

El CERN y la Física de altas energías en España

Manuel Aguilar y Francisco J. Ynduráin

En este artículo se presenta una breve descripción de la evolución de la Física de Altas Energías en España durante los últimos cuarenta años. Se resumen las actividades en curso y se concluye, después de mencionar algunas debilidades de la situación actual, con unas perspectivas moderadamente optimistas.

España, el CERN y el entorno europeo

Hasta la segunda guerra mundial la mayor parte de la investigación, en lo que en aquella época podía llamarse física de altas energías y que se solapaba con lo que hoy conocemos como física nuclear, se realizaba en Europa. A pesar de que había importantes contribuciones americanas, notablemente en la construcción de aceleradores (recordemos a Lawrence en Berkeley y a van der Graaff en el M.I.T.), tanto en teoría (ésta sobre todo en Alemania) y experimentación, liderada por Gran Bretaña, el viejo continente producía la mayor cantidad y calidad de ciencia en esta disciplina.

Como para tantas otras cosas, la guerra produjo un desastre completo en la física de altas energías europea. Todos los físicos alemanes de origen judío y muchos de los que no lo eran, emigraron; algunos, como Peierls o Schrödinger, a las Islas Británicas; la mayoría a Estados Unidos. Los más brillantes físicos italianos, con Fermi a la cabeza, también siguieron el camino de América. Esta diáspora de talentos tuvo un doble efecto.

En primer lugar, esta emigración generó un importante incremento de la calidad de la física americana; es un hecho, y sin minimizar la importancia del colectivo autóctono, que la estela de excelencia que dejaron tras de sí personalidades como Wigner, Bethe y, en especial, Fermi fue espectacular.

En segundo lugar, la escasez de figuras realmente carismáticas en Europa, sobre todo en el continente, pesó muy fuerte a la hora de la reconstrucción. La gran tradición de la física teórica alemana, que había dominado la ciencia europea, se quebró de tal manera que, en el día de hoy, su nivel está probablemente por debajo del nivel de la española. La física centroeuropea, escandinava, holandesa y suiza, tradicionalmente ligadas de manera muy estrecha a la alemana, quedaron negativamente afectadas. En Francia, a los problemas derivados de la guerra, se añadía el persistente defecto de nuestros vecinos: muy buenos físicos experimentales y brillantes matemáticos, pero modesto colecti-



Vista aérea de las instalaciones del laboratorio CERN en la zona suiza. Al fondo, las montañas del Jura, hasta donde llega el túnel del acelerador LEP. (CERN photo).

vo de fenomenólogos. Finalmente, la ciencia británica fue la que salió mejor parada (aunque las dificultades económicas no perdonaron a nadie); de hecho, algún importante descubrimiento de la posguerra fue realizado por investigadores británicos.

El problema era, ciertamente, agudo. Y además, era evidente para los europeos occidentales que unos países devastados por la guerra mal podían, individualmente, competir con el gigante americano. Todavía en 1963 la renta *per capita* de los Estados Unidos, casi 3000 dólares de la época, doblaba a la alemana o francesa, que no llegaban a los 1500, y más que triplicaba a la italiana, con 900. La española apenas alcanzaba los 300.

A finales de los años cuarenta la percepción de la diezmada comunidad de físicos nucleares europeos era que una investigación en el campo de la física nuclear y subnuclear, competitiva con la que iba consolidándose en Estados Unidos, necesitaba la construcción de aceleradores de partículas de tamaño, complejidad y costes no aborables por los países de nuestro continente de forma unilateral. El mensaje de Louis de Broglie en la Conferencia Europea de la Cultura, celebrada en Lausana en diciembre de 1949, se considera como el punto de arranque del CERN. En diciembre de 1951 la *Unesco* auspicia una reunión intergubernamental con el objetivo de estudiar la viabilidad de construir un laboratorio europeo para la investigación en física nuclear. El 15 de febrero de 1952 once países firman el acuerdo por el que se establece el CERN, *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, y en octubre de ese mismo año el constituido *Consejo* del CERN designa a Ginebra como sede del nuevo Laboratorio Europeo. El 1 de julio de 1953 doce países (Bélgica, Dinamarca, Francia, República Federal de Alemania, Grecia, Italia, Holanda, Noruega, Suecia, Suiza, Yugoslavia y Reino Unido, ya vencidas sus reticencias iniciales) firman en París la Convención que establece la creación del CERN, cuya entrada en vigor tiene lugar el 29 de septiembre de 1954. En

mayo de ese mismo año se inician los trabajos previos de construcción del Laboratorio en terrenos de Meyrin, en la zona fronteriza franco-suiza próxima a Ginebra.

A mediados de 1955 se inicia la construcción del sincrociclotrón de protones de 600 MeV (SC) y los estudios previos para la construcción de un sincrociclotrón de protones con energía superior a los 20 GeV (PS). El 1 de agosto de 1957 se aceleran los primeros haces en el SC y el 24 de noviembre de 1959 el PS acelera por primera vez protones a una energía de 24 GeV, superando el récord mundial de 10 GeV en posesión del acelerador del laboratorio ruso de Dubna.

En paralelo, a partir de 1956, se inicia la construcción de cámaras de burbujas, detectores para el registro y visualización de interacciones que tendrían enorme relevancia en las décadas de los sesenta y setenta.

El 1 de enero de 1961 España ingresaba en el CERN. Ocho años más tarde abandonaba, oficialmente por razones financieras, la Organización, a la que retornaría (esperemos que definitivamente) en 1983.

Es indiscutible el papel emblemático que el CERN ha desempeñado, desde su creación, en el ámbito de la Ciencia Europea y en el de la cooperación internacional y es un magnífico ejemplo de las potencialidades de una Europa Unida. Es posible que el CERN haya tardado más tiempo de lo debido en escalar el primer puesto en la investigación en física de altas energías y no haya aprovechado las oportunidades que representaba la entrada en funcionamiento de sus mejores aceleradores (el PS en 1959 o los ISR –Intersecting Storage Rings– en 1971) antes que sus principales competidores norteamericanos (el AGS de Brookhaven en 1960, SPEAR de SLAC en 1973, el Tevatrón de Fermilab en 1974). La excelencia técnica e instrumental no venían probablemente complementadas por un conocimiento profundo de la fenomenología, una percepción clara de las cuestiones básicas y una suficiente capacidad de liderazgo; y, por otra parte, el carácter multinacional del CERN le ha producido una indudable inercia. El CERN casi nunca ha tenido la capacidad (muy americana) de arriesgar, o cambiar de rumbo cuando las ideas cambian. Sólo estas deficiencias pueden explicar que el CERN no se anticipase en el descubrimiento del neutrino del muón, la violación de la simetría CP y quedase al margen del descubrimiento del quark c; de hecho el programa experimental del CERN, durante los años sesenta y principios de los setenta, seguía en buena medida líneas establecidas en los laboratorios americanos sin incluir elementos realmente innovadores.

La tradición en la Ciencia es mucho más importante de lo que muchos piensan y el parón obligado de casi dos décadas debido a las consecuencias de la guerra había pasado factura.

El descubrimiento de las corrientes neutras en 1973 representa un significativo cambio de tendencia que equilibra el valor de las aportaciones científicas de Europa y Estados Unidos. El descubrimiento de las partículas W^\pm y Z^0 en el CERN (que esta vez sí arriesgó en un experimento innovador) en 1983 marca el momento en el que la física europea adelanta a la norteamericana.

Este hecho quedó incluso reflejado en la prensa diaria. Cinco días después del hallazgo en el CERN de las primeras evidencias de estas partículas, el periódico *New York Times* publicó un artículo virulento: “Europa 3; U.S., ni siquiera Z-zero”, en el que clamaban “venganza” (!). Pero la venganza, de momento, no ha llegado. De hecho, el programa LEP del CERN realizado durante la década de los 90 ha inclinado más la

balanza en beneficio de Europa. Desgraciadamente, no es evidente ni mucho menos que esta pauta vaya a mantenerse en el inicio del siglo XXI. En efecto, el prematuro cierre del acelerador LEP (*Large Electron Positron machine*) y el retraso en la entrada en funcionamiento del próximo gran acelerador del CERN, el LHC (*Large Hadron Collider*), ponen en peligro la hegemonía europea.

En la actualidad el CERN está formado por 20 países miembros y sus laboratorios ocupan una extensión de 112 hectáreas en Suiza y 490 en Francia. El presupuesto para el 2002 es de 958,2 millones de francos suizos; la contribución española representa el 6,94%. A finales del año 2001 los efectivos de personal en plantilla alcanzan la cifra de 2663 personas, a los que hay que añadir becarios, asociados, estudiantes y aprendices pagados por la Organización hasta un total de 3398. El programa experimental consta de 4 experimentos en fase de análisis de datos, 14 en preparación y 57 en funcionamiento. El número de institutos y universidades participantes es de 281 de países miembros y 220 de países no miembros. El número de físicos investigadores procedentes de países miembros es 4752 y de países no miembros es de 1740.

El CERN es esencialmente un laboratorio europeo con vocación de dar servicio a una comunidad a escala mundial. Más del 50% de los investigadores en física de altas energías utilizan las instalaciones del CERN. Desde sus inicios, los experimentos que se realizan en los aceleradores del CERN se diseñan, construyen y operan por colaboraciones formadas por grupos de investigadores procedentes de numerosos centros de investigación y departamentos universitarios. Progresivamente este tipo de esfuerzo colaborativo se ha extendido al ámbito de la construcción de los propios aceleradores.

La escalada de costes ha propiciado la práctica desaparición de los aceleradores para física de altas energías en los laboratorios nacionales. Países con gran tradición en el desarrollo de estas instalaciones, caso de Francia y Reino Unido, han renunciado a construir nuevos grandes equipamientos y han optado por reconvertir instalaciones en desuso en fuentes de radiación sincrotrón, pero manteniendo robustos programas de I+D en aceleradores. Sólo Alemania e Italia, la segunda a una escala mucho menor, mantienen aceleradores para investigación en física de partículas en laboratorios nacionales.



Cámara de burbujas desmontada en los jardines del CERN.
A la derecha, el émbolo (CERN photo)

Desde 1959 Alemania cuenta con un gran laboratorio para física de partículas de características similares, aunque de menor tamaño, al CERN. En Hamburgo se encuentra DESY (Deutsches Elektronen Synchrotron) que ha albergado aceleradores diversos, el primero de los cuales, un sincrotrón de electrones de hasta 7,5 GeV, entró en funcionamiento en 1964 y a él debe su nombre el laboratorio. En 1974 se inauguraba el anillo de colisiones electrón-positrón DORIS (*Double Ring Store*) que alcanzaría energías próximas a los 11,6 GeV. El programa experimental en esta instalación obtuvo importantes resultados relacionados con el leptón tau y los estados ligados de quarks pesados. El relevo lo tomaría en 1978 el anillo de colisiones PETRA (Positron Electron Tandem Ring Accelerator) que llegaría hasta energías de 46 GeV. Su resultado más notable fue el descubrimiento en 1979 de los gluones, partículas mediadoras de la interacción fuerte y, algo más tarde, la primera señal del propagador de la partícula Z^0 .

Desde 1990 funciona el colisionador electrón (positrón)-proton HERA (Hadron-Electron Ring Accelerator), instalación única en su género que se construyó con aportaciones en equipamiento de otros países europeos y del continente americano. Desde 1964 funciona en DESY un laboratorio para la experimentación con radiación sincrotrón que, a partir de 1980, utiliza el remodelado acelerador DORIS y se denomina HASYLAB. En la actualidad DESY estudia la posibilidad de construir una colisionador lineal superconductor de alta energía, TESLA (TeV-Energy Superconducting Linear Accelerator), que de construirse sucedería al LHC del CERN como la máquina estrella de Europa.

Italia, gracias a los trabajos pioneros de B. Touschek, ha tenido un notable protagonismo en el sector de los sincrotrones electrón-positrón. En el Laboratorio Nacional de Frascati se construyó en 1962 el sincrotrón electrón-positrón ADA que alcanzó la energía de 0,5 GeV. Posteriormente, en 1969, ADONE entró en funcionamiento y alcanzó una energía de 3,1 GeV en 1974, días después del descubrimiento del J/Ψ en Brookhaven y SLAC. Desde 1999 funciona el anillo de colisiones DAΦNE, una máquina de alta luminosidad en torno a 1 GeV que estudiará la violación de la simetría CP en kaones neutros aunque, de momento, sus prestaciones no sean del nivel esperado.

Francia, que tuvo un espléndido programa de aceleradores desde finales de los años cincuenta (sincrotrón de protones Saturno en Saclay, Acelerador Lineal de Orsay, anillos de colisiones ACO y DCI), y el Reino Unido, que también fue muy activo en esa época (Nimrod en el Rutherford Laboratory, y el sincrotrón de Daresbury), declinaron seguir en la carrera de los grandes aceleradores. La existencia de los correspondientes programas de I+D ha propiciado la formación de un colectivo muy valioso de físicos aplicados, ingenieros y técnicos que permite a estos países seguir en primera línea en todo lo relativo a la construcción de los grandes equipamientos necesarios para la investigación experimental en física de altas energías y astrofísica de partículas.

España, desgraciadamente, no ha tenido nunca un programa serio en materia de aceleradores y eso explica el tamaño limitado e insuficiente del colectivo de instrumentalistas y la mayor dificultad a la hora de abordar competitivamente la participación en los proyectos de construcción de grandes instalaciones científicas.

La Física de altas energías en España

El desarrollo de la física de altas energías en España, especialmente su componente experimental, es un ejemplo paradigmático de errática política científica gubernamental que, sólo recientemente, parece haberse estabilizado. Las lecciones del pasado deberían educar a los responsables en estas materias y así, en el futuro, evitar errores con consecuencias perniciosas para los grupos de investigación implicados. La investigación en esta disciplina tiene unas peculiaridades (costes, calendarios, cooperación internacional, sinergias con sectores industriales) que aconsejan actuaciones continuadas a largo plazo, sin sobresaltos, improvisaciones o irreflexivos cambios estratégicos.

Hasta bien entrada la década de los cincuenta, España estuvo ausente del escenario en el que se desarrollaba la física de altas energías. El grupo pionero en esta disciplina fue el IFIC (Instituto de Física Corpuscular), Centro Mixto CSIC-Universidad de Valencia, de cuya creación se han cumplido, en 2001, cincuenta años. Este grupo alcanzó una razonable reputación en el estudio experimental con emulsiones fotográficas de la radiación cósmica. El dominio de esta técnica le permitió en años sucesivos mantener una participación visible en experimentos en aceleradores que utilizaban, para la detección de interacciones, sistemas híbridos que integraban emulsiones y adaptarse al escrutinio de clichés fotográficos producidos en experimentos con cámaras de burbujas.

De este grupo inicial brotaría, además, el grupo que iniciaría en la Universidad de Cantabria una actividad que, con el paso de los años, se ha consolidado.

Mayor relevancia tendría, para el futuro de la disciplina, la iniciativa de organizar en 1965, en la Junta de Energía Nuclear (JEN), un curso de formación en física de altas energías para jóvenes licenciados. La JEN se había creado en 1951 y sus actividades principales estaban focalizadas hacia la fisión nuclear. A pesar de lo cual, a principios de la década de los sesenta, existía un reducido grupo de físicos teóricos investigando en física subnuclear. Por otra parte, desde el ingreso de España en el CERN en 1961, la JEN asumió el papel de interlocutor oficial con la organización europea. La relevancia que para el futuro desarrollo de la disciplina, en sus vertientes teórica y experimental, tendría el pequeño grupo de investigadores teóricos y el curso de iniciación es indiscutible.

La decisión de poner en marcha algún tipo de iniciativa movilizadora estaba motivada por la constatación, por parte de algunos dirigentes de la JEN, de la insostenible relación de España con el CERN a mediados de la década de los sesenta. España contribuía a este organismo con, aproximadamente, 300 millones de pesetas al año, cifra desproporcionada a la vista de los retornos de formación y económicos. A título de ejemplo es ilustrativo recordar que, en 1963, el contingente español en el CERN se reducía a dos físicos teóricos, tres experimentales y dos técnicos procedentes del IFIC y la JEN. Y lo peor es que este colectivo representaba casi la mitad del total de físicos de altas energías del país.

La iniciativa puesta en marcha en 1965 fue todo un éxito y debe considerarse como el punto de arranque de la física experimental de altas energías en España. Con el apoyo material de la JEN, se pudo, en un intervalo de tiempo relativamente corto, equipar un laboratorio capacitado para participar en las colaboraciones internacionales que hacían experimentos en cámaras de burbujas. Simultáneamente se iniciaba un interesante desarrollo en la vertiente teórica: todo parecía indicar que se estaba en la

vía correcta para participar adecuadamente en esta disciplina científica.

Desgraciadamente, a finales de 1968, las autoridades españolas decidían la retirada de España del CERN, retirada que se hizo efectiva en 1969. Esta medida, que apenas tuvo repercusiones negativas en el emergente colectivo teórico, puso en grave peligro la continuidad de la todavía muy frágil comunidad experimental, ya que sus miembros más experimentados abandonaron la JEN. Sin embargo, a pesar de tan notables pérdidas, la existencia de unos ciertos medios técnicos, el importante apoyo de algunos investigadores del CERN, especialmente el Dr. Lucien Montanet, y la perseverancia de los jóvenes investigadores que quedaron en la JEN, con las incorporaciones de algunos físicos del IFIC, hicieron posible mantener una cierta actividad, destacando la participación con el IFIC en el experimento X2 (estudio de desintegraciones de kaones), en el experimento X3 (desintegraciones del mesón η) y en un experimento para estudiar la producción de resonancias en procesos de colisión K^+ protón a 10 GeV/c. Factor importante en el mantenimiento de las vitales conexiones con el CERN y con la comunidad internacional fue la creación del “*International Winter Meeting on Fundamental Physics*” cuya primera edición tuvo lugar en 1973 y que ha continuado celebrándose anualmente de forma ininterrumpida. A principios del año 2002 se cumplió la trigésima edición de esta Reunión que ha servido también como foro de discusión e instrumento de cohesión de la comunidad investigadora, especialmente la experimental.

El retorno a España, a partir de 1971, de algunas de las personas que habían formado parte del grupo que asistió al curso JEN de 1965 y que habían realizado su tesis doctoral en el CERN, junto con un nuevo proyecto experimental y la incorporación de varios jóvenes licenciados, entre ellos los que hoy dirigen los grupos del CIEMAT, la Universidad Autónoma de Madrid y el Instituto de Física de Altas Energías de Barcelona, relanzó de forma imparable el lento y extraordinariamente difícil proceso de consolidación de una actividad que, con el paso de los años, ha alcanzado un notable nivel de excelencia.

La actividad del grupo de la JEN durante la década de los setenta se centró en el análisis de datos procedentes de experimentos realizados en las cámaras de burbujas del CERN: el estudio de las aniquilaciones de antiprotones en hidrógeno a bajas energías (700-720 MeV/c), el estudio de la producción de resonancias mesónicas y bariónicas en procesos de colisión π -protón a 3,9 GeV/c –experimento propuesto por el grupo de la JEN– y K -protón a 4,2 GeV/c. Al final de esta década el grupo inicia su participación en la construcción de un espectrómetro híbrido de grandes dimensiones, el EHS (European Hybrid Spectrometer), para el que diseña y construye un detector de umbral de tipo Cerenkov de alta temperatura y grandes dimensiones ($2,15 \times 1 \times 12,5$ metros). Con el EHS se realizan distintos experimentos con haces de piones negativos y protones de alto momento (360, 400 GeV/c) y distintas cámaras de burbujas de muy alta resolución y rápido ciclo de expansión (LEBC, RCBC). Uno de los objetivos científicos más relevantes de este programa es el estudio de las propiedades intrínsecas y los mecanismos de producción de partículas conteniendo un quark c.

A principios de la década de los ochenta se negocia con el Prof. Samuel C.C. Ting, Premio Nobel de Física 1976 por el descubrimiento del quark c, la participación de un grupo de investigadores en el experimento Mark-J instalado en el sincrotrón de electrones y positrones PETRA del laboratorio

alemán DESY. Esta iniciativa, a la que sigue inmediatamente la decisión de participar en la preparación de una carta de intención para construir el experimento L3 para el acelerador LEP del CERN, aprobado en diciembre de 1981, supone un punto de inflexión en la trayectoria del grupo que amplía sus horizontes de investigación y asume importantes responsabilidades en la construcción de equipos de detección. A la preparación del experimento L3, y a las actividades de análisis de los datos obtenidos en el Mark-J y en los experimentos del EHS, se une una relevante participación en el programa de iones pesados del acelerador SPS del CERN (experimentos NA36 en el EHS y WA85 y WA94 con haces de O^{16} , S^{32} , blancos de S, Al, Pb,... y distintas energías (60, 200 GeV/c)). En 1986 el grupo se integra en la segunda fase de la colaboración UA1 en el colisionador de protones y antiprotones SPPS, experimento dirigido por el Prof. Carlo Rubbia que en 1983 había descubierto los bosones Z^0 y W^\pm .

A finales de 1983 se produce el retorno de España al CERN, y la creación de un Plan Movilizador de la Física de Altas Energías. Este Plan, que ha tenido su continuación a partir de 1986 en los sucesivos Programas Nacionales de Física de Altas Energías y de Física de Partículas y Grandes Aceleradores, permitió la reincorporación de investigadores experimentados tras largas estancias en laboratorios prestigiosos, la creación de nuevos grupos de investigación (en las Universidades Autónomas de Barcelona y Madrid y en la de Santiago de Compostela) y la revitalización de otros grupos (el IFIC de Valencia y el de la Universidad de Santander) que, a pesar de los limitados recursos, habían mantenido un digno nivel de actividad en distintos experimentos del CERN. En particular el IFIC había participado en los experimentos WA58 y WA71 en el espectrómetro Ω dedicados al estudio de la producción de quarks pesados (b y c) en interacciones de fotones y piones de alta energía. Esta línea de investigación se continuaría a través de la participación en el experimento NA32. El IFIC también estaría presente, durante la década de los ochenta, en el programa de iones pesados del CERN y, más concretamente, en el estudio de la supresión de la resonancia J/Ψ realizado en el experimento NA38. También participó en el programa del colisionador SPPS dedicado a la medida de la sección eficaz total del proceso $p\bar{p}$ a 540 GeV, experimento UA4/2. El grupo de la Universidad de Santander había colaborado a mediados de la década de los setenta en experimentos con emulsiones en el laboratorio americano de Fermilab y posteriormente en experimentos en el CERN: NA17 y WA58 y WA71, éstos últimos en colaboración con el IFIC de Valencia.

Las perspectivas favorables acerca del retorno de España al CERN animaron a la comunidad experimental de físicos de altas energías a participar, desde sus inicios, en el programa de LEP. Hemos glosado en otros artículos, en especial en esta Revista, la presencia destacada de la comunidad científica española en el programa experimental del colisionador LEP, iniciada el 13 de agosto de 1989 y concluida el 2 de noviembre de 2000. Investigadores del CIEMAT (antigua JEN), Instituto de Física de Altas Energías (IFAE), consorcio Generalitat de Catalunya-Universidad Autónoma de Barcelona, creado en 1992, IFIC, Instituto de Física de Cantabria (IFCA), centro mixto CSIC-Universidad de Cantabria, creado en 1995, han participado de forma visible en tres de los cuatro experimentos que han operado en LEP: ALEPH (IFAE), DELPHI (IFIC, IFCA), L3 (CIEMAT). Esta participación ha abarcado todas las etapas del programa experimental de estos tres detectores: diseño conceptual, construcción de instrumentación, ensamblaje e instala-



Interior del túnel del acelerador LEP. Los haces de partículas se mueven en un tubo de vacío situado en el interior de la estructura con sección rectangular (imanes) que corre a lo largo del túnel. El tamaño de éste es aparente en que apenas se vislumbra su curvatura. (CERN photo)

ción en áreas experimentales, operación y mantenimiento, análisis de datos, publicación de resultados, comunicaciones y seminarios en los foros internacionales de mayor relieve.

Los grupos de la Universidad Autónoma de Madrid y Santiago de Compostela no participaron en el programa LEP. Al primero de ellos nos referiremos más adelante. El grupo de Santiago de Compostela participó, en colaboración con el CIEMAT, en el experimento NA36 (colisiones de iones ultrarelativistas) y en el experimento SMC para la medida de las funciones de estructura polarizadas del protón y neutrón en colisiones profundamente inelásticas inducidas por muones de 200 GeV. Desde 1995 es uno de los equipos que lideran el experimento DIRAC para el estudio de átomos piónicos, para el que ha construido detectores de trazas y hodoscopios.

El Gift y la Física Teórica

En contraste con la incierta situación por la que pasó la física experimental en los primeros años 70, la física teórica de altas energías conoció un espectacular despegue entre 1969-1982, despegue que la ha llevado a ser una de las pocas áreas de la ciencia española en la que el nivel medio es muy alto, e incluso existen unos cuantos centros cuyo altura científica está bastante por encima del nivel medio de los países desarrollados. Es difícil de atribuir una causa específica a este despegue, pero creemos que cualquier análisis deberá incluir al menos las siguientes. En primer lugar, la imbricación de la física teórica en las universidades, lo que permitió tanto la captación de estudiantes como aprovechar el crecimiento de la universidad española en aquella época. En segundo lugar, la existencia de una financiación importante, de la que luego hablaremos. Pero, sobre todo, fue esencial que, por una de las afortunadas circunstancias que tanta importancia tienen a veces en la historia, bastantes de los físicos teóricos con rango *senior* en aquellos años resultaran ser personas no sólo de alto nivel científico, sino (lo que es más difícil, e importante) dotados además de una visión moderna, generosa y amplia.

Un papel central en el desarrollo de la física teórica lo jugó el GIFT. El GIFT (iniciales del Grupo Interuniversitario de Física Teórica) ha sido una de las instituciones científicas más peculiares que hayan existido en nuestro país. Su origen y justificación fue el ahorro de 300 millones de pesetas que España realizó al abandonar el CERN: para hacer algo más digerible esta medida, el Gobierno declaró que estaba dispuesto a invertir este dinero en el país, parte en financiar a los grupos experimentales, y parte en la física teórica. Aunque la cantidad de

hecho librada nunca llegó probablemente (para el total, teoría mas experimento) ni al 30% de la cuota del CERN, y además disminuyó año tras año, lo cierto es que la física teórica española nunca ha sufrido apreturas económicas desde 1970. La Administración, para distribuir estas subvenciones a la física teórica, lo hizo a través de la JEN, formalmente a la persona que en cada momento era director del GIFT, *a título personal*. En efecto, legalmente el GIFT no existía ni, de hecho, ha existido nunca.

En la primera parte de este período los centros que formaban *de facto* el GIFT eran los grupos teóricos de la JEN y el CSIC y los de las Universidades de Valencia, Zaragoza y Complutense, a los que pronto se añadirían la de Barcelona y las Autónomas, primero la de Madrid y luego la de Barcelona. Posteriormente, en la etapa democrática, los problemas más urgentes de la transición política primero, y la pérdida de interés del GIFT (al acabarse las subvenciones vía JEN) después, hicieron que nunca llegara a legalizarse este organismo que, formalmente, se autodisolvió en 1998, después de llevar una vida cada vez más lánguida durante los años ochenta y noventa.

El presupuesto del GIFT se dedicaba a la organización de cursos avanzados, a la de una Escuela Avanzada de Física de Altas Energías (teórica, casi exclusivamente; la física experimental tenía su expresión en el Winter Meeting que ya hemos citado) o de temas conectados directamente con esta, y a sufragar los gastos de visitas cortas, tanto de científicos españoles al extranjero, como de extranjeros a nuestro país. Además, se incluyó un programa de becas que permitieron a jóvenes españoles realizar estudios postdoctorales en prestigiosos centros americanos y europeos.

Es hasta cierto punto asombroso que esta estructura, enormemente frágil, se mantuviera durante un buen número de años sin pervertirse. Su labor fue extraordinariamente positiva, no sólo para la física teórica sino, por contagio, para toda la física (y, en menor medida, para toda la ciencia) española ya que implicaba una bocanada de aire fresco, de modernidad y de internacionalización de las que la Universidad de la época estaba muy necesitada.

Situación actual: Física Experimental

El Programa LHC

Los grupos experimentales españoles participan en tres de los cuatro experimentos aprobados para el colisionador protón-protón LHC del CERN cuya entrada en funcionamiento está prevista para el año 2007.

El CIEMAT y el IFCA participan en el experimento de propósito general CMS. Su contribución se circunscribe al espectrómetro central de muones (el CIEMAT construye el 25% de las cámaras de deriva) y al sistema óptico-mecánico de alineamiento entre los detectores de muones y el detector central de trazas (CIEMAT e ICFA). Recientemente se ha incorporado a CMS un pequeño grupo de investigadores de la Universidad Autónoma de Madrid que realizará tareas relacionadas con la detección de muones. Un muy reducido grupo de la Universidad de Oviedo colabora con el IFCA en algunas actividades.

El IFIC, el IFAE de Barcelona y la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) participan en el otro experimento de propósito general, ATLAS. Su contribución abarca tres detectores: el detector central de trazas con tecnologías de silicio (IFIC), el calorímetro hadrónico (IFIC, IFAE) y el calorímetro lateral electromagnético de argón líquido (UAM). El Centro Nacional



Cavidad (izquierda) e imán dipolar de 15 metros, superconductores, prototipos de los que se utilizarán en LHC (que requerirá 1232 imanes del tipo mostrado). (CERN photo)

de Microelectrónica de Barcelona colabora con el IFIC en la construcción de módulos del detector central.

El grupo de altas energías (GAE) de la Universidad de Santiago de Compostela y el grupo recientemente creado en la Universidad de Barcelona (UB) participan en el experimento LHCb, específicamente pensado para el estudio de hadrones con quark b. El GAE tiene actividades en la construcción del detector de trazas, también basado en tecnologías de silicio, y el grupo de la Universidad de Barcelona en desarrollos de electrónica para el calorímetro electromagnético. Un pequeño grupo de la Universidad Ramon Lull colabora con la UB en estas tareas.

La contribución de España a CMS, ATLAS y LHCb es del 1,3%, 2,1% y 2,5% respectivamente. Aproximadamente el 50% de la financiación de la construcción de los experimentos del LHC procede de países que no pertenecen al CERN (Estados Unidos, Rusia, Japón, Canadá, China, India, ...). En el caso de CMS y ATLAS una significativa parte de la contribución española se ha hecho en forma de infraestructura y equipamiento de carácter general y ha sido fabricado por industrias españolas. Destaca en particular la fabricación de las 8 grandes cámaras de vacío para los imanes toroidales superconductores de ATLAS realizada por Felguera Construcciones Mecánicas con el asesoramiento y supervisión del IFAE de Barcelona.

Otros Programas del CERN

Trás el cierre del acelerador LEP y a la espera de la entrada en funcionamiento del colisionador LHC, la actividad experimental del CERN ha quedado muy reducida. Aparte de la participación ya mencionada en el experimento DIRAC, único experimento activo en el sincrotrón de protones (PS), investigadores de la Universidad de Zaragoza participan en el experimento CAST para la detección de axiones solares e investigadores del IFIC colaboran en el experimento HARP dedicado a la medida de secciones eficaces de interés para futuros experimentos con haces intensos de neutrinos (superhaces, factorías de neutrinos). Muy recientemente se ha creado un pequeño grupo experimental en la Universidad de Granada que tiene previsto participar en el experimento ICARUS que previsiblemente se instalará en el Laboratorio Gran Sasso y estudiará el flujo de neutrinos solares y atmosféricos, posibles oscilaciones de neutrinos en el haz CNGS del CERN y la posible inestabilidad del protón.

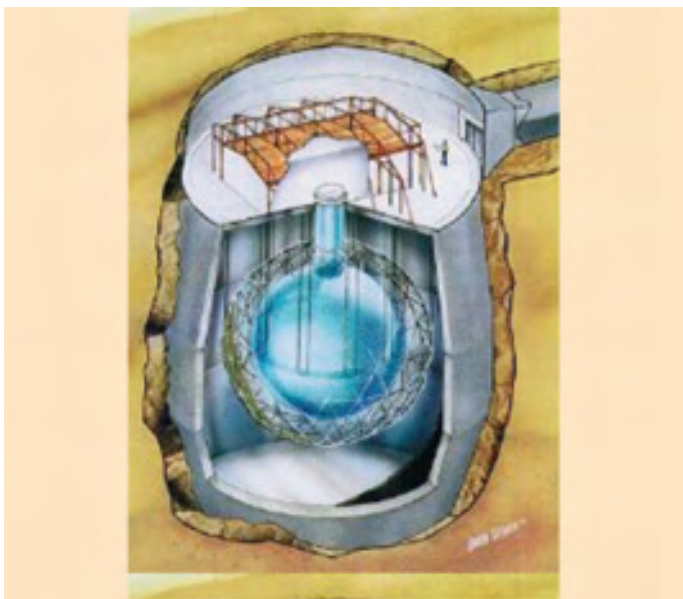
La Astrofísica de Partículas

Un sector importante de la comunidad experimental ha optado, siguiendo lo que ya es práctica habitual en Europa y Estados Unidos, por la Astrofísica de Partículas, disciplina que cuenta progresivamente con un mayor número de adeptos. Este campo científico aborda cuestiones de Astrofísica, Cosmología, Física Nuclear y Física de Partículas y utiliza instrumentación muy variada y áreas experimentales en superficie, en laboratorios subterráneos, en plataformas espaciales y en entornos submarinos.

En España el grupo de la Universidad de Zaragoza, Laboratorio de Física Nuclear y Altas Energías, ha sido el pionero en la investigación con detectores ubicados en laboratorios subterráneos y ha participado, desde 1985, en numerosos experimentos (IGEX, COSME, ANAIS, ROSEBUD, CUORICINO) dedicados al estudio de las propiedades de los neutrinos y a la búsqueda de candidatos de materia oscura. Gran parte de esta investigación se ha realizado en las instalaciones del Laboratorio Subterráneo de Canfranc que, en la actualidad, está en proceso de expansión y mejora.

El grupo de la Universidad Complutense de Madrid mantiene una notable actividad en el estudio de rayos gamma de muy alta energía través de su participación desde 1987 en el experimento HEGRA (High Energy Gamma Ray Astronomy) en las instalaciones del Instituto de Astrofísica de Canarias en el Roque de los Muchachos en la isla de la Palma. Este grupo ha contribuido a la construcción de detectores de centelleo y luz Cerenkov y participado en la obtención de importantes resultados como, por ejemplo, la detección de objetos galácticos y extragalácticos en el rango de energías de TeV. La construcción del telescopio MAGIC, de 17 metros de diámetro, supone la continuación natural de esta línea de investigación. En este proyecto también participa un grupo del IFAE, que ha asumido importantes responsabilidades técnicas –construcción de la cámara con fotosensores– y colidera junto al Instituto Max Planck la colaboración, y un reducido grupo de la Universidad Autónoma de Barcelona.

Otro grupo de investigadores, pertenecientes a la Universidad de Santiago de Compostela, participa en el experimento Auger para el estudio de radiación cósmica de muy alta energía utilizando una red de grandes dimensiones (3000 km²) de detectores desplegada en la provincia de Mendoza en Argentina. Aunque inicialmente este grupo, esencialmente teórico, se había concentrado en el estudio de los rayos cósmicos de gran ángulo zenital, recientemente se ha identificado una posible contribución de carácter técnico (los paneles solares para las estaciones de centelleo).



Esquema del detector instalado en SNO (Sudbury neutrino observatory). En el centro, agua pesada (deuterio); en el exterior, agua normal. La escala la da la minúscula figura humana situada en la plataforma de arriba, a laderecha. (Courtesy of SNO).

Investigadores del IFIC forman parte de la colaboración ANTARES que estudiará los neutrinos de muy alta energía, de origen galáctico y extra-galáctico, con una malla de módulos ópticos para la detección de radiación Cerenkov desplegada en una fosa submarina en una zona del Mediterráneo próxima a Tolón. Este grupo ha asumido importantes responsabilidades en la construcción de los sistemas de calibración temporal óptica del detector mediante fuentes de luz pulsada y en el desarrollo de los algoritmos de reconstrucción de muones.

Finalmente, un grupo del CIEMAT participa en la construcción del experimento AMS que se instalará en la Estación Espacial Internacional en el año 2005 y que durante tres años registrará datos de rayos cósmicos para detectar antimateria nuclear en el Universo cercano, identificar señales de materia oscura y medir la abundancia y composición de núcleos de hasta Z igual a 20 y núcleos isotópicos. AMS es el primer espectrómetro magnético superconductor que será enviado al espacio. El CIEMAT lidera la construcción del detector de luz Cerenkov y, en colaboración con la empresa CRISA, ha asumido el diseño y la fabricación de la electrónica del imán.

Esta participación de físicos españoles en experimentos de astro-partículas es importante, y sería deseable que se incrementara. Como han demostrado de forma impactante Kamiokande en Japón y SNO (*Sudbury Neutrino Observatory*) en Canadá, al resolver la cuestión de mezclas y oscilaciones de neutrinos, la física de partículas del futuro pasará, en buena medida, por experimentos de este tipo.

La Física Nuclear Experimental

Las medidas de acompañamiento que se implementaron en paralelo a la entrada de España al CERN en 1983 no sólo han permitido el desarrollo de la Física de Altas Energías sino también el de la Física Nuclear Experimental. Los grupos del CSIC en Madrid y del IFIC de Valencia han sido los pioneros en esta tarea que, con el paso del tiempo, ha movilizado un colectivo de

tamaño notable y creciente. Una buena parte de la actividad se ha centrado en los programas experimentales de ISOLDE y REX-ISOLDE en el CERN, pero esta comunidad ha desplegado su actividad en otros centros europeos (Legnaro, Gani, GSI,...) y americanos (Argonne,...), y ha alcanzado renombre internacional por sus contribuciones al estudio de nuevos modos de desintegración de núcleos ligeros y en técnicas de espectroscopía de absorción total. Investigadores de las Universidades de Santiago de Compostela, Sevilla, Huelva, Politécnica de Catalunya también colaboran en estos proyectos. A destacar la visible participación de una colaboración de grupos españoles, liderada por el CIEMAT, en el programa NTOF del CERN destinado a la medida de secciones eficaces de procesos nucleares inducidas por neutrones, producidos en una fuente de espalación, con blancos nucleares.

Participación en programas de otros

Grandes Laboratorios

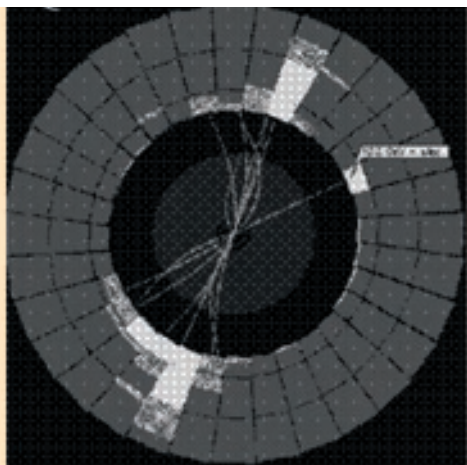
Aunque una fracción importante de la comunidad experimental de física de altas energías realiza la mayor parte de su actividad en el contexto de los programas de investigación del CERN, es oportuno señalar que, al margen de la creciente dedicación a proyectos que no requieren aceleradores, una parte muy activa del colectivo científico participa en programas de otros grandes laboratorios.

Desde su creación, a mediados de la década de los ochenta, el grupo de la Universidad Autónoma de Madrid ha centrado su labor investigadora en los programas del laboratorio alemán DESY, primero participando en el experimento TASSO del sincrotrón PETRA y posteriormente en el experimento ZEUS del colisionador HERA. Para este segundo proyecto, el grupo construyó partes de subdetectores (detector de trazas, calorímetro de uranio y centelleador, sistemas electrónicos y de fotodetección) y ha liderado el análisis de los datos en algunos temas científicos del máximo interés.

Desde 1999 un grupo de investigadores del IFCA de Santander participa en el experimento CDF del anillo de colisiones protón-antiprotón de Fermilab. Para este experimento el IFCA ha construido componentes del detector de muones y del sistema de contadores de tiempo de vuelo.

Situación actual: Física Teórica

Por contraste con la física experimental, que está sin duda consolidándose cada día más, la física teórica parece haber tocado techo. En esto último no se diferencia mucho la situación en España de la que se da en otros países de nuestro entorno cultural. Es cierto que la física teórica siguió creciendo en cantidad y calidad en los años ochenta; una lista de los científicos españoles en este área que han tenido reconocimiento internacional no tiene sentido, pero podemos citar que desde hace bastante tiempo los físicos españoles han sido el contingente más numeroso entre el *staff* de teóricos del CERN. Sin embargo no todo es de color de rosa, incluso en este campo. La falta de conexión con, y de presencia en, grupos experimentales, e incluso de resultados experimentales novedosos en sí, está llevando a una predominancia de investigaciones desligadas de la observación experimental. En España (consecuencia indudable de nuestra historia) la pirámide *física especulativa, teoría, fenomenología, experimento y técnica-física aplicada* está invertida. Tal vez por



Partículas detectadas en el detector Zeus, instalado en el acelerador HERA. Las trazas son producidas por el paso de partículas por el detector interno, y las manchas blancas representan la cantidad de energía depositada por las que llegan al detector externo: el detector es de tipo mixto, incluyendo detector de trazas y calorímetro. La figura está generada electrónicamente.

ello no se ha producido aún ningún descubrimiento fundamental que se pueda asociar al nombre de un teórico de nuestro país.

Con respecto a los grupos de investigación, y los temas de la misma, una enumeración (sin pretensiones de completitud) incluiría en particular a los grupos de tamaño medio en las Universidades de Barcelona (con intereses en fenomenología y física matemática) y Autónoma de Barcelona (fenomenología y física especulativa); a un grupo muy fuerte (aunque de pequeño número de científicos) en la Universidad Autónoma de Madrid, con físicos especializado en cosmología, cuerdas, cromodinámica cuántica y fenomenología en general; un grupo bastante más numeroso, con intereses fundamentalmente fenomenológicos (interacciones fuertes y electrodébiles) más algún físico matemático en Valencia; a dos grupos, interesados en la frontera entre física nuclear y de partículas y, sobre todo, en teorías en retículos en Zaragoza; y a grupos más pequeños, pero todos de buena calidad y alguno en franco crecimiento, en las Universidades de Santiago de Compostela, País Vasco (Lejona), Granada y Salamanca (por orden decreciente de tamaño). Finalmente tenemos a varios grupos en el CSIC, y en la Universidad Complutense de Madrid, numéricamente el conjunto más importante, pero con intereses centrados (salvo algunas excepciones) en problemas de física matemática, a veces sin conexión con la física de altas energías.

Perspectivas y conclusiones

En los últimos veinte años la física de altas energías ha dado un indiscutible estirón, llegando a alcanzar un reconocido prestigio en los foros internacionales. La comunidad científica española trabajando en este campo está formada por, aproximadamente, 220 físicos, ingenieros y técnicos pertenecientes a doce grupos experimentales. Además hay, aproximadamente, 200 físicos teóricos, repartidos en casi una docena grupos.

Una parte importante del colectivo investigador realiza sus actividades en el marco de los programas del CERN. De hecho, un total de 161 investigadores, experimentales en su mayoría, aparecen registrados como usuarios del CERN. Esto representa un 2,92% de un total de 5512 usuarios. Un 28,3% de este colectivo corresponde a usuarios procedentes de países que no son miembros del CERN.

El paulatino incremento de la comunidad de investigadores al que ha seguido, a partir de 1996, un notable aumento de la dotación del Programa Nacional, ha contribuido a mejorar nuestra presencia en el CERN. A finales del año 2001, del total de 2663 personas que forman la plantilla del CERN, 84 son de nacionalidad española (un 3,15%). Los datos oficiales reflejan, por otra parte, que España tiene en la actualidad un gran número de becarios en el CERN: 30. Esto representa el 13,3%, porcentaje sólo superado por Italia. En el cómputo global, sobre un total de 3398 personas (plantilla, becarios asociados, estudiantes y aprendices) se contabilizan 159 españoles, un 4,68%. Estos datos confirman una constante progresión de la presencia española en el CERN, a pesar de la significativa reducción de la plantilla del Organismo en los últimos 10 años.

La creciente actividad de la comunidad ha incidido en la notable mejora de los índices de retornos industriales. En el año 2001 España consiguió el 8,0% de las adquisiciones del CERN a Países Miembros y el 4,0% del total de suministros de servicios industriales. Los índices obtenidos son mejores que los correspondientes a tres de los cuatro países (Alemania, Francia, Italia y Reino Unido) que tienen una contribución a los presupuestos del CERN superior a la de España.

A pesar la evolución favorable de la comunidad de físicos experimentales, es innegable que no se han alcanzado las expectativas creadas a principios de los ochenta. La progresión ha sido más lenta y difícil de lo previsto y no exenta de situaciones de alto riesgo, en particular el irresponsable contencioso con el CERN a principios de la década de los noventa. Esto explica que España no haya tenido participación alguna en programas importantes del CERN, especialmente en física de neutrinos, y de otros grandes laboratorios. Es el caso de BaBar en SLAC, BELLE y SuperKamiokande en Japón, o SNO, en Canadá, por citar algunas instalaciones de primera fila.

Tampoco ha sido posible, a pesar de los esfuerzos realizados, dotar a la comunidad de un mecanismo, un Instituto Nacional, que asegurase la necesaria cohesión, ayudase en la definición de una estrategia para el crecimiento equilibrado de los grupos y la selección de líneas de investigación prioritarias y sirviese de interlocutor con el CERN, con otros grandes laboratorios y con los Institutos Nacionales y Agencias de Financiación de países de nuestro entorno económico y cultural. El “*Winter Meeting*”, al que nos hemos referido anteriormente, y el Grupo Especializado de Física de Altas Energías de la R.S.E.F., creado en 1994, han paliado, en cierta medida, la ausencia de un instrumento coordinador. Similar bajo nivel de consecución ha tenido la penetración del colectivo experimental en la Universidad. El número de catedráticos y profesores titulares de esta especialidad sigue siendo inadecuado.

La creación de sólidos equipos técnicos, requisito indispensable para competir en condiciones de igualdad con nuestros colegas europeos y americanos, también ha tropezado con notables dificultades. La flexibilidad de los Programas Nacionales, la reciente iniciativa del Programa Ramón y Cajal y unas mejores perspectivas en la oferta de empleo público en algunos OPIS, son signos positivos que deberían tener una incidencia favorable en la evolución del colectivo. También es, hasta cierto punto anómalo, la inexistencia de físicos teóricos directamente trabajando en teoría de aceleradores.

Está claro, a tenor de lo expuesto, que, a pesar del indiscutible avance registrado desde la entrada de España en el CERN en 1983, queda mucho por hacer y que la situación actual ofrece claros y oscuros. En cualquier caso es aconsejable resaltar los aspectos más positivos y confiar en que progresivamente vayan subsanándose las deficiencias estructurales y de otro tipo que

hemos mencionado. En este sentido es innegable el impacto beneficioso que la física de altas energías ha tenido en el proceso de modernización de las Universidades españolas propiciando la creación, en muchos casos, de un ambiente internacional y con énfasis en la investigación de calidad. También ha tenido una no despreciable repercusión en algunos sectores de la industria y, en general, en lo que podríamos llamar actividades productivas. A pesar de que la física de altas energías es, indudablemente, una disciplina sin aplicaciones prácticas (al menos inmediatas) su carácter de ciencia en la frontera del conocimiento ha hecho de ella un vehículo de entrada de innovaciones tecnológicas en nuestro país, en primer lugar informáticas.

El hecho de que esta física haya necesitado desde el principio importantes capacidades de computación y el carácter esencial de la colaboración internacional han implicado que, tanto a nivel mundial (el web o www fue inventado en el CERN) como español, la física de altas energías haya sido instrumental en el desarrollo de las tecnologías informáticas. En nuestro país la primera red, FAENET, fue desarrollada bajo la dirección del CIEMAT a raíz de la puesta en marcha del Plan Movilizador de la Física de Altas Energías aprobado en 1983. La precoz alfabetización informática de estos científicos ha llevado a que muchos de ellos se hayan incorporado en puestos pioneros en la informática; y así, por ejemplo, la mayoría de los directores que ha tenido el centro de investigación IBM en nuestro país provenían, a distintos niveles, de física experimental o teórica de altas energías. Recientemente se ha elaborado un proyecto coordinado de grupos de altas energías para el desarrollo de tecnologías, GRID, para el cálculo distribuido e intensivo en datos. Este proyecto necesariamente tendrá notable impacto en otras disciplinas científicas y muy probables aplicaciones en determinados sectores productivos.

Los grupos experimentales han servido en muchos casos para facilitar la participación de sectores industriales en los grandes proyectos del CERN, tanto en la construcción de los aceleradores (LEP y LHC) como en la fabricación de componentes para los distintos experimentos. Esta creciente participación se traduce en la mejora continuada de los índices de retornos industriales. Es

también relevante hacer notar que no sólo ha aumentado la facturación sino la cualificación de los equipamientos suministrados. Un ejemplo típico es la iniciativa para contribuir a la fabricación de imanes superconductores del LHC, proyecto incubado en 1989 con la constitución del consorcio ACICA que, tras vicisitudes diversas, cristalizó en una colaboración entre el CIEMAT, el CEDEX y el grupo industrial ANTEC para el desarrollo de distintos prototipos y que ha culminado con la adjudicación a esta empresa de un contrato para la construcción de 1232 sextupolos y 168 octupolos superconductores.

Aunque en bastante menor medida que en el caso de nuestros *partenaires* europeos más avanzados, a los que el mayor grado de desarrollo de la física experimental y de la industria ha permitido aprovechar mejor las oportunidades, también en nuestro país, en especial con la física de altas energías, la investigación básica de punta ha llevado a innovaciones tecnológicas con utilidad industrial.

La evolución de la física de altas energías en estos últimos veinte años es un buen ejemplo de las posibilidades de desarrollo de una disciplina científica que necesariamente se realiza en un contexto internacional y competitivo. La experiencia demuestra que es posible obtener resultados muy satisfactorios y alcanzar razonables niveles de excelencia cuando las condiciones de contorno son adecuadas: algo que debería hacer reflexionar a nuestra autoridades sobre las políticas del futuro. En nuestra opinión hay un amplio y atractivo espectro de oportunidades científicas, académicas, industriales, tecnológicas y de cooperación internacional que España debería aprovechar. Inevitablemente, el éxito de una empresa de esta naturaleza seguirá necesitando firme voluntad política, traducida en apoyo institucional, esfuerzo continuado, optimizada coordinación y gestión de recursos, y grandes y prolongadas dosis de perseverancia.

Manuel Aguilar

está en el CIEMAT

y Francisco J. Ynduráin

está en la Universidad Autónoma de Madrid

CONGRESOS

Caracterización Químico Física de la superficie de Sólidos. Curso de especialización organizado por el Grupo Especializado de Adsorción de las RR.SS de Física y Química. 10 al 13 de junio de 2003, Jarandilla de la Vera (Cáceres). Para más información consultar Web: <http://www.iqfr.csic.es>

XXIX Reuniones Bienales de Física y Química. Centenario de las RR.SS de Física y Química. 7 al 11 julio de 2003. Palacio de Congresos de Madrid. Información e Inscripción Viajes el Corte Inglés dcimad8@viajeseci.es o bien visite pag. Web: www.centenario-bienales.com

Sexto Congreso Internacional sobre la Enseñanza y Divulgación de la Meteorología, Climatología Y Oceanografía. del 7 al 11 de Julio de 2003 en el Campus de Villaviciosa de Odón de la Universidad Europea de Madrid. Para más información: www.uem.es/web/cie/meteoro/index.htm

Aseva Summer School-2003: Ws-14 "Physical and Chemical Processes in Reactive Hydrocarbon flames in Contact with Surfaces", Ávila, Spain. W. Jacob, workshop Chair, Wolfgang.Jacob@ipp.mpg.de, F. Tabares, work-

shop co-chair, tabares@ciemat.es, J.L. de Segovia, School Coordinator, jldesegovia@icmm.csic.es. ASEVA, Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es, www.icmm.csic.es/aseva

Progress in Supersymmetric Quantum Mechanics (SUSY QM '03) Valladolid, del 15 al 19 de julio de 2003 web: http://metodos.fam.cie.uva.es/~susy_qm_03

XVIII International Colloquium on Magnetism, Films and Surfaces - ICMFS 2003. del 22 al 25 de julio de 2003. Para más información visitar Pág. Web: <http://www.ucm.es/info/magnet>

12th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science. will be held at the University of Oviedo, Spain, from August 7 to 13, 2003. Para más información consulte Pág. Web: <http://www.uniovi.es/congresos/2003/dlmps/>

9th International Conference on the Formation of Semiconductor Interfaces (ICFSI-9). Del 15 al 19 de septiembre de 2003. Madrid, Spain. F. Flores and J.L. de Segovia, Conference Chairmen, ASEVA, Instituto de Ciencia de

Materiales de Madrid-CSIC, Cantoblanco, E-28049 Madrid, Spain, aseva@icmm.csic.es, www.icmm.csic.es/aseva

Trends in Nanotechnology (TNT2003). Salamanca (Spain), del 16 al 19 de septiembre de 2003. Para más información consultar Pág. Web.: <http://www.phantomsnet.com/tnt03>

Surface Plasmon Photonics Euro Conference on Nano-Optics. Del 20 al 25 de septiembre de 2003. Granada. Para más información consultar pag. Web: <http://www.esf.org/euresco>

1st International Meeting on Applied Physics. Badajoz, del 14 al 18 de Octubre de 2003. Para más información visitar Pág. Web: www.forma-tex.org/aphys2003/aphys2003.htm

11th International Congress of the International Radiation Protection Association. 23-28 Mayo de 2004, Madrid. Para más información consultar pag. Web. www.irpall.com

Para anuncios en esta sección:

fax: 91-543 38 79

email: rsef@fis.ucm.es

WEB: <http://www.ucm.es/info/rsef>