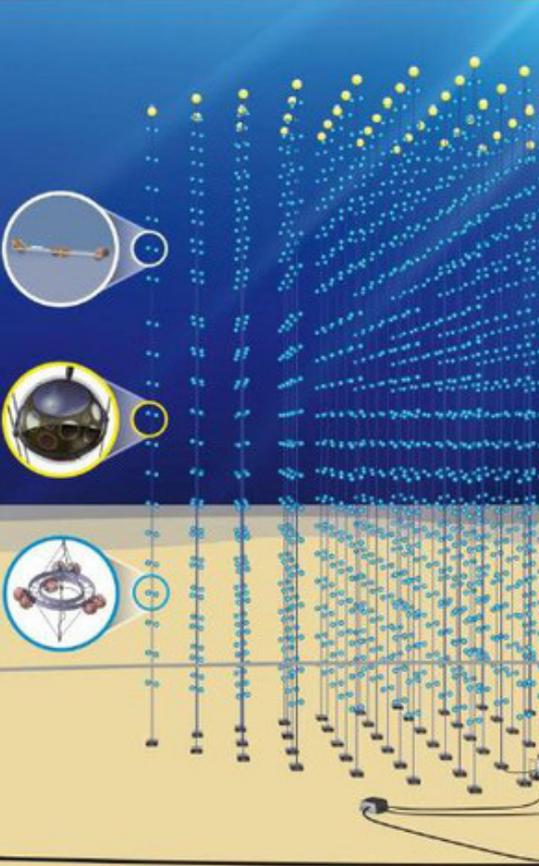
Las colaboraciones de los dos telescopios de neutrinos en el Mediterráneo, ANTARES y KM3NeT, se reúnen en Valencia para desarrollar este tipo de observación del cosmos

El experimento KM3NeT (telescopio de neutrinos de kilómetro cúbico) será el mayor telescopio de neutrinos del mundo, una nueva ventana al universo remoto que comienza su instalación este año en distintas ubicaciones del Mediterráneo. Se basa en la experiencia de ANTARES, un telescopio más pequeño situado frente a las costas francesas. Ambos experimentos estudian el universo mediante estas partículas elementales que, por sus peculiares características, transmiten valiosa información de los confines del cosmos. Los neutrinos que buscan estos experimentos tienen energías muy superiores a las partículas que produce el LHC (explosiones de supernovas, agujeros negros o estallidos de rayos gamma serían algunas de sus fuentes). Como no tienen carga eléctrica y apenas masa, "los neutrinos son muy interesantes para estudiar el cosmos, ya que viajan distancias intergalácticas sin ser absorbidos ni desviados, algo que no es posible con los fotones o los rayos cósmicos", explica Juan José Hernández, participante en KM3NeT.

KM3NeT consiste en una serie de detectores dispuestos en línea y sumergidos a más de 2.000 metros de profundidad en el Mediterráneo. Estos dispositivos, esferas con sensores ultrarrápidos, detectan la señal luminosa que emiten partículas creadas por neutrinos de muy alta energía al

interaccionar con la materia. Esta luz azulada, llamada luz Cherenkov, es un tipo de radiación electromagnética producida por las partículas cargadas en el agua al viajar en ella a mayor velocidad que la luz. KM3NeT prevé instalar 12.000 sensores distribuidos en varios kilómetros cúbicos frente a las costas de Marsella (Francia), Sicilia (Italia) y Pílos (Grecia). La primera fase de la instalación comprende 558 módulos en los sitios francés e italiano durante 2015 y 2016. La siguiente fase se extenderá hasta 2020, pero aún no hay fecha para completar el diseño original.

Esta nueva forma de estudiar el universo quedó probada a finales de 2013, cuando el experimento IceCube informó en *Science* de la detección de los primeros neutrinos cósmicos de muy alta energía cuyo origen se sitúa fuera de nuestro Sistema Solar. KM3NeT será el primer experimento capaz de detectar neutrinos cósmicos de muy alta energía en el hemisferio Norte desde el mar. "Esto tiene ventajas", explica Juan de Dios Zornoza, participante en KM3NeT. "Desde el hemisferio Norte tenemos mejor visibilidad del centro de nuestra galaxia, y en el agua se puede reconstruir mejor la dirección de llegada de estos neutrinos". España tiene una importante participación en ambos experimentos liderada por el Instituto de Física Corpuscular (IFIC, CSIC-UV).



Arriba, recreación de las líneas de sensores de KM3NeT.

Abajo, uno de los módulos. Créditos: KM3NeT Collaboration.

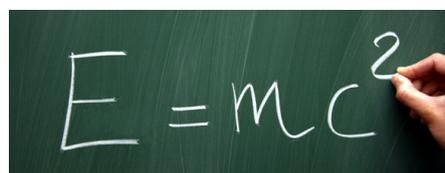


Formando a los físicos del futuro

Ocho centros de investigación reciben a medio millar de alumnos de secundaria para introducirles en la física de partículas

Durante el mes de marzo, más de 500 de alumnos de Bachillerato españoles se convierten en físicos de partículas por un día utilizando datos del mayor acelerador del mundo, el LHC. Como cada año, ocho centros de investigación españoles participan en las Masterclasses Internacionales en física de partículas, una actividad divulgativa que pretende incentivar el interés por la investigación científica en el alumnado. Participan más de 10.000 estudiantes y 200 centros de investigación de 42 países, entre ellos por primera vez Marruecos.

España participa desde sus comienzos en esta iniciativa, organizada por el Grupo Internacional de Divulgación en Física de Partículas (IPPOG). Ocho centros de investigación reciben durante un día la visita de un grupo de estudiantes, que analizan datos obtenidos con los principales experimentos del LHC (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE)



Calendario de las Masterclasses

- 2 y 9 de marzo. Universidad de Barcelona.
- 4 de marzo. Universidad de Zaragoza.
- 10 y 25 de marzo. IFIC (CSIC-UV) Valencia.
- 13 de marzo. Universidad de Granada.
- 19 de marzo. IFCA (CSIC-UC) Santander.
- 24 de marzo. CIEMAT Madrid.
- 26 de marzo. U. Santiago de Compostela.
- 29 de marzo. IFT (UAM-CSIC) Madrid.

<http://physicsmasterclasses.org>

y posteriormente comparten sus resultados con otros estudiantes por videoconferencia. Los alumnos están guiados por investigadores españoles que participan directamente en los experimentos del LHC.

Las tareas que pueden realizar los alumnos a partir de datos preparados para esta actividad van desde comprobar la estructura del protón hasta el descubrimiento del bosón Z (uno de los mediadores de la fuerza nuclear débil), o el bosón de Higgs oculto en datos de CMS y ATLAS. Al compartir los resultados con otros institutos europeos, los alumnos aprenden cómo funciona la ciencia actual, mediante grandes colaboraciones en un entorno internacional. Todos los grupos españoles que organizan las masterclasses participan en el CPAN, que promueve y coordina la participación española en el LHC.

“Mi postdoc en el CPAN permitió aportar mi trabajo al hallazgo del bosón de Higgs”

Uno de los objetivos del CPAN es formar personal en los experimentos. Muchos contribuyeron a poner en marcha el gran acelerador de partículas LHC. Alicia Calderón (Santander, 1977) es una de las españolas que ayudaron a descubrir el Higgs.



-Pregunta: ¿Cómo ha sido su trayectoria en el mundo de la investigación?

-Respuesta: Me uní al grupo de Física de Partículas del Instituto de Física de Cantabria (IFCA) en el último año de carrera con una beca de iniciación a la investigación del CSIC. Tras ese primer año me incorporé como becaria FPU para hacer mi tesis doctoral. Mi carrera científica ha estado siempre ligada al experimento CMS del acelerador de partículas LHC, tanto en su construcción y montaje como en el análisis de los datos. En mi tesis trabajé en el desarrollo del sistema de alineamiento LINK de CMS, que proporciona información del alineamiento de los subdetectores del experimento en tiempo real mediante un complejo sistema de láseres, sensores de silicio, sensores de distancia y un conjunto de estructuras de alta precisión de fibra de carbono. Tras probarlo en el CERN y ponerlo en marcha en CMS, me marché al INFN y la Universidad de Padova como investigadora postdoctoral, aunque continué trabajando en el alineamiento de CMS pero utilizando los rayos cósmicos que lo atraviesan, así como en el estudio de la reconstrucción e identificación de muones con CMS. El conjunto de muones cósmicos recogidos por el experimento nos permitió publicar una de las primeras medidas

del LHC. El siguiente paso lo di gracias a uno de los contratos postdoctorales del CPAN, donde trabajé en el análisis de los primeros datos del LHC. Actualmente tengo un contrato Ramón y Cajal en la Universidad de Cantabria. Estamos terminando de publicar artículos con datos del Run 1 del LHC, y comenzamos los estudios previos al Run 2.

-P: ¿Qué supuso para su carrera científica el tiempo que estuvo contratada en el CPAN?

“La disminución de los recursos repercute en la productividad, cada vez es más difícil competir con grupos internacionales por financiación”

-R: Gracias al contrato del CPAN regresé al IFCA para trabajar con los primeros datos del LHC, en un momento en que comenzaban los problemas en la financiación de la investigación. El CPAN ha contribuido a mi trayectoria notablemente, me permitió participar en el análisis de los datos de CMS dentro de la colaboración, además de continuar con mi carrera científica en este campo. Mi trabajo se ha centrado en el estudio de la producción del quark top y de bosones W. Pero mi mayor contribución ha sido sin duda mi participación en el descubrimiento del bosón de Higgs,

donde he sido una de los principales autores de su búsqueda en el canal de desintegración a dos bosones W. El CPAN me permitió aportar mi trabajo en el descubrimiento del bosón de Higgs, uno de los mayores logros en la física de partículas de los últimos años.

-P: ¿Qué dificultades encuentra para desarrollar una carrera investigadora en España en la actualidad?

-R: Principalmente, la disminución progresiva de los recursos destinados a la investigación y la reducción del número de plazas científicas. Esto, unido al incremento del número de científicos con gran cualificación que optan a dichas plazas, hace cada día más difícil la continuidad de jóvenes investigadores en este trabajo, dejando fuera a gente muy cualificada que se ha formado durante años. Esta disminución en los recursos repercute directamente en la productividad científica, porque hace cada vez más difícil competir con otros grupos internacionales con mayor financiación. También he encontrado muchas dificultades burocráticas, así como en ocasiones la dificultad de evaluar la actividad científica dentro de grandes colaboraciones como es el caso de los grandes experimentos del LHC como CMS, con más de 3.000 personas. Es algo que se debe mejorar.

El destino de los contratados CPAN, afectado por los recortes.

Desde su inicio, uno de los objetivos del CPAN fue formar personal cualificado para trabajar en los principales experimentos. El CPAN ha cofinanciado 160 contratos: 72 investigadores postdoctorales, 62 técnicos superiores, 15 técnicos medios, 6 técnicos de transferencia tecnológica y 5 técnicos de gestión. Un repaso a su situación muestra que solo se ha conseguido una plaza fija en investigación en España, mientras que un tercio continúa investigando en el extranjero. De los que siguen haciendo ciencia en nuestro país, medio centenar sigue con contratos temporales en el CPAN o sus grupos a la espera de oportunidades que permitan estabilizar su situación.

- >1 plaza permanente en España.
- >8 contratos Ramón y Cajal en España.
- >50 siguen contratados por CPAN o sus grupos.
- >35 continúan de postdoc en el extranjero.
- >8 plazas permanentes en el extranjero.
- >12 contratos en el extranjero.

Elaboración propia con datos de septiembre 2014.

