

## Las relaciones de la FAE con el resto de la Física

*Antonio González-Arroyo*

---

Arbor CLIX, 626 (Febrero 1998), 153-161 pp.

*Es difícil para los científicos de una disciplina tener una perspectiva adecuada sobre los de otras disciplinas, o sobre la ciencia, en general. En este artículo se intenta precisamente adquirir una cierta panorámica, y contemplar la FAE dentro del panorama de la Física Contemporánea.*

---

En este artículo nos planteamos abordar el tema de las relaciones entre la física de altas energías y otras áreas de la Física desde la doble vertiente científica y humana. Tanto en España como en el resto del mundo se han producido en ocasiones ciertos desencuentros, que normalmente acaban siendo perjudiciales para todos. Una mirada a nuestro alrededor, sea donde sea que nos encontremos, nos demuestra cómo la Ciencia y la Tecnología han transformado totalmente nuestro mundo. Y en esta transformación se entrecruzan notablemente distintas áreas y enfoques. Para el ciudadano común, el contacto más inmediato es el de la tecnología. Pero éste suele ser el último eslabón en una cadena de descubrimientos, que tiene su origen en alguno de Ciencia básica. A su vez, los desarrollos tecnológicos producen instrumentos que permiten a la Ciencia explorar áreas nuevas. Vía este mecanismo, muchas áreas de la Ciencia se influyen mutuamente.

Todo lo dicho en el párrafo anterior parece bastante obvio en lo que se refiere al pasado, ahora bien, hay ciertas opiniones en contra

de que esto pudiera ser el caso en el futuro. En particular, nos podríamos preguntar hasta qué punto la investigación en física de altas energías pudiera conducir en su día a aplicaciones beneficiosas para la Humanidad. Es difícil imaginar cómo, pero estamos convencidos de que así será. Los resultados y aplicaciones de la investigación científica son difíciles de predecir. Podemos imaginarnos que a algún gobernante del pasado pudiera parecerle más práctica la investigación en busca de la piedra filosofal que la de Galileo, por ejemplo. Tampoco Faraday sabía exactamente de qué manera sus estudios sobre electromagnetismo podían traducirse en aplicaciones prácticas, pero estaba convencido de que ocurriría.

Para los científicos, no obstante, la motivación de su investigación no está tan sólo en las posibles aplicaciones futuras, sino principalmente en el aspecto cultural de ésta. Por tanto, una crítica basada puramente en aspectos prácticos no debería provenir de un científico, sino de alguien que no lo sea. Y digo esto sin renunciar a la consideración de que el sólo aspecto cultural, debería bastar para justificar la inversión de los gobiernos en investigación. Pero si no fuera así, hay una serie de aspectos prácticos secundarios que se derivan de la inversión en investigación que hay que tener en cuenta. Uno de los más importantes es el de la formación humana. Está universalmente admitido, que no puede haber educación universitaria de calidad que no se sustente sobre la investigación de los profesores. Sin duda es en este terreno, donde Europa tiene su más valioso patrimonio, tanto más por el hecho de que en investigación, y por tanto en educación, la tradición juega un papel muy importante. No se puede por tanto, improvisar un tejido investigador en breve tiempo. España en este terreno, como resultado de una política decidida durante los años 80 y parte de los 90, ha superado un handicap histórico para situarse casi en línea con nuestros vecinos europeos. Pero esta política debe continuar, para terminar de nivelarnos con dichos países y no desperdiciar esta oportunidad histórica.

Fijándonos en el aspecto cultural, quiero resaltar que los científicos y otros profesionales de la cultura estamos en el mismo barco. A pesar de esto, en ocasiones, se han producido y producen posturas conflictivas entre la Ciencia y las Humanidades, y en nuestro país ha existido en el pasado una tradición de esta última que se mostraba beligerante con la Ciencia. Estas actitudes, en manos de ciertos gobernantes, han prestado cobertura ideológica a una política nefasta para la Ciencia y para el país. Debo decir que me parece que gran parte de estas actitudes surgen de la osadía que acompaña a la ignorancia. Leemos

en muchos escritos como se identifica a la Ciencia con la Tecnología, y se ignora el aspecto cultural de la primera. Pero que la Ciencia es una de las más importantes realizaciones de la Cultura del Hombre, resulta indudable desde hace al menos dos siglos. En estos momentos, existe el riesgo contrario. Ciertas actitudes practicistas amenazan a las Humanidades en beneficio de la Ciencia, y más frecuentemente de la Tecnología. Esto se traduce, por ejemplo, en la elaboración de contenidos y programas de formación a nivel del Bachillerato. Yo no comparto esta actitud de especialización, y pienso que una buena formación es aquella que es completa y armoniosa entre todos los aspectos de la actividad humana. Afortunadamente, en nuestro país es muy frecuente descubrir que los científicos son personas cultas y con un amplio espectro de intereses. En el mundo anglosajón esto en muchas ocasiones no es el caso, y es un punto que sin duda no hay que emular.

El conflicto entre distintas ramas de la Ciencia nace frecuentemente como resultado de la competencia por los medios económicos de financiación. En este sentido, en nuestro caso uno de los puntos de fricción más comunes tiene que ver con el hecho de que la física experimental de altas energías es parte de la llamada *BIG SCIENCE*. Este tipo de ramas de la Ciencia se caracterizan por la gran magnitud y coste de los aparatos que en ellas intervienen. Ello se traduce en que es muy difícil o imposible para la mayoría de los países, abordar por sí solos este tipo de investigación. En la actualidad, sólo Estados Unidos, Japón y Alemania poseen instalaciones nacionales de aceleradores de partículas. Para gran parte de los países europeos, la investigación en este área pasa por su participación en el CERN (Centro Europeo de Investigación en física de altas energías). La financiación de esta organización se realiza mediante cuotas anuales que pagan los países miembros. El monto de la cuota de cada país lo fija el CERN, de acuerdo con el correspondiente PIB. En los países en los que el gasto global en investigación es más pequeño porcentualmente, la cuota del CERN acaba siendo una parte muy significativa de dicho gasto. Esto ha provocado recelos de otras áreas que se sienten perjudicadas por este hecho. En España afortunadamente este problema no se ha planteado con tanta claridad, puesto que la cuota del CERN no sale del mismo capítulo presupuestario que el resto de la inversión en investigación básica. El problema de fondo, no obstante, es más general y poco tiene que ver con el CERN. En varias ocasiones se han realizado informes sobre la gestión y el gasto en dicho organismo, con el ánimo de buscar posibles formas de ahorro. Básicamente el

CERN siempre ha salido airoso de estas evaluaciones. En realidad, como dijimos antes, el problema es el alto coste de la infraestructura y equipos que comporta la investigación en física experimental de altas energías. Algo parecido ocurre también en otras áreas de la *BIG SCIENCE*, como la Astronomía. Hace algunos años, surgió un fuerte debate en Estados Unidos en torno a la construcción del superacelerador SSC (el super-sincro-ciclotrón). Aunque dicho debate se planteaba desde muchos puntos de vista, en particular, voces significadas de otras áreas de la Física se pronunciaban en contra de tal inversión, por considerar que podría menoscabar la financiación de sus áreas. Al final, el proyecto del SSC naufragó, aunque lo más probable es que dichas consideraciones influyeran poco en la decisión final.

Me parece triste que se dé un conflicto entre distintas áreas por la captación de recursos, y mucho más si en vez de intentar convencer a los políticos y al resto de colegas de la relevancia de la investigación que cada cual pretende realizar, se utilizan argumentos descalificadores de las otras áreas. Una vez analizado el interés del objetivo científico que se persigue, y la racionalidad de la demanda de recursos y de la gestión de éstos, deberían admitirse las distintas necesidades que distintas áreas tienen a estos efectos. Por ejemplo, los físicos teóricos debemos aceptar que nuestra financiación sea inferior a la de los experimentales en prácticamente cualquier área de la Física. De hecho, el conflicto por recursos se planteó en cierta ocasión en el pasado entre los teóricos y los experimentales dentro de la propia física de altas energías. Esto ocurrió durante la época de Franco, en un momento en el que España pertenecía al CERN y decidió salirse de esta organización. Esto fue un auténtico mazazo para la incipiente comunidad experimental de partículas. Por el contrario, para los físicos teóricos tuvo en general un resultado positivo. Esto se debió a que una parte del dinero que España aportaba como cuota al CERN, acabó en manos de una asociación de físicos teóricos llamada el GIFT —Grupo Interuniversitario de Física Teórica—. Esta asociación jugó un papel fundamental en el desarrollo de la física teórica de altas energías en España. El GIFT utilizó estos fondos en la realización de una serie de actividades, entre las que dominaban las orientadas a la formación de jóvenes investigadores. Esta es, sin duda, la mejor política si se quiere desarrollar un determinado área. El resultado fue un aumento muy importante en la cantidad y calidad de científicos dedicados a la física teórica de partículas elementales. Desafortunadamente, esto se hizo en detrimento de la comunidad de físicos experimentales. Debo añadir, que desconozco en qué medida los físicos teóricos participaron

en la decisión de abandonar el CERN. En todo caso, y en parte como consecuencia de lo anterior, la proporción de físicos experimentales a teóricos era, hace unos pocos años, tercermundista. Muchos físicos teóricos, convencidos de esto, contribuyeron en años posteriores a la creación y desarrollo de grupos de física experimental de altas energías.

Entre los logros del GIFT, está el haber cohesionado enormemente la comunidad nacional de física teórica de altas energías. Esto es siempre algo muy positivo, porque favorece las colaboraciones e intercambios y el aprovechamiento de los recursos dentro de un país. Desgraciadamente también ha tenido un efecto negativo respecto a las relaciones entre los físicos teóricos de altas energías y los pertenecientes a otras áreas. A pesar del nombre, el GIFT era fundamentalmente un grupo de altas energías. Sólo unos pocos teóricos de materia condensada pertenecían al GIFT. Por otro lado, *ser o no ser* del GIFT tenía unas consecuencias importantes a efectos del conocimiento mutuo, posibles colaboraciones, etc. En pocas ocasiones se encontraban en un mismo foro los físicos del GIFT con los de otras áreas. La bienal de la Real Sociedad española de Física ha contado normalmente con una muy pequeña representación de físicos teóricos de partículas, ya que éstos disponían de otros puntos de encuentro.

Recientemente, una iniciativa que en origen partió de algunos físicos de Mallorca y Barcelona, ha contribuido a cerrar esta brecha. Me refiero a las reuniones españolas de Física Estadística. Estos congresos nacionales, han servido de punto de encuentro de físicos (y algunos químicos) teóricos y experimentales de áreas muy diversas. Físicos matemáticos, astrofísicos, físicos de partículas, de sólido, de física aplicada, de óptica, de fluidos, de sistemas dinámicos, de procesos estocásticos, etc., se dan cita con periodicidad de año y medio con el denominador común de la Física Estadística. Estas reuniones son muy enriquecedoras por ser una ventana a la investigación en otras áreas.

Siguiendo con nuestro análisis de lo que han sido los puntos más conflictivos de la relación entre la física de altas energías y otras áreas, quiero comentar un debate que también se planteó durante la polémica del SSC. Me refiero a la cuestión del papel fundamental de la física de altas energías frente a otras partes de la Física. Opiniones de esta naturaleza expresadas por algunos de mis colegas, se han granjeado la hostilidad de algunos físicos de otras áreas, que ven en ellas una cierta actitud de superioridad. La opinión se sustenta en la idea, de que en física de altas energías se están buscando las leyes fundamentales de la Naturaleza, mientras que en otras áreas éstas son conocidas y por tanto la investigación se reduce a la extracción

de las consecuencias de estas leyes. Subyace a este punto de vista una cierta filosofía reduccionista, en la que el comportamiento macroscópico es una consecuencia del microscópico. Yo no comparto este punto de vista. Sabemos por ejemplo, del estudio de la Mecánica Estadística, que los fenómenos colectivos que dan origen a cuestiones tales como las transiciones de fase o la ruptura espontánea de simetría, son algo en gran medida independiente de la Física microscópica. De hecho, en el vecindario de un punto crítico, la dinámica microscópica es básicamente irrelevante para el comportamiento observado. Este ejemplo contradice la validez general de la idea del reduccionismo. No soy una excepción dentro de los físicos de altas energías en opinar así. No obstante, es claro que ideas de esta naturaleza explican en algún caso la propia elección del área de trabajo de muchos de mis colegas. También hay que decir, que estas opiniones se aplican en muchos casos dentro de la propia física de altas energías para comparar distintos subcampos entre sí. En cualquier caso, estas consideraciones son más bien de naturaleza filosófica o estética, que científica.

La Física de Altas Energías estudia los componentes más elementales de la materia. Al ahondar más allá del dominio que conocemos por experiencia, pueden surgir sorpresas e ideas muy nuevas y radicales. En el siglo XX, dos de las grandes aportaciones de la Física han sido la Teoría de la Relatividad Especial y la Mecánica Cuántica. Ambas teorías conllevan cambios muy profundos en nuestra idea sobre el Universo que nos rodea. Cambios tan profundos sólo pueden aparecer cuando se exploran áreas a las que antes no se había accedido. Dentro de esto la física de altas energías ocupa un lugar privilegiado, y ello explica su atractivo para muchos científicos. No obstante, ideas fundamentales y nuevas pueden producirse en otros campos también. La Superconductividad, por ejemplo, tanto en el descubrimiento del fenómeno como en el esclarecimiento de su origen, constituye una idea fundamental que curiosamente tiene su aplicación en la física de altas energías. Otras cuestiones, como el caos en sistemas dinámicos y su aplicación al problema de la turbulencia, la existencia de materia oscura en el universo, o el esclarecimiento de la naturaleza de las transiciones de fase de segunda especie, son aportaciones fundamentales a las ideas en Física que no tienen su origen o aplicación en física de altas energías. A nivel clásico, el estudio de los sistemas dinámicos nos proporciona ejemplos de cómo disponer de las emociones no constituye la última palabra.

Al abordar la relación entre la física de altas energías y las demás áreas de la Física, es conveniente considerar los aspectos teórico y

experimental por separado. La física experimental de altas energías utiliza frecuentemente para el desarrollo de sus nuevos detectores, técnicas que son estado del arte en ese momento. A su vez, por la naturaleza ciclópea de sus dimensiones los prototipos se enfrentan a desafíos tecnológicos totalmente nuevos. Son muchas las áreas de la Ciencia y la Tecnología que intervienen de alguna manera en el diseño, construcción y utilización de aceleradores y detectores. Por un lado están los nuevos materiales, que aparecen en distintos aspectos y con distintas funciones dentro de un detector. También la electrónica, sobre todo la electrónica rápida, que aparece en la toma de decisiones de los llamados triggers. Al cambiar el rango de energías que se exploran, se plantean problemas nuevos que no estaban presentes en generaciones anteriores de experimentos. Son también notables los problemas de ingeniería civil y mecánicos que intervienen en la construcción de aceleradores o de detectores, dada la necesidad de precisión por un lado y las grandes dimensiones por otro. Finalmente, en el tratamiento de datos se plantean problemas serios de procesamiento en tiempo real, organización de las fuentes y datos a nivel mundial, etc. Programas o algoritmos desarrollados en primer lugar en física experimental de altas energías se han incorporado al bagaje general en el área del tratamiento de datos. Algo que ha revolucionado nuestro entorno, y que fue desarrollado en el CERN para cubrir necesidades de los físicos de partículas, es el World Wide Web. Ahora forma parte indisoluble del Internet, y nos demuestra una vez más, cómo las aplicaciones de la Ciencia son insospechables. La vieja idea de los *spin-offs*, o aplicaciones colaterales de la investigación se puede constatar día a día. Charpak o Alvarez, ambos premios Nobel por su trabajo como físicos experimentales de altas energías, son ejemplos de científicos que han encontrado aplicaciones de sus desarrollos en muchas áreas distintas como la medicina. Este último ha adquirido gran renombre en otro terreno, al ser, junto con su hijo, el que propuso la explicación más aceptada de la extinción de los dinosaurios.

Si bien en el aspecto experimental la naturaleza de las relaciones entre las Altas Energías y otras ramas se centra en el aspecto instrumental y tecnológico, en el caso de la Física Teórica la relación es mucho más profunda. La Teoría Cuántica de Campos constituye el formalismo que da cuenta de las interacciones de las partículas elementales entre sí. Esta teoría es en realidad una parte especializada de la Mecánica Cuántica que trata con sistemas de un número infinito de grados de libertad: los campos. El ingrediente adicional es la naturaleza relativista de las interacciones. Durante los años sesenta y

principios de los setenta, algunos teóricos descubrieron afinidades entre la Teoría Cuántica de Campos y la Mecánica Estadística. En principio, esta segunda disciplina corresponde a un área muy diferente de la Física. En vez de estudiar la evolución temporal de un determinado sistema cuántico, aquí se está estudiando una colectividad de sistemas principalmente clásicos, en equilibrio termodinámico. A pesar de la muy distinta naturaleza de ambos fenómenos hay un denominador común muy importante: fluctuaciones en un sistema con un número infinito de grados de libertad. Curiosamente, el comportamiento cuántico de un sistema se puede interpretar como el resultado de fluctuaciones llamadas cuánticas. Este descubrimiento ha abierto un camino de mutua influencia entre la Teoría Cuántica de Campos y la Mecánica Estadística. En el terreno de esta última, una de las más importantes consecuencias ha sido el trabajo de Kenneth Wilson, que le valió el premio Nobel en 1982, respecto al esclarecimiento del origen del comportamiento de los sistemas cerca del punto crítico. El punto crucial está en qué pasa cuando en dichos sistemas hay dos escalas de distancias o energías muy distintas. Wilson tomó una idea nacida en el dominio de la física de altas energías —El Grupo de Renormalización— y la relacionó con las ideas de Kadanoff en el dominio de la Mecánica Estadística. El resultado ha sido enormemente fructífero. Pero la relación ha sido en ambos sentidos, puesto que el propio Wilson dió una formulación de la Teoría Cuántica de Campos basada en un sistema peculiar de Mecánica Estadística: la formulación de la teoría en una red espacio-temporal. Desde entonces, los puntos de mutua interacción entre ambos campos han sido numerosos y enormemente influyentes para el desarrollo de ambas áreas. Citemos aquí algunos hitos en esa línea. La noción de pseudopartícula, la idea de transiciones de fase en Teoría Cuántica de Campos, el estudio de dualidades, la aplicación de la teoría de campos conforme al estudio de sistemas bidimensionales, cargas topológicas, grupos cuánticos, la noción de campo gauge, etc. Todas estas ideas y muchas más han tenido su origen en uno de los dos campos y han acabado encontrando aplicación en el otro.

Dentro de la física teórica de partículas, las llamadas Teorías gauge en la red utilizan técnicas, conceptos y nomenclatura de la Mecánica Estadística. Esto ha motivado que en ocasiones muchos de los físicos que trabajan en este campo, hayan simultaneado trabajos publicados en revistas de Materia Condensada con otros en revistas de Partículas. En realidad, en cuanto a las técnicas se refiere, ambos campos son en realidad el mismo. El ímpetu proporcionado por la Comunidad de Teorías gauge en la red ha sido altamente dinamizador para el desarrollo

y estudio de dichas técnicas. En España este aspecto no ha motivado un gran número de colaboraciones entre físicos provenientes de distintas áreas, pero sí ha proporcionado un lenguaje común para entenderse. Entre las razones de la escasa colaboración, podemos mencionar el hecho de que el número de científicos que trabajan en estos aspectos es relativamente pequeño dentro del panorama general. Así por ejemplo, la comunidad de teóricos de campos en la red es pequeña dentro de la propia de física de altas energías. Lo mismo ocurre con el caso de los investigadores en Mecánica Estadística dentro de la comunidad de físicos de sólido.

Otro tema en el que se han producido también contactos entre la física de altas energías y la de materia condensada, es el del estudio de los sistemas bidimensionales. El descubrimiento del poder predictivo de la invariancia conforme en este contexto, ha tenido aplicación en áreas tan diversas como la teoría de cuerdas, la teoría de campos o los fenómenos críticos. Esto ha dado lugar a que científicos de altas energías en España y en el mundo se hayan interesado por problemas de la Materia Condensada. A esto hay que añadir el poder de convocatoria que tiene el reto por el entendimiento de los llamados superconductores de alta temperatura.

Quiero concluir resumiendo las ideas que hemos expuesto a lo largo de este artículo. Hemos comentado algunos de los puntos de fricción que se han producido entre los físicos de altas energías y los de otras áreas, así como los aspectos en los que ha habido convergencia. Hemos querido dejar patente también cómo la física de altas energías ha aportado resultados y tecnología a otras áreas de la actividad científica y humana. Desde la óptica de un físico teórico, las lindes del trabajo de cada uno no están tan claramente delimitadas. Físicos como Landau, Einstein, Bogoliubov son difícilmente clasificables como pertenecientes a uno u otro área. Nos recuerdan que los modelos matemáticos mediante los que representamos la realidad, pueden presentarse en distintas situaciones. Creemos que el trabajo de éstos y otros científicos puede contribuir a hacernos entender que hay mucho que ganar de la comunicación y colaboración entre las distintas áreas.