

ESPAÑA EN EL CERN

Guía elaborada por el Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN)

El mayor laboratorio de física del mundo

El CERN es el mayor laboratorio de física de partículas del mundo, donde participan más de 11.000 científicos de 100 nacionalidades. Su principal objetivo es la investigación de los componentes elementales de la materia y sus interacciones, para lo cual utiliza grandes y complejos experimentos. El CERN se fundó en 1954 y actualmente está formado por 20 Estados miembros, más una serie de países e instituciones que participan como asociados u observadores (Estados Unidos, Rusia, Japón, la Comisión Europea y UNESCO, entre otros). Su sede está en Ginebra (Suiza).

El mayor instrumento científico

El proyecto estrella del CERN es el LHC (siglas en inglés de Gran Colisionador de Hadrones), el mayor y más potente acelerador de partículas del mundo. Se trata de un anillo de 27 kilómetros de circunferencia situado a 100 metros bajo tierra en la frontera franco-suiza, en cuyo interior circulan haces de partículas (protones) a velocidades cercanas a las de la luz. Estos haces se hacen chocar en cuatro puntos donde se sitúan grandes detectores para registrar las partículas que se producen (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE).

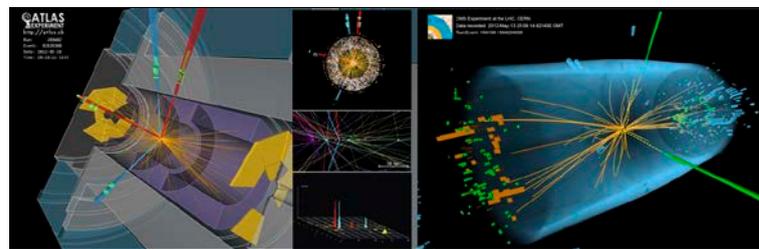
El interior del LHC es el lugar más vacío del Sistema Solar. La presión en su interior es 10 veces menor que en la Luna. Refrigerar los imanes superconductores que permiten curvar los haces requiere temperaturas cercanas al cero absoluto, más frío que el espacio exterior. Cada protón viaja 11.000 veces por segundo por el anillo de 27 kilómetros del LHC.

La construcción del LHC supuso un reto científico y tecnológico que se desarrolló durante más de 20 años. Tiene un coste de 3.000 millones de euros. Se puso en marcha en 2008, pero tras un accidente produjo sus primeras colisiones en 2010. Su primera fase de funcionamiento se desarrolló hasta 2013, en la que se obtuvieron las primeras evidencias de la existencia del bosón de Higgs. Actualmente se encuentra en su primera gran parada técnica, en la que se prepara para elevar la energía de sus colisiones hasta los 14 teraelectronvoltios (TeV) a partir de 2015.

El bosón de Higgs

Es un tipo de partícula elemental que se cree tiene un papel fundamental en el mecanismo que origina la masa de las partículas elementales. El bosón de Higgs es la partícula asociada al llamado campo de Higgs, especie de continuo que se extiende por el espacio formado por incontables bosones de Higgs. La masa

de las partículas estaría causada por una “fricción” con el campo de Higgs: las partículas con una mayor fricción con este campo tienen una masa mayor.



Reconstrucciones de dos colisiones en los experimentos ATLAS (derecha) y CMS donde se ha producido un bosón de Higgs. Imagen: CERN.

El bosón de Higgs era la pieza que faltaba por descubrir del Modelo Estándar de Física de Partículas, teoría que describe las partículas elementales y sus interacciones. Este modelo, comprobado por multitud de experimentos, no podía explicar el origen de la masa. Sin masa, el Universo sería un lugar muy diferente: si el electrón no tuviera masa no habría átomos, con lo cual no existiría la materia como la conocemos, no habría química, ni biología ni existiríamos nosotros mismos.

La explicación basada en el campo de fuerza y su bosón asociado se postuló en los años 60 por un grupo de físicos entre los que se encontraba el británico Peter Higgs. El bosón de Higgs no se puede observar directamente, ya que se desintegra casi inmediatamente. Hay que producirlo en aceleradores y reconstruirlo a partir de las partículas de su desintegración. Según la famosa ecuación de Einstein, energía y masa son caras de una misma moneda, por lo que se construyeron aceleradores más grandes y poderosos para producir partículas más pesadas. El LHC es la culminación de esta ‘escalada energética’.

El descubrimiento de una nueva partícula

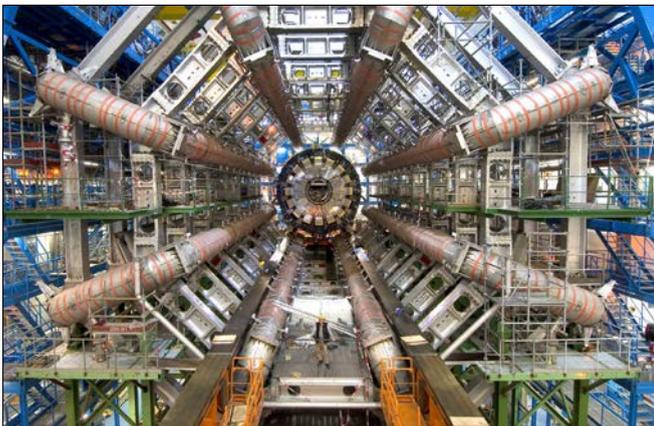
Tras casi medio siglo de búsqueda, los experimentos ATLAS y CMS del LHC informaron el 4 de julio de 2012 del descubrimiento de una nueva partícula cuyas características son compatibles con las del bosón de Higgs que predice el Modelo Estándar. Esta nueva partícula tiene 134 veces la masa del protón y es un bosón (partícula portadora de fuerza), el más pesado observado hasta ahora. El hallazgo del bosón de Higgs abre nuevas puertas al conocimiento de cuestiones fundamentales en la Física. Su importancia le ha valido el Premio Príncipe de Asturias de Investigación de 2013 a Peter Higgs, François Englert y el CERN.

ESPAÑA EN EL CERN

Guía elaborada por el Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN)

España en el CERN

Tras un primer periodo (1961-1968), España volvió a ingresar en el CERN como miembro de pleno derecho en 1983. La aportación española al CERN es proporcional a su PIB, y se sitúa como quinto país en aportación tras Alemania, Reino Unido, Francia e Italia (8,53% en 2013). La Física de Partículas en España ha experimentado un importante desarrollo en las últimas décadas coincidiendo con la vuelta al CERN. En la actualidad hay unos 500 científicos, ingenieros y técnicos españoles en el mayor laboratorio de Física de Partículas del mundo entre personal de plantilla, asociados, colaboradores y estudiantes. 200 científicos y técnicos españoles participan en el LHC y sus experimentos (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE). También hay una importante presencia española en otras instalaciones del CERN como ISOLDE, nTOF, y en experimentos reconocidos por el CERN como AMS.



Instalación del calorímetro en el experimento ATLAS. Imagen: CERN.

ATLAS

El experimento ATLAS es uno de los denominados de propósito general, y es el más grande de los cuatro principales experimentos del LHC. Participan más de 3.000 científicos de 174 instituciones y 38 países. Por España participan el Instituto de Física Corpuscular (IFIC), centro mixto del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y la Universitat de València; el Institut de Física d'Altes Energies (IFAE), consorcio entre la Generalitat de Catalunya y la Universitat Autònoma de Barcelona; el Instituto de Microelectrónica de Barcelona (CNM-IMB-CSIC); y la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

El IFIC, en colaboración con el CNM-IMB-CSIC, contribuyó al diseño del detector de trazas del experimento ATLAS, su electrónica y sensores, y ha construido 280 módulos de silicio de este componente. IFAE e IFIC se responsabilizaron de la

construcción de una de las secciones centrales del calorímetro de ATLAS (que mide la energía de las partículas). El IFIC ha diseñado y producido la totalidad de la electrónica de lectura y adquisición de datos, mientras que el IFAE desarrolló una parte de la electrónica de calibración y contribuyó a la arquitectura del sistema de pre-selección y adquisición en tiempo real de datos. La UAM participó en la construcción del calorímetro electromagnético, otro de los detectores de ATLAS.

Desde su puesta en marcha, las instituciones españolas participan activamente en su operación y mantenimiento, con una importante presencia en las actividades de alineamiento, calibración y selección de datos online. Los grupos españoles en ATLAS participan asimismo en el análisis de datos, cubriendo muchos de los temas más interesantes del programa de investigación del LHC. En la búsqueda del bosón de Higgs, los grupos españoles han estudiado diferentes estados finales resultado de la desintegración de la partícula de Higgs en dos fotones, dos leptones taus, dos quarks bottom, y dos bosones Z o W.

CMS

CMS es el otro gran detector del LHC de propósito general, donde participan 3.275 científicos de 179 institutos en 41 países. Por parte española están presentes los grupos experimentales del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT); Instituto de Física de Cantabria (IFCA), centro mixto CSIC-Universidad de Cantabria, la Universidad de Oviedo (UO) y la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

El CIEMAT participó en el desarrollo de prototipos de imanes superconductores para el acelerador, así como en el diseño y construcción de 70 cámaras de muones (25% del total) de CMS y en la fabricación de la electrónica de lectura de estas cámaras. El CIEMAT y el IFCA son responsables del sistema de alineamiento de muones y su electrónica asociada, sistema en el que colabora la UO. La UAM está involucrada en el desarrollo del sistema de selección de datos o *Trigger*. Los grupos españoles desempeñan un papel fundamental en la mayor parte de las actividades relacionadas con el detector de muones de CMS, con responsabilidades directas en mantenimiento, operación, calibración, reconstrucción y mejoras.

La participación de los grupos españoles en el análisis de datos de CMS cubre un amplio abanico del programa de investigación del LHC. Participan

ESPAÑA EN EL CERN

Guía elaborada por el Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN)

activamente en la búsqueda del bosón de Higgs, especialmente en el análisis de la desintegración del bosón de Higgs en bosones WW y en otros modos asociados a la desintegración en bosones ZZ.

LHCb

Este experimento, donde participan 650 científicos de 48 instituciones y 13 países, está diseñado para estudiar las diferencias entre materia y antimateria, y tratar de dar respuesta al enigma de la ausencia de esta última en el Universo. La Universidade de Santiago de Compostela (USC), la Universitat de Barcelona (UB) y la Universitat Ramon Llull (URL) han participado en la construcción del Silicon Tracker (ST), del Calorímetro Electromagnético (SPD/PS) y del sistema de *Trigger*. Investigadores de las tres universidades tienen importantes responsabilidades tanto en la operación del experimento como en el análisis de los datos que recolecta.

ALICE

En este experimento se recrean las condiciones que debieron existir instantes después del Big Bang, cuando comenzó a formarse la materia. El Instituto Galego de Física de Altas Enerxias (IGFAE) de la Universidade de Santiago de Compostela (USC) se encarga de la fenomenología de la física del experimento ALICE, mientras que el CIEMAT participa en tareas de computación. En ALICE colabora un millar de científicos de 94 instituciones y 28 países.

GRID

En el LHC se producen unos 300 millones de colisiones cada segundo. Aunque se seleccionan las que contienen información relevante para los científicos, cada año se genera el equivalente a 14 millones de CDs. Para procesar esta gran cantidad de datos se ha desarrollado el mayor sistema de computación jamás construido (actualmente equivalente a unos 100.000 núcleos), llamado GRID. Los datos tomados por los experimentos del LHC son procesados inicialmente en el CERN, centro Tier-0, y distribuidos posteriormente a otros 11 centros Tier-1, donde se realiza un segundo procesado. Finalmente, son transferidos a otros 100 centros, llamados Tier-2, distribuidos por todo el mundo, donde los científicos realizan el análisis final. España contribuye con un 4% al proyecto a través de un centro Tier-1, el Port de Informació Científica (PIC, consorcio formado por el IFAE, la UAB y el CIEMAT) y 7 Tier-2: IFIC, IFAE, UAM, CIEMAT, IFCA, UB y USC.



Centro de computación Tier-0 en la sede del CERN. Imagen: CERN.

Beneficios de la Física de Partículas

La tecnología desarrollada para los aceleradores de partículas tiene beneficios para la Medicina, la Informática, la industria o el medio ambiente. Los imanes superconductores que se usan para acelerar las partículas han sido fundamentales para desarrollar técnicas de diagnóstico por imagen como la resonancia magnética. Los detectores usados para identificar las partículas son la base de los PET, la tomografía por emisión de positrones (antipartícula del electrón). Y cada vez más centros médicos utilizan haces de partículas como terapia contra el cáncer.

La World Wide Web (WWW), el lenguaje en el que se basa Internet, fue creado en el CERN por Tim Berners-Lee en los años 90 para compartir información entre científicos ubicados alrededor del mundo. Las grandes cantidades de datos que producen los aceleradores de partículas motivan el desarrollo de una red de computación global distribuida llamada GRID, que se utiliza en otras disciplinas científicas que requieren manejar grandes cantidades de datos como la Biología o la Medicina.

Los haces de partículas producidos en aceleradores tipo sincrotrón o las fuentes de espalación de neutrones, instrumentos creados por los físicos para comprobar la naturaleza de la materia, tienen aplicaciones industriales en la determinación de las propiedades de nuevos materiales, así como para caracterizar estructuras biológicas o nuevos fármacos.

Otras aplicaciones de la Física de Partículas son la fabricación de paneles solares, esterilización de recipientes para alimentos, reutilización de residuos nucleares o el desarrollo de escáneres para identificar las mercancías transportadas en contenedores de carga, entre otros muchos campos.

ESPAÑA EN EL CERN

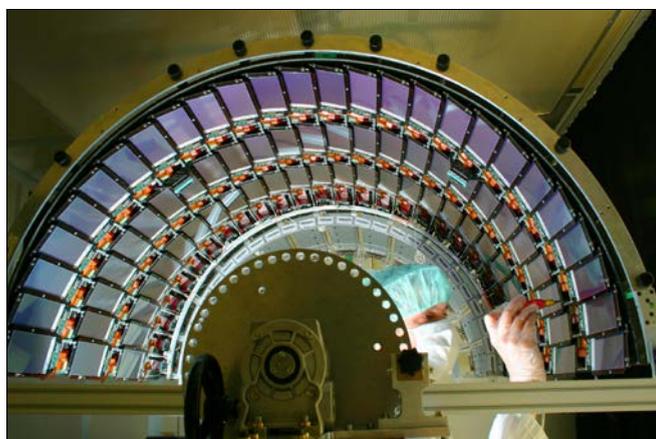
Guía elaborada por el Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN)

Retornos industriales de España

La participación en el CERN es una inversión que supone importantes beneficios científicos, tecnológicos e industriales para los Estados miembros. El CERN destina entre el 30 y el 40% de su presupuesto a la contratación de suministros y servicios proporcionados por la industria de los países miembros, porcentaje que se duplica durante la construcción los aceleradores de partículas. España es el quinto Estado miembro del CERN en retornos industriales procedentes de su participación en el LHC, obteniendo el 6,5% del total de las adjudicaciones. Desde 1998 hasta 2012, las empresas españolas obtuvieron contratos del CERN por valor de 252 millones de euros (fuente: CDTI).



Construcción de la caverna del experimento CMS por Dragados. Imagen: CERN.



La participación en el CERN supone una oportunidad para las empresas españolas de desarrollar tecnologías que impulsan su competitividad. Imagen: CERN.

La construcción del LHC representó una oportunidad única para las empresas españolas. Para poder participar en su construcción, tuvieron que desarrollar una serie de capacidades tecnológicas en áreas como criogenia y vacío, superconductividad, control industrial, electrónica de potencia e infraestructuras, etc., que de otra manera no habrían alcanzado, y que han impulsado su competitividad.

En la construcción y mantenimiento del LHC y sus experimentos participan 70 empresas españolas en diversos ámbitos: el sistema de control de la línea criogénica del LHC fue diseñado por la empresa GTD; los soportes para los dipolos diseñados en fibra de carbono, fabricados por EADS-CASA; las cámaras de vacío, los criostatos del detector ATLAS y los módulos de servicio para la línea criogénica, fabricados por FCM – Felguera Construcciones Mecánicas; la construcción de la caverna en la que se aloja el detector CMS, realizado por Dragados.

Por su participación en el CERN, las empresas españolas se posicionan para participar en otros proyectos internacionales, como el desarrollo de un reactor experimental de fusión nuclear (ITER) o el Observatorio Europeo Austral (ESO). Asimismo, nuevas empresas innovadoras tienen su origen en la investigación y las tecnologías desarrolladas en el CERN: Gnubila, líder en el desarrollo de plataformas tecnológicas para organizaciones en red; Oncovision, empresa de visión molecular aplicada a las Ciencias de la Salud; o ALIBAVA, dedicada al diseño y fabricación de sistemas electrónicos para detectores de radiación. La presencia española en el CERN coloca a empresas en una posición ventajosa para futuros proyectos como el acelerador lineal internacional (ILC/CLIC).

El Centro Nacional de Física de Partículas (CPAN)

El Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN) es un proyecto Consolider-Ingenio 2010 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través de la Secretaría de Estado de I+D+I, y gestionado por el CSIC. Está formado por más de 400 científicos de 26 grupos de investigación del CSIC, el CIEMAT y varias universidades. Sus objetivos son la promoción y coordinación científica de la participación española en proyectos internacionales; desarrollo de actividades comunes de I+D; y formación e incorporación a los grupos de investigadores y técnicos. El CPAN pretende consolidar estas actuaciones mediante la constitución de un centro de carácter permanente, análogo a los existentes en otros países de nuestro entorno.

Más información: www.i-cpan.es