

La Física de Altas Energías en España*

Francisco J. Ynduráin

Departamento de Física Teórica,
Universidad Autónoma de Madrid

Orígenes de la física de altas energías en España: hasta 1969

Es difícil determinar con precisión cuándo comienza la física de altas energías, disciplina a la que se conoce también como física subnuclear (este nombre casi en desuso) o física de partículas elementales. Podríamos definir dicha ciencia como el estudio de los constituyentes últimos de la materia, lo que explica el nombre de física subnuclear o de partículas elementales. Debido a la relación de incertidumbre de Heisenberg, para explorar pequeñas distancias se necesitan grandes energías y así la consideración de *elemental* de muchas partículas ha dependido, en cada época, de la energía disponible para explorarlas. A principios del siglo parecía que los núcleos atómicos fuesen elementales y la física de altas energías se hubiese podido identificar con la atómica y nuclear, por ejemplo con la física de Rutherford. Sin embargo en 1932 se produjo el descubrimiento del neutrón, y en consecuencia se reconoció que los núcleos están formados por protones y neutrones; y el estudio de estos, junto con los electrones (además de otras partículas más exóticas) constituyó la física de altas energías de los años 30 a 60.

A finales de los años cincuenta y a lo largo de los sesenta se construyeron en EEUU, Rusia y Europa Occidental aceleradores de partículas que permitieron utilizar energías de decenas (en la actualidad, centenares e incluso miles) de millardos de electron-voltios, con lo que se pudieron explorar distancias inferiores a los 10^{-17} centímetros. Debido a esto, de 1964 a 1974 quedó claro que neutrones y protones están hechos de quarks. En esta época es cuando la física de altas energías queda definitivamente diferenciada de la atómica y nuclear, pudiéndose la definir como el estudio de las interacciones y propiedades de quarks, electrones (a los que se sigue considerando elementales) y neutrinos.

En los últimos años esta definición de física de altas energías apenas ha cambiado, excepto por la existencia de dos desarrollos. Uno, de momento casi puramente especulativo, son las teorías de cuerdas que postulan un nuevo nivel de elementalidad asociado con la energía de Planck, unos inalcanzables 10^{22} millones de electrón-voltios; y otro desarrollo, también con poca base experimental, consistente en la exploración de interconexiones entre física de partículas elementales y cosmología, en especial en relación con el "Big Bang" o en la vecindad de agujeros negros.

España estuvo casi totalmente ausente en las primeras fases (digamos, hasta los años 50) de la física de altas energías. Únicamente pueden mencionarse algunas investigaciones como el descubrimiento de los multipletes atómicos por Miguel Catalán, o los estudios de fenómenos de altas energías en rayos cósmicos, en particular por Arturo Duperier. Investigaciones ambas de muy alto nivel, pero un tanto al margen del cuerpo central de la física de altas energías: de tal manera que el acercamiento de España a este tipo de física no comenzó realmente hasta pasada la mitad del siglo. Este acercamiento tuvo lugar por dos caminos.

El primer grupo en hacer física de altas energías en la España de la postguerra fue el del centro del CSIC asociado a la Universidad de Valencia donde, bajo la dirección de Joaquín Catalá y Fernando Senent, se llevaron a cabo desde el final de los años cincuenta estudios de interacciones de rayos cósmicos utilizando en particular las técnicas de emulsiones. A diferencia de lo que ocurrió en el grupo de la JEN (al que nos referiremos en cierto detalle después) sólo se realizaban aquí trabajos experimentales, sin presencia de físicos teóricos.

* Trabajo realizado para Catálogo de la Exposición "Cien Años de Ciencia en España", Residencia de Estudiantes, 1998.

El segundo camino, indudablemente el más importante a la larga, fue a través de la JEN (Junta de Energía Nuclear) creada en 1951. Aunque en aquella época estaba ya claro que los núcleos atómicos no son elementales, y por tanto la JEN no se ocupaba primordialmente de física de partículas, este organismo (imitando en ello a los análogos del mundo más desarrollado) estableció un pequeño grupo, al principio fundamentalmente de estudios teóricos, de física subnuclear. Especialmente, la incorporación de España al CERN (organismo europeo de investigación en física de altas energías localizado en Ginebra), cuyas relaciones con nuestro país se llevaban a cabo a través de la JEN, actuó de acicate para el desarrollo de este tipo de física. De todas maneras durante bastante tiempo, y como ya se ha dicho, el grupo de la JEN, aunque llegó a contar con media docena de físicos de partículas, se limitó a la parte teórica de dicha ciencia: principios que, en cierto modo, han marcado todo el desarrollo posterior. Por otra parte, y aunque entre los teóricos que pasaron por la JEN en aquellos años ha habido personas como Alberto Galindo y Pere Pascual que han jugado un papel muy importante en el desarrollo de la física teórica española; o Angel Morales que después de reconvertirse acabó liderando un grupo experimental, lo cierto es que la investigación en física de altas energías apenas tenía presencia en España.

A mediados de los sesenta era evidente para algunos dirigentes de la JEN (entre los que podemos citar a Armando Durán, Carlos Sánchez del Río, María Aránzazu Vigón o su presidente, José María Otero Navascués) que la situación era difícilmente sostenible, en especial en la relación con el CERN. En estos años España contribuía a este organismo con unos 300 millones de pesetas anuales, cifra desorbitada para aquella época, en particular en relación con los retornos obtenidos. En efecto, y por citar una fecha, en 1963 el contingente español en el CERN se reducía a dos físicos teóricos, tres experimentales y dos técnicos. De estos, dos provenían del centro de Valencia y el resto de la Junta. Lo peor de la situación no estaba en lo reducido del contingente, sino en que éste representaba cerca de la mitad del total de físicos de altas energías del país. Era evidentemente necesario intentar desarrollar la física de altas energías, para lo que las autoridades de la JEN organizaron un programa de formación de dos años, tanto para teóricos como para experimentales, y se puso en marcha un grupo experimental en el que se integraron físicos provenientes del extranjero (tal Antoni Lloret y Bruno Escoubès) y retornados del CERN (como Salomé de Unamuno).

El programa fue un éxito; baste citar que tanto el actual gestor del programa nacional de física de altas energías (el experimental Manuel Aguilar Benítez) como el director de la división de física teórica del CERN (Álvaro de Rújula) se formaron en él. En el año 1967 España, con dos grupos experimentales en la JEN en Madrid y en Valencia, y un importante desarrollo en la vertiente teórica (que comentaremos a continuación) parecía en la vía de desarrollar una investigación de punta en el campo.

1969-1982: Desarrollo de la Física Teórica, y Crisis en la Experimental: la salida del CERN, y el GIFT

Salida del CERN. La física experimental

Las perspectivas razonablemente halagueñas que acabamos de mencionar se mantuvieron para la física teórica, pero se truncaron para la experimental. En efecto en 1969 el gobierno español, debido probablemente a luchas internas de poder entre los componentes del régimen, anunció su retirada del CERN, retirada que se materializó el año siguiente. Esto fue un rudo golpe para los grupos experimentales, los cuales dependían de los datos obtenidos con los aceleradores de este laboratorio para su subsistencia. Los físicos que habían venido a la JEN del extranjero, y alguno más, abandonaron la física de altas energías o el país; y el grupo de Valencia se dividió en tres: uno minúsculo que acabó en la universidad de Cantabria, otro que se fusionó con el de la JEN, y un mínimo que se mantuvo en Valencia.

Las vitales conexiones con el CERN se conservaron a duras penas gracias a los esfuerzos de los científicos que habían retornado en los últimos años de este organismo, y a la comprensión del mismo. En especial debemos citar a Rafael Armenteros, de origen español, y a los franceses Lucien Montanet y Charles Peyrou, que fueron capaces de diferenciar entre la actuación del gobierno español y los científicos de nuestro país. El contacto se mantuvo, en colaboraciones experimentales, y en la organización de los Winter Meetings (reuniones mixtas de congreso internacional y escuela avanzada organizadas anualmente y financiadas a través del Instituto de Estudios Nucleares de la JEN con apoyo del CERN) que, desde 1973, ayudaron al mantenimiento de la conexión internacional de la física experimental de altas energías. Aunque en un

momento dado la física experimental estuvo a punto de desaparecer se consiguió mantener una actividad: de manera que al final de la dictadura fue posible una revitalización del grupo de la Junta de Energía Nuclear.

Esta revitalización, cuyo mérito puede atribuirse al entusiasmo de los componentes de dicho grupo, y en especial a la tenacidad de Juan Antonio Rubio que lo dirigió durante buena parte del período, puede ponerse de manifiesto mencionando dos acciones. Una de ellas fue la construcción de un aparato de medida de las trazas de partículas (el llamado Erasme), lo que facilitaba enormemente la labor de identificación de las mismas. La utilidad científica del Erasme fue muy limitada ya que, debido a retrasos en su construcción, cuando fue operativo los métodos de análisis de datos en física de altas energías habían evolucionado hacia tecnología electrónica; pero el Erasme tuvo la indudable importancia de haber sido el primer aparato sofisticado para física de altas energías que fuese construido en España. En efecto, hasta entonces los experimentales españoles se limitaban prácticamente sólo a analizar datos, utilizando aparatos y técnicas desarrollados fuera de aquí.

La segunda acción, de una importancia capital, consistió en, precisamente, ponerse al día en métodos experimentales electrónicos (contadores, cámaras de chispas, etc.) lo que garantizó el futuro de la física de altas energías a nivel competitivo mundial. Esto fue posible por el golpe maestro de integrar a parte del grupo de la JEN en las investigaciones en el laboratorio DESY de Hamburgo, específicamente en los experimentos dirigidos por el premio Nobel Sam Ting. Esto tenía dos importantes consecuencias. En primer lugar, rompía la dependencia en el CERN, diversificando las colaboraciones del grupo. En segundo lugar, permitió formar a los jóvenes que se incorporaban a la JEN en las técnicas más avanzadas. En efecto, en aquel momento el grupo de Ting era uno de los líderes mundiales, en particular en física de colisionadores electrón-positrón: uno de los campos con más proyección de futuro.

La labor de formación de físicos experimentales de altas energías realizada en aquella época tuvo una gran importancia posterior; no es casualidad que las personas clave en la nucleación de bastantes de los grupos existentes en la actualidad (Bernardo Adeva en Santiago de Compostela, Fernando Barreiro en la Universidad Autónoma de Madrid y Enrique Fernández en la de Barcelona) procedieran de la Junta de Energía Nuclear de los años setenta. Podemos decir que, a finales de estos años, el grupo de la JEN estaba establecido, colaboraba en dos grandes laboratorios (CERN y DESY) y gozaba de un reconocimiento internacional. Su único punto negro era el desmantelamiento del grupo teórico, problema sin embargo compensado por el desarrollo de otros grupos teóricos, en particular en la UAM, que colaboraron desde el principio con los experimentales de la Junta. Pero la situación, a nivel nacional, no podía describirse como boyante. El grupo de Madrid era un caso aislado; los otros dos que existían, más bien grupúsculos, en Valencia y Santander, apenas sobrevivían.

La física teórica y el GIFT

En contraste con esta incierta situación, la física teórica de altas energías conoció un espectacular despegue en los años 69-82, despegue que la ha llevado a ser una de las pocas áreas de la ciencia española en la que no sólo el nivel medio es muy alto, sino que 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 creo 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, 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, en cuyo establecimiento colaboraron los citados Galindo, Pascual y Morales, además de personas en la administración de la JEN) ha sido una de las instituciones más peculiares que hayan existido en nuestro país. Su origen 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 más 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 aperturas 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. Su estructura era democrática: el GIFT estaba regido por la Asamblea de todos sus miembros, que se reunía una vez al año y elegía director; y funcionaba por medio de un Consejo compuesto de un representante elegido por cada uno de los centros integrados en el GIFT. En la primera parte de este período estos centros 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. Esta estructura democrática hacía imposible al régimen anterior la legalización del GIFT (a pesar de intentos en los momentos aperturistas, en particular por el entonces subsecretario de Educación Federico Mayor Zaragoza). 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 via JEN) después, hicieron que nunca llegara a legalizarse este organismo que, formalmente, se autodisolvió hace un par de años después de llevar una vida lánguida a partir de los últimos años ochenta.

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 bastante impresionante 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 que la universidad de la época estaba muy necesitada.

1982 al presente: vuelta al CERN. La situación en la actualidad

La situación boyante de la física teórica a principios de los años 80 no ocultaba a los más lúcidos de los físicos españoles (teóricos y experimentales) que la situación seguía siendo difícilmente sostenible sin un desarrollo de la parte experimental: ésta corría el serio peligro de quedar anquilosada e incluso la parte teórica, con escaso contacto con el experimento, hubiera tendido a amanerarse. Parecía pues natural el intentar una vuelta al CERN y, paralelamente, la creación de nuevos grupos experimentales, especialmente en conexión con las universidades. A este respecto (entre otras actividades) se convocó una reunión en Barcelona, conectada con el GIFT, para recabar el apoyo a la idea, en especial de los teóricos; y se realizaron una serie de visitas a los responsables políticos, tanto del gobierno de UCD como de la oposición. Estos fueron receptivos, y en 1982 el Parlamento estaba a punto de aprobar la reincorporación de España al CERN cuando su disolución y la convocatoria de elecciones (que resultaron en una mayoría socialista) retrasaron el proceso un año. De todas maneras, tanto como conclusión de la reunión de Barcelona como por convencimiento de la Administración, se acompañó el retorno al CERN con una serie de acciones en el propio país: acciones encaminadas a hacer este retorno rentable. Entre éstas tenemos la creación de nuevos grupos experimentales en las universidades españolas, recuperando para dirigirlos a algunos de los científicos españoles en aquel momento en el extranjero. Estos grupos incluían uno en la Universidad Autónoma de Barcelona, posteriormente imbricado en un Instituto Catalán de Física de Altas Energías, una revitalización del grupo de Valencia (que le ha llevado a ser en la actualidad el más numeroso) y la creación de nuevos grupos más pequeños, en las universidades Autónoma de Madrid y de Santiago de Compostela. Finalmente, el grupo de la Universidad de Santander también recibió apoyo y comenzó a crecer. No menos importante fue la creación de un plan especial (en la actualidad, Plan Nacional) de financiación para la física de partículas, que la ha permitido desarrollarse prácticamente sin aperturas económicas, algo decisivo sobre todo en los primeros años de funcionamiento de los nuevos grupos.

La situación de la física experimental de altas energías en la actualidad ofrece claros y oscuros. Su calidad está fuera de duda, como lo muestra el que un científico español del ramo haya sido presidente del Comité Europeo de Futuros Aceleradores, que otro haya formado parte del prestigioso Comité de Política Científica del CERN y que un tercero haya estado durante ya muchos años en el comité de redacción de la

Tablas de Propiedades de Partículas, la publicación más citada entre las de física de altas energías, por poner sólo tres ejemplos. Pero hay que reconocer que las expectativas creadas en los primeros años de gobierno socialista no se han materializado por completo. El grupo del la JEN, ahora rebautizada como CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas) no ha recibido el apoyo que debiera, y resulta significativo el que en comunidades como Asturias, Andalucía, el País Vasco y ambas Castillas (entre otras) o en una universidad como la Complutense la física experimental de altas energías esté ausente (aunque en la última universidad, sin embargo, se está desarrollando un interesante -aunque todavía pequeño- grupo experimental especializado en rayos cósmicos, en la frontera entre la astrofísica y la física de partículas). La desproporción entre el número de experimentales y teóricos, un factor dos a favor de los últimos, cuando lo normal en países desarrollados es un factor tres o más a favor de los primeros, crea unas distorsiones muy preocupantes que sólo podrían solventarse con una intervención decidida de la Administración similar a la llevada a cabo en los primeros años de gobierno socialista. Y lo mismo ocurre con una falta de puestos y soporte *técnicos* en los grupos experimentales que hacen muy difícil su funcionamiento: muchos de los físicos de los grupos experimentales españoles hacen en realidad labores de ingeniero.

Con respecto a los temas de investigación, tenemos una interesante diversidad. Por referirnos sólo a algunos de los más importantes, y recientes, podemos mencionar (aparte de los trabajos de la JEN ya citados) al grupo del Instituto Catalán de Física de Altas Energías, que ha participado de forma destacada en los extraordinarios experimentos llevados a cabo en el acelerador LEP, del CERN, encuadrados en el grupo Aleph; lo que también han realizado los grupos del CIEMAT (ex-JEN) y Valencia, respectivamente en las colaboraciones Mark-J y Delphi. El grupo de la Universidad Autónoma de Madrid ha jugado un importante papel, primero a nivel individual y luego colectivo, en los aceleradores PETRA y más recientemente HERA, en DESY (Hamburgo). Los experimentales de la Universidad de Santiago se han involucrado, entre otros proyectos, en experimentos de precisión; y el grupo de Zaragoza ha participado en experimentos de intento de detección de procesos poco frecuentes (doble desintegración beta, partículas interaccionando débilmente, violación de conservación de carga, etc.). Finalmente, y a nivel individual, físicos españoles han participado en gran número de los experimentos importantes realizados en los últimos años. Por ejemplo, en el descubrimiento del quark *t* realizado en Fermilab participaron científicos de las universidades de Cantabria y UAM.

La física teórica ha seguido creciendo en cantidad y calidad. Una lista de los científicos españoles en este área que han tenido reconocimiento internacional no tiene sentido; digamos tan sólo que durante bastante tiempo los físicos españoles fueron mayoría absoluta entre el *staff* de teóricos del CERN, y en la actualidad siguen siendo mayoría (relativa) entre los permanentes. Sin embargo no todo es de color de rosa, incluso en este campo. La falta de conexión y de presencia de grupos experimentales está llevando a una predominancia de investigaciones desligadas de la observación experimental: en España (consecuencia indudable de nuestro aún subdesarrollo científico) la pirámide *física especulativa, teoría, fenomenología, experimento y técnica-física aplicada* está invertida. Tal vez por 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) mas 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, 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.

El impacto de la física de altas energías en España

Es difícil medir el impacto en nuestro país de la física de altas energías. Por una parte tenemos el

importante efecto de *ejemplo*. En muchas universidades españolas la física moderna comenzó a entrar en el currículum de la mano de los físicos del GIFT; como también su presencia contribuyó a crear un ambiente internacional y con énfasis en la investigación de calidad. Pero además de esto tenemos la no despreciable repercusión en 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 de punta ha hecho de ella un vehículo muy importante 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 (la red www fue creada en el CERN) como español, la física de altas energías haya sido instrumental en la informatización: en nuestro país las primeras redes www/internet fueron desarrolladas en conexión con el grupo experimental de física de altas energías en la JEN. 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, varios 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.

Pero la informática no ha sido la única actividad aplicada que se ha beneficiado en España de la física de altas energías. Aunque este no es el lugar de un análisis detallado, quiero mencionar dos ejemplos. El primero es la importante participación española en la construcción del túnel LEP, con más de 27 kilómetros de circunferencia (aunque, bien es verdad, esta participación se redujo esencialmente a ingeniería civil). Un segundo ejemplo, este sí con connotaciones de innovación tecnológica, concierne a un importante desarrollo que ha tenido lugar a finales de los ochenta y principios de los noventa. En la segunda fase del acelerador LEP, en el CERN, se utiliza tecnología de superconductores. Esta tecnología era inexistente en la España de la época; pero la colaboración de grupos españoles en la implementación de estas técnicas han llevado a que, con ayuda del propio CERN, se haya desarrollado en nuestro país el *know-how* tecnológico para tratar con superconductores en unas cuantas industrias. 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 aquí, en especial en conexión con la física de altas energías, la investigación básica de punta ha llevado a innovaciones tecnológicas con utilidad industrial.