



Manuel AGUILAR BENITEZ DE LUGO es doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Madrid (1969). Ha desarrollado actividades investigadoras en Física Experimental de Altas Energías en el CERN (Ginebra, Suiza), el Laboratorio Nacional de Brookhaven (BNL, Nueva York, EE. UU.) y el College de France (París, Francia) durante diez años. Desde 1983 es jefe de la División de Física de Partículas del CIEMAT. Es miembro del Particle Data Group desde 1981. Ha sido delegado español en el European Committee for Future Accelerators (ECFA) durante los años 1983-1986, del Comité de Experimentos del acelerador Super Proton Synchrotron y del grupo redactor del Plan Movilizador de Física de Altas Energías. Ha publicado más de un centenar de trabajos de investigación en revistas especializadas. En la actualidad es jefe de la División de Física de Partículas del CIEMAT.

EL CERN

M. AGUILAR

INTRODUCCION

Oficialmente, la Organización Europea para la Investigación Nuclear fue creada el 29 de septiembre de 1954, cuando un número suficiente de Estados miembros ratificaron la Convención, estableciendo el CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire). El CERN había sido creado para contribuir al relanzamiento y renovación europea de la investigación, reuniendo naciones desgarradas por recientes conflictos bélicos, en una tentativa común de profundizar en la comprensión de la estructura de la materia, desarrollando instalaciones que difícilmente estarían al alcance de países europeos aislados. Los objetivos de la Organización, explicitados en el texto de la Convención, insisten en el carácter fundamental y puramente científico de su razón de ser investigadora y en su desconexión con el desarrollo de armas atómicas o centrales generadoras de energía de origen nuclear.

La sede de la Organización se encuentra en Ginebra (Suiza). Los Estados miembros son en la actualidad Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Francia, Grecia, Holanda, Italia, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza. El presupuesto para 1987 se eleva a 772 millones de francos suizos, que aportan los 14 Estados miembros, según porcentajes derivados de sus respectivos productos nacionales brutos. Las contribuciones relativas para 1987 son las siguientes (en millones de francos suizos):

Alemania	24,55	Holanda	5,28
Austria	2,44	Italia	14,18
Bélgica	3,24	Noruega	1,97
Dinamarca	2,03	Portugal	0,14
España (*)	1,66	Reino Unido	16,90
Francia	19,35	Suecia	3,61
Grecia	0,40	Suiza	4,25

(*) Durante el periodo transitorio de adhesión de España al CERN (1983-1988), sólo el 40 % de la contribución española está destinada al presupuesto general del CERN. El resto se destina a reducir las cuotas de los otros Estados miembros.

Aproximadamente el 40 % de los presupuestos del CERN se dedica a la construcción de instalaciones (aceleradores, áreas experimentales...) y equipamiento de laboratorios (adquisición de equipos de detección, ordenadores...).

Los laboratorios del CERN están emplazados en la zona fronteriza franco-suiza próxima a Ginebra, ocupando una extensión de 109 hectáreas en Suiza y 451,5 hectáreas en Francia.

El "staff" del CERN está compuesto por 3.516 científicos, ingenieros, técnicos, administrativos y obreros especializados. Con cargo a la Organización se financian adicionalmente 146 becarios, 161 investigadores y 109 estudiantes y aprendices. Asociados con el CERN, aunque no pagados con cargo a sus presupuestos, 4.303 personas participan, en muchos casos con dedicación parcial, en las actividades de la Organización.

El número de Universidades e Institutos de Investigación participando en el programa experimental del CERN asciende a 226, contando con un total de 2.919 físicos experimentales.

LA FISICA DE PARTICULAS

La investigación que se lleva a cabo en el CERN se conoce con el nombre de Física de Partículas, debido a que su objetivo primordial es el estudio de las partículas o constituyentes básicos que componen la materia.

Esta disciplina del conocimiento científico se denomina también Física de Altas Energías, puesto que el estudio de la estructura íntima de la materia se realiza, normalmente, analizando los productos de colisiones inducidas por partículas de muy alta energía, obtenidas copiosamente en los grandes aceleradores.

La curiosidad por descifrar la composición de la materia aparece, desde tiempos antiguos, como un ingrediente permanente del bagaje cultural humano. La creciente sofisticación de la experimentación científica en estas últimas

décadas ha puesto de manifiesto que la materia puede descomponerse progresivamente en fragmentos más y más pequeños. Las moléculas están compuestas de átomos formados por electrones y núcleos, que son conglomerados de protones y neutrones. La moderna experimentación en laboratorios de física de altas energías revela que los constituyentes de los núcleos atómicos son partículas divisibles formadas por entidades más elementales denominadas quarks. El estudio de los componentes últimos de la materia constituye una de las áreas principales de la investigación en el campo de la física fundamental; la investigación del espacio y la comprensión de la estructura del universo constituyen el otro dominio privilegiado hacia el que se orientan los recientes esfuerzos investigadores. El estudio de fenómenos microcósmicos y macrocósmicos, a escalas dimensionales tan distintas, tiene una profunda conexión, contribuyendo a nuestro mejor y más profundo conocimiento de la estructura de la materia a distancias infinitamente pequeñas a desentrañar los grandes enigmas de la astrofísica y del origen del universo. A nivel microcósmico se detectan cuatro tipos de interacciones o fuerzas que describen los fenómenos entre constituyentes íntimos de la materia:

- La fuerza nuclear o fuerte, que es la de mayor intensidad, actuando, por ejemplo, entre protones y neutrones, y originando la cohesión de los núcleos atómicos.
- La fuerza electromagnética, cuya intensidad es 100 veces más débil que la fuerza nuclear, responsable de la ligadura atómica entre la nube electrónica negativa y el núcleo atómico positivo.
- La fuerza débil es responsable de los procesos nucleares radiactivos. Su intensidad es un millón de veces más pequeña que la fuerza nuclear, pero crece con la energía. Los experimentos realizados en el CERN desde el inicio de la década de los setenta (descubrimiento de las corrientes neutras en 1973 y de los bosones vectoriales intermediarios W y Z en 1983) han dado validez al esquema de unificación de las fuerzas electromagnéticas y débiles que establece una profunda relación entre ambas. La interacción unificada se denomina electrodébil.
- La fuerza gravitatoria que actúa entre todas las partículas, pero que a nivel microcósmico es extremadamente débil.

En la actualidad, los constituyentes de la materia se agrupan en dos categorías, los leptones, que son partículas insensibles a la interacción fuerte y sin

estructura en las escalas dimensionales investigadas, y los hadrones, que son sensibles a todo tipo de fuerzas y tienen estructura. Estos hadrones están compuestos de quarks, cuya existencia parece sólo tener lugar dentro de los hadrones, y que hasta la fecha no han podido ser aislados. Desarrollos teóricos y trabajos experimentales recientes demuestran que estos constituyentes leptones y quarks pueden agruparse en familias o generaciones. Todos los componentes del mundo que nos es familiar pueden explicarse en términos de una única familia formada por dos leptones (el electrón y el neutrino asociado al electrón), y dos quarks (denominados "up" y "down"). En situaciones de muy alta energía (accesibles en fenómenos de tipo cósmico o creadas artificialmente en aceleradores de partículas) se han puesto de manifiesto dos cuartetos adicionales formados, cada uno de ellos, por dos leptones y dos quarks. El origen de estas familias adicionales, no necesarias para explicar la composición actual del universo, es un enigma relevante en la problemática actual de la Física de Partículas. Una cuestión fundamental, la determinación del número total de generaciones, será dilucidada en los próximos años a partir de medidas proyectadas en experimentos en el SLD (SLAC Linear Collider en el laboratorio de SLAC en Stanford, California) y en LEP (Large Electron Positron Collider en el CERN).

A nivel elemental, estos componentes interaccionan fuerte y electrodébilmente. Los agentes que comunican la fuerza entre quarks se denominan gluones, la transmisión de la interacción electrodébil corre a cargo de fotones, bosones W y bosones Z. La explicación de la gran diferencia de masas entre el fotón y los bosones W y Z, mensajeros de una fuerza unificada, es uno de los temas de investigación prioritario en Física de Altas Energías. La descripción unificada de las interacciones electrodébil, fuerte y gravitatoria es, seguramente, el otro gran polo de atracción de los esfuerzos investigadores en esta rama fundamental del conocimiento científico.

EL PROGRAMA EXPERIMENTAL DEL CERN

En los últimos sesenta años la comprensión de la estructura última de la materia ha avanzado dramáticamente, merced a la utilización casi exclusiva de una única técnica experimental. Básicamente se trata de dotar a una partícula de materia de una alta velocidad y hacerla colisionar con otra partícula. Del estudio de los productos de la reacción se obtiene información sobre la

naturaleza de las partículas y las fuerzas a través de las cuales interaccionan. El dispositivo experimental que permite aumentar la velocidad de una partícula e incrementar consecuentemente su energía se denomina acelerador de partículas.

Los laboratorios del CERN albergan el complejo de aceleradores de partículas más importante del mundo, formado por:

- El Sincro-Ciclotrón Protones (SC) que acelera haces intensos de protones hasta 600 MeV y que opera desde 1957. El SC da soporte a un vigoroso programa de física nuclear. El separador de isótopos ISOLDE, completado en 1967, constituye una importante instalación experimental para el estudio de núcleos de pequeñas vidas medias.
- El Sincrotrón de Protones (PS) que acelera haces intensos de protones hasta una energía de 28 GeV. Entró en funcionamiento en 1959, convirtiéndose en el más potente acelerador de su época. Tiene un diámetro de 200 metros, y consta de unos 100 imanes que mantienen los protones en órbitas circulares. Inicialmente suministró haces primarios de protones o secundarios de piones y kaones a múltiples experimentos, pero en la actualidad actúa como fuente de protones y antiprotones para el Super Sincrotrón de Protones. El PS también desacelera antiprotones destinados al anillo de antiprotones de baja energía LEAR, que opera desde 1983, y suministra haces a un número considerable de experimentos. Está previsto que en el futuro el PS proporcione haces de electrones y positrones para inyección en el anillo de colisiones LEP.
- El Super Sincrotrón de Protones (SPS) que acelera haces de protones hasta una energía de 450 GeV. Entró en funcionamiento en 1976 y consta de unos mil imanes dispuestos en un anillo de 2,2 km de diámetro, situados en un túnel subterráneo. El SPS proporciona haces de partículas a las zonas experimentales Norte y Oeste del CERN. Ambas áreas se utilizan para experimentos con haces de partículas secundarias producidas cuando el haz primario incide sobre un blanco. En el área Norte y Oeste se han llevado a cabo programas de investigación de gran envergadura con haces de muones y neutrinos, respectivamente, y un estudio sistemático detallado de las propiedades de producción y desintegración de partículas con encanto en procesos de hadro y fotoproducción. El SPS se ha transformado para operar con haces de antiprotones y permite acelerar simultánea-

mente protones y antiprotones en direcciones opuestas y producir colisiones frontales en un amplio rango de muy altas energías (540-900 GeV en el sistema de centro de masas). La invención del método de enfriamiento estocástico por Simon Van der Meer y la reconversión del SPS en un anillo de colisiones de haces de protones y antiprotones permitió la realización de los experimentos que aislaron los bosones vectoriales W y Z en 1983. Estos descubrimientos constituyen una de las más extraordinarias hazañas en la historia de la ciencia y representan el triunfo de una inspiración teórica profunda, de una perfección tecnológica, de un proceso de experimentación altamente sofisticado y de un trabajo en equipo a una escala sin precedentes en el campo de la ciencia pura. Carlo Rubbia, director de uno de los equipos investigadores que descubrieron los bosones W y Z, e infatigable impulsor del proyecto de transformación del SPS, y Simon Van der Meer, fueron galardonados en 1984 con el Premio Nobel de Física.

- El anillo de colisiones LEP (Large Electron Positron Storage Ring) que permitirá, en una primera fase, estudiar las colisiones entre haces intensos de electrones y positrones de 50 GeV de energía. LEP proporcionará a la comunidad científica europea un instrumento único para el estudio de cuestiones básicas relacionadas con la comprensión de las partículas y fuerzas fundamentales. En particular, LEP permitirá el estudio detallado de fenómenos electrodébiles en el rango de energías en el que la fuerza débil tiene una intensidad comparable al electromagnetismo.

LEP está ubicado en un túnel subterráneo de 27 km de circunferencia perforado bajo las montañas del Jura. La ceremonia oficial de inicio de obras tuvo lugar en septiembre de 1983, y está previsto que en la primavera de 1989 circulen los primeros haces. LEP dispone de ocho grandes zonas de experimentación, aunque en una primera fase sólo estarán equipadas cuatro. Las características del túnel de LEP hacen posible que esta máquina pueda operar a mayores energías, esperando que, con el desarrollo de cavidades aceleradoras de radio-frecuencia superconductoras, se alcancen energías de los haces superiores a 100 GeV con mínimos incrementos en el suministro de energía eléctrica.

Una interesante posibilidad permitida por la gran circunferencia de LEP es la de instalar en su interior un segundo acelerador. Actualmente existe un proyecto bastante detallado para la ubica-

ción de un potente colisionador hadrónico denominado LHC (Large Hadron Collider). Con la tecnología superconductora disponible parece accesible la posibilidad de acelerar haces intensos de protones hasta energías de 9 TeV (1 TeV = 1.000 GeV), consiguiéndose colisiones entre protones a una energía total en el centro de masas de 18 TeV. La construcción de este acelerador adicional permitirá, en principio, estudiar colisiones electrón-protón en un rango de muy altas energías no explorado hasta la fecha.

El número de experimentos aprobados en el CERN por los Comités relevantes para 1987 se desglosa de la forma siguiente:

- En el SPS: 11 en fase de toma de datos y 15 en preparación.
- En el colisionador SPS: cuatro en fase de toma de datos.
- En el PS-LEAR: dos en fase de toma de datos y ocho en preparación.
- En el SC: 20 en fase de toma de datos y tres en preparación.
- En LEP: cuatro en preparación.

Dentro del programa experimental del CERN, los detectores de partículas constituyen un elemento esencial. Los sistemas de detección determinan las características de las partículas resultantes en las colisiones de alta energía. Existen numerosos tipos de detectores, aunque la mayoría de ellos utilizan como principio básico el efecto de ionización producido cuando las partículas cargadas atraviesan un medio sensible. En los últimos años ha crecido vertiginosamente la complejidad de los sistemas de detección que integran múltiples componentes especializados en la detección y medida de los diversos tipos de partículas (fotones, electrones, muones, neutrinos, hadrones...) producidos en las interacciones. Los detectores UA1 y UA2, que permitieron aislar los bosones W y Z, constituyen un ejemplo reciente de cómo ha evolucionado la detección de partículas en la última década. Los detectores en preparación para LEP (ALEPH, DELPHI, L3, OPAL) constituyen un paso más en la progresiva sofisticación de estos sistemas, incorporando elementos de muy alta tecnología. La complejidad de las interacciones objeto de estudio y la necesidad de analizar detalladamente la totalidad de los productos de la colisión generan una impresionante cantidad de información, cuya selección, reducción y manipulación exige la utilización a gran escala de las más modernas tecnologías en electrónica analógica, digital y microcálculo.

El análisis de conjuntos masivos de datos en los experimentos del CERN requiere ordenadores digitales de gran

velocidad y potencia de cálculo. Aparte de analizar datos experimentales, los ordenadores del CERN forman una parte integral de los sistemas de control de experimentos e instalaciones. La utilización generalizada de minordenadores y microprocesadores es una consecuencia lógica de la creciente complejidad de los métodos experimentales. La necesidad de proporcionar potencia de cálculo a lo largo y ancho de los laboratorios del CERN extendidos sobre una considerable superficie, ha originado la creación de sistemas de transmisión de datos y comunicaciones con ordenadores a escala local, nacional e internacional. Con la entrada en funcionamiento de LEP próximamente, el procesamiento de datos a distancia será progresivamente un factor cada vez más importante en este tipo de experimentación.

LA ORGANIZACION DEL CERN

El órgano supremo del CERN es el Consejo de la Organización, presidido por el profesor W. Kummer, de Austria, con dos Vicepresidencias y dos delegados por cada uno de los catorce Estados miembros. Polonia, Turquía y Yugoslavia figuran como observadores. Los otros órganos de consulta y decisión de la Organización son el Comité del Consejo, también presidido por W. Kummer, que incluye entre sus miembros un delegado del Consejo por Estado miembro el Comité de Finanzas, constituido por un delegado por Estado miembro, y el Comité de Política Científica, presidido por el profesor I. Manelli, de Italia, e integrado por físicos prestigiosos, presidentes del Consejo y Comité de Finanzas, y de los Comités de Experimentos en los distintos aceleradores del CERN.

El CERN está dirigido por un Director General, en la actualidad el profesor H. Schopper, y cuenta con dos Directores de Investigación, un Director Técnico, un Director de Administración, un Director del Proyecto LEP y un Director de Recursos Humanos. La organización interna del CERN está formada por un Consejo de Investigación, un Consejo de Gestión, Comités de Experimentos en LEP, en el SPS, en el PS y SC, un Comité Consultivo de la máquina LEP y un total de diez servicios o divisiones (División de Física Teórica, División de Física Experimental, División de Instalaciones Experimentales, División de Cálculo, División del Sincrotrón de Protones, División del Super Sincrotrón de Protones, División del Anillo Principal de LEP, División de Apoyo Técnico, División de Finanzas y División de Personal).

RETORNO TECNOLÓGICO

La función del CERN es de índole puramente científica y, en consecuencia, su fin no es la producción de objetos de uso práctico. Incluso en el caso de que el trabajo de investigación que se realiza en el CERN revelase una desconocida propiedad de la materia, abriendo la senda a una serie de nuevas y revolucionarias aplicaciones en el campo de la energía o de las comunicaciones, probablemente sería necesario esperar un período de tiempo relativamente largo antes de que pudiesen integrarse en los usos corrientes del mundo moderno. Sin embargo, como consecuencia del mecanismo continuo de mejora de prestaciones en las instalaciones ubicadas en sus laboratorios, los físicos, ingenieros y técnicos del CERN están permanentemente inmersos en un proceso de invención tecnológica, en estrecha colaboración con sus interlocutores empresariales, relacionado con una variedad amplia de áreas, tales como el electromagnetismo, la criogenia, las técnicas de alto vacío, los sistemas hidráulicos, la mecánica de precisión, la geodesia o la electrónica.

De esta cooperación la industria extrae beneficios, y aplica la experiencia adquirida en, por ejemplo, la construcción naval, la industria del ferrocarril, las centrales de energía eléctrica, las industrias de prospección petrolífera, las tecnologías de televisión y ordenadores... La Convención del CERN establece que las técnicas y procedimientos desarrollados por la Organización

están a disposición de los Estados miembros libres de carga. Es innegable que, dentro de este contexto, numerosas empresas europeas se han beneficiado de los desarrollos tecnológicos desarrollados por el CERN que son, en buena parte, resultado de un continuo intercambio entre el personal científico y técnico del CERN, y de los numerosos centros de investigación que participan en el programa experimental del CERN. Esta permanente transmisión de experiencia y conocimiento es de enorme importancia, puesto que fomenta el progreso de forma desinteresada, y contribuye al crecimiento del patrimonio cultural y científico de nuestra civilización.

ESPAÑA Y EL CERN

Formalmente, la Organización CERN se crea con la entrada en vigor de la Convención para el Establecimiento de una Organización Europea de Investigación Nuclear, el 29 de setiembre de 1954. España entró a formar parte del CERN en enero de 1961, retirándose, aduciendo razones de tipo económico, a finales de 1968.

Después de laboriosas negociaciones realizadas durante los años 1981 y 1982, el Consejo del CERN aceptó el reingreso de España en reunión del 24 de junio de 1982, culminando el proceso de adhesión con la aprobación por el Congreso de los Diputados y el Senado los días 22 de junio y 21 de setiembre de 1983, respectivamente.

Como resultado de las negociaciones realizadas durante la tramitación de la

adhesión de España al CERN, se acordó que:

- España no pagaría cuota de reingreso.
- España sería miembro de pleno derecho del CERN desde el momento de su adhesión, estableciéndose un período transitorio para los años 1983-1988, durante los que la cuota española sería reducida, creciendo progresivamente hasta alcanzar en 1989 el nivel acorde con las normas del Organismo.
- El Gobierno español se compromete a incrementar sustancialmente los gastos internos dedicados a promover programas científicos relacionados con los campos de la Física que se desarrollan en el CERN.

Desde la incorporación de España al CERN, la comunidad científica española, trabajando en Física de Altas Energías, ha experimentado un considerable desarrollo, integrándose plenamente en el Programa Experimental de la Organización. A título de ejemplo, es interesante señalar que grupos de investigadores españoles participan en tres de los cuatro experimentos aprobados en el acelerador LEP, que entrará en funcionamiento en 1989. La contribución española a este y otros proyectos del CERN es de un nivel científico muy notable. A la vista de los resultados ya obtenidos, no es aventurado pensar que, con el debido apoyo institucional, la Física Experimental de Altas Energías se consolidará en España, alcanzando unas excelentes cotas de calidad y competitividad en el ámbito internacional.

ACTIVIDAD NUCLEAR Y SECTOR ELECTRICO

Atención al contenido de nuestro número de septiembre

Aproveche su impacto

Reserve el mejor espacio publicitario