

Ilusiones y realidades en el desarrollo de la Física de Altas Energías

José Manuel Sánchez Ron

Arbor CLIX, 626 (Febrero 1998), 163-183 pp.

En este artículo se analizan algunos aspectos tanto del (cambiante) apoyo social, político y militar a la física de altas energías (especialmente en Estados Unidos), como la actitud de algunos de sus protagonistas. Asimismo, se considera la cuestión de la intervención pública, en el denominado mundo posmoderno, en la orientación de la investigación científica.

1. Ciencia «pura» e «impura»

Durante la Segunda Guerra Mundial muchos científicos —físicos, fundamentalmente— no tuvieron más remedio que involucrarse en la realidad social, que mostraba en aquellos momentos algunos de sus aspectos más dramáticos. Y en general se involucraron de buen grado, aunque fueron diversas las maneras cómo conceptualizaron su participación. En una carta que escribió a su colega del Institute for Advanced Study de Princeton, Oswald Veblen, en mayo de 1943, poco antes de finalizar su estancia en Londres, a donde había ido para informarse de las actividades de los científicos británicos en apoyo del esfuerzo bélico de su país, John von Neumann, que hasta entonces se había interesado sobre todo por la axiomática de la teoría de conjuntos, lógica

matemática, álgebra, hidrodinámica matemática y mecánica cuántica (en 1932 publicó su famoso libro *Fundamentos matemáticos de la mecánica cuántica*), manifestaba: ¹

«Creo que he aprendido aquí mucha física experimental, particularmente dinámica de gases, y que regresaré siendo un hombre mejor e impuro. También he desarrollado un obscuro interés en las técnicas computacionales».

Se había convertido, pues, en una persona «mejor», pero a costa de haber perdido pureza, de haberse hecho «impuro». Ahora bien, el haberse convertido en una persona mejor no quería decir «más comprometido socialmente». En Los Alamos, en pleno desarrollo del Proyecto Manhattan, von Neumann aconsejó a Richard Feynman que «no tenía por qué sentirse responsable del mundo en el que vivía». Y el entonces joven físico siguió aquel consejo, desarrollando, como explicó en su autobiografía, «un poderoso sentido de irresponsabilidad social, que hizo de mí una persona muy feliz desde entonces» ². Nos encontramos aquí, de manera particularmente clara, y defendida por científicos que poseían, o poseerían, conocimientos con capacidad de afectar a la vida de las personas y a las relaciones políticas, militares y económicas entre naciones, con la idea de que existen, o que es posible y deseable establecer, fronteras definidas entre las esferas política, moral y científica.

Esta actitud se vio favorecida en cierta medida por la política seguida en el gran proyecto nuclear de la Segunda Guerra Mundial: el Proyecto Manhattan, o, su nombre técnico, «Manhattan Engineer District». El general Leslie Groves, que tenía a su cargo el control último de aquella empresa político-científico-tecnológica, impuso una regla de hierro en todas sus actividades: «La *compartimentación* era, para mí, el mismo corazón de la seguridad. Mi regla era sencilla e imposible de malinterpretar: cada persona debería saber todo lo que necesitaba conocer acerca de su trabajo y nada más. Adhesión a esta regla no sólo proporcionó una medida adecuada de seguridad, sino que mejoró mucho la eficacia general haciendo que la gente se limitase a lo que tenía que hacer» ³.

Esta filosofía que Groves diseñó para un proyecto científico-tecnológico militar, se trasladó, después de la guerra (en Estados Unidos especialmente), a la mayoría de la investigación científica desarrollada con fondos militares, convirtiéndose en una auténtica filosofía de la práctica científica.

2. La Física de Altas Energías como paradigma contemporáneo de ciencia «pura»

Al término de la guerra, muchos científicos que habían trabajado en proyectos militares buscaron formas de volver a ser personas y/o científicos *puros*. Algunos optaron por insistir en que era necesario fomentar el libre intercambio de información en temas atómicos y que la energía nuclear debería utilizarse con fines pacíficos. La carta que Niels Bohr, que había participado, aunque no muy extensamente, en el Proyecto Manhattan, envió a la Organización de las Naciones Unidas en junio de 1950 se inscribe en esta dirección, de la que surgirían movimientos como Pugwash o la Federación de Científicos Atómicos, que creó la revista *Bulletin of the Atomic Scientists*⁴. Otros, como Francis Crick o Leo Szilard terminaron por abandonar la investigación en física, convirtiéndose finalmente en protagonistas de la nueva biología molecular⁵. Pero los que más me interesan en la presente ocasión —y en más de un sentido los más importantes y numerosos— son aquellos físicos especializados en el mundo nuclear que intentaron «recuperar su pureza» a través de un nueva rama de su disciplina, la física de partículas elementales (posteriormente denominada de altas energías), que veían como una espléndida ejemplificación de la ciencia pura, del conocimiento por el propio conocimiento. La física de altas energías ofrecía una oportunidad magnífica para purificarse haciendo buena ciencia.

Durante la década de 1945 a 1955, la comunidad científica estadounidense —entonces la más importante de todo el mundo, y que durante una buena parte de la segunda mitad de nuestro siglo ha indicado las pautas y seguir, y mecanismos a utilizar por la ciencia internacional—, y a su cabeza la comunidad de físicos de altas energías, gozaron de un grado inusual de autonomía; autonomía, por ejemplo, en los procedimientos mediante los cuales se distribuían las dotaciones para investigación. La física se encontraba en la cresta de la ola, y los físicos explotaban los beneficios de sus contribuciones a la guerra. Durante aquel periodo se apoyó a la física *per se*, y la confianza de la sociedad en la física fue tal que se dejó su control, al menos aparentemente, a la nueva élite, la de los físicos.

Todo marchaba bien entonces para la ciencia básica. En 1947, por ejemplo, el denominado «Informe Steelman» defendía la idea de que «solamente a través de investigación y más investigación [en las ciencias básicas] podemos suministrar la base para una economía en expansión, y niveles continuamente altos de empleo»⁶.

3. Física de Altas Energías y Militares

En cuanto a las Fuerzas Armadas, y continuando con el caso de Estados Unidos, 1945 no significó el final de su apoyo a la física nuclear; más bien lo que representó fue un punto de partida. Así, La Marina, las Fuerzas Aereas y el Ejército de Tierra financiaron generosamente las ampliaciones diseñadas por Ernest Lawrence para los aceleradores de Berkeley, al igual que la solicitud de un consorcio de universidades de la costa este para construir un laboratorio colectivo dedicado a física nuclear y de altas energías. El Brookhaven National Laboratory, situado en Brookhaven, Long Island, Nueva York, que comenzaría a funcionar en enero de 1947, bajo contrato con la Atomic Energy Commission, que por entonces ya había pasado a desempeñar las funciones del «Manhattan Engineer District», fue el resultado de aquella petición.

No es difícil entender la racionalidad que subyacía tanto en el establecimiento del Brookhaven National Laboratory como en las ampliaciones de los laboratorios de Lawrence, todo financiado, en su inmensa mayoría, con dinero militar. Y es, además, instructivo⁷. Aunque en aquellos centros se llevasen a cabo investigaciones de carácter militar, no era esa inicialmente la principal orientación de los laboratorios, especialmente del de Brookhaven; lo que las Fuerzas Armadas estadounidenses pretendían era controlar una parte sustancial del potencial científico de la nación; mantener de una manera equilibrada, y no demasiado llamativa, una red de instalaciones y personal, científicos y técnicos, que sirviesen a los fines militares; fines que no necesariamente pasaban por involucrar a esos profesionales en investigaciones claramente bélicas. Se trataba de estar siempre a disposición de las Fuerzas Armadas para, si era necesario, iniciar inmediatamente un programa militar activo de gran envergadura.

Expresado en otras palabras, y como ha argumentado, cualitativa al igual que cuantitativamente Paul Forman, el apoyo que las Fuerzas Armadas estadounidenses prestaron a la física (no sólo a la de altas energías, es cierto; la electrónica figuró de forma prominente en sus objetivos) durante, al menos, los quince años que siguieron al término de la Segunda Guerra Mundial, estuvieron encaminados primordialmente a incrementar la seguridad física de los Estados Unidos y no a hacer crecer necesariamente el conocimiento de los físicos (o no el conocimiento científico especialmente valorado por ellos)⁸. ¿Sorprenderá a alguien que cuando las circunstancias cambian, lo haga también el apoyo militar, social en última instancia, a la ciencia?

4. El sueño de «la ciencia por sí misma»

Fue así posible para los físicos «nucleares» mantener la idea de que estaban haciendo ciencia por sí misma. Todavía a finales de la década de los cincuenta podían insistir, sin demasiados problemas, en semejante planteamiento, como se comprueba a través de un informe hecho público por la Casa Blanca en mayo de 1959. El informe, que llevaba por título, *Un manifiesto explicativo sobre la física de partículas elementales*, había sido preparado, a instancias de la poderosa Comisión de Energía Atómica y del Comité Asesor del Presidente para Asuntos Científicos, por un pequeño grupo de científicos entre los que se encontraban Hans Bethe y Edwin McMillan. En él se pueden leer frases como las siguientes: «La física de partículas elementales... se ocupa de fenómenos muy apartados de nuestros entornos inmediatos y familiares... y procede no con vista hacia aplicaciones útiles, sino hacia el descubrimiento por sí mismo... Constituye el corazón de la física moderna, y es el producto de muchos siglos de esfuerzos por comprender el universo». Sentadas estas bases, el comité recomendaba la construcción de un acelerador lineal de electrones en Stanford, que se continuase apoyando (esto es, financiando) los planes de la Asociación para la Investigación de las Universidades del Medio-oeste para la construcción de un acelerador, al igual que la posibilidad de construir otro en Oak Ridge, uno de los centros que estuvieron asociados al Proyecto Manhattan. Más concretamente, el panel de científicos recomendaba que se aumentase el nivel de financiación del Gobierno para investigación en física de partículas elementales.

5. El comienzo del final de un sueño

Por entonces, sin embargo, la situación había comenzado a cambiar. Con el inicio de la guerra de Corea, y en general de la Guerra Fría (también habría que recordar la primera prueba nuclear soviética y el lanzamiento del Sputnik) se potenció la idea de «hacer el mundo un lugar seguro para la democracia», un propósito que requería grandes inversiones para el desarrollo y fabricación de nuevas armas⁹. Ahora bien, solamente una economía en expansión constante podría sostener semejante esfuerzo. Por este camino comenzó la ciencia aplicada, la innovación tecnológica, a desbancar, en el mundo de la política, la idea de que sería de la ciencia practicada por sí misma de donde vendrían todas las soluciones. En 1968, la enmienda Daddario-Kennedy modificó la

National Science Foundation (NSF) en forma y en concepto, autorizando que financiase investigación aplicada al igual que básica ¹⁰.

Aunque me estoy ocupando básicamente del caso de Estados Unidos, en este punto es conveniente recalcar que también en Europa surgieron, no mucho después de la reconversión programática de la NSF, iniciativas en el sentido de favorecer la dimensión «tecnológica» de instituciones dedicadas a la investigación, frente a la «científica». Así ocurrió con la European Space Research Organization (ESRO), que inicialmente fue diseñada —siguiendo en parte el modelo de la NASA— como una institución dedicada preferentemente a la ciencia y no a la técnica del espacio. Pero la dinámica de los intereses políticos, no los científicos, pronto condujo a una situación de crisis que llevó a que ESRO se convirtiese en la European Space Agency (ESA), en la que la tecnología espacial figuraba dentro de sus objetivos. Explicada brevemente, la crisis que condujo a ESA surgió cuando unos pocos países, encabezados por Francia, mostraron su interés en el campo de las telecomunicaciones vía satélite. El gobierno (gaullista) francés no veía con buenos ojos la dominación estadounidense en este campo, estando, además, interesado en avanzar en el dominio de los lanzadores (cohetes para transportar los satélites). Por razones más tecnológicas que políticas (deseaban mejorar su *know-how* industrial en este campo), la República Federal Alemana y Bélgica también se mostraron interesadas en entrar en este área, que, sin embargo, era ajena al dominio de intereses, científicos, de ESRO. Estas tres naciones argumentaron que era preciso modificar las actividades de la organización, pasando a centrarlas en las telecomunicaciones vía satélite ¹¹. A finales de 1970, Francia (seguida de Dinamarca) denunciaba la Convención de ESRO. Su retirada debería hacerse efectiva el 31 de diciembre de 1971, si no se alcanzaba un acuerdo que condujese a un nuevo diseño en la orientación del programa de ESRO, que favoreciese a las aplicaciones. El resultado final del paso francés fue la creación, entre 1973 y 1975, de ESA, organización cuyo presupuesto para la investigación puramente científica se limita al diez por ciento del presupuesto total, aunque, eso sí, es obligatorio, lo que no ocurre con el resto de sus programas, que son optativos.

Volviendo al caso de Estados Unidos, tenemos que hay también que tener en cuenta que a comienzos de la década de los sesenta habían empezado a aparecer limitaciones en el presupuesto. El mayor número de científicos que habían producido las filosofías precedentes, la magnitud creciente del coste de la ciencia experimental, y los efectos de la fundación de la NASA (en particular el establecimiento, en 1961, a instancias del presidente Kennedy, del programa «Apolo» para que

un hombre pisase la Luna) y del Instituto Nacional de la Salud (recordemos en este punto que en 1971, el presidente Nixon, probablemente estimulado por el ejemplo de Kennedy, lanzó otro gran programa de investigación, esta vez con el objetivo de derrotar al cáncer) hicieron patente que había que imponer algún criterio en la asignación de recursos ¹².

Este nuevo contexto hizo que la justificación tradicional de la física de altas energías tuviera que ser modificada. Los físicos de altas energías se vieron obligados a recurrir a argumentos racionales, en lugar de a razones de prestigio —cuando no a presiones políticas— para defender su pretensión de continuar ocupando uno de los lugares más altos del presupuesto. Tales argumentos consistían (continúan consistiendo) habitualmente de exposiciones de los beneficios económicos que surgirían de sus investigaciones. El argumento, repetidamente utilizado a ambos lados del Atlántico (el caso del CERN, el gran laboratorio europeo de altas energías, es otro buen ejemplo en este sentido), de los «retornos tecnológicos».

5. ¿El final de un sueño? El caso del supercolisionador superconductor

El famoso Supercolisionador Superconductor (Superconducting Super Collider; SSC) ha sido la víctima más conocida de la nueva etapa que comenzó a abrirse por entonces. Este gigantesco acelerador, que los físicos de altas energías estadounidenses estimaban indispensable para continuar desarrollando la estructura del Modelo Estándar, iba a estar formado por un túnel de 84 kilómetros de longitud que debería ser excavado en las proximidades de una pequeña población de 18.000 habitantes, situada a aproximadamente 30 kilómetros al sudoeste de Dallas: Waxahachie. En el interior de ese túnel miles de bobinas magnéticas superconductoras guiarían dos haces de protones para que, después de millones de vueltas, alcanzasen una energía veinte veces más alta que la conseguida en los aceleradores existentes. En varios puntos a lo largo del anillo, los protones de los dos haces chocarían, y enormes detectores controlarían lo que sucediera en tales colisiones. El coste del proyecto, que llevaría diez años, se estimó inicialmente en 6.000 millones de dólares.

Después de una azarosa vida, con parte del trabajo de infraestructura ya realizado (tramos de la excavación del túnel), el 19 de octubre de 1993, y tras de una prolongada, difícil y cambiante discusión parla-

mentaria, tanto en el Congreso como el Senado, el primero canceló el proyecto. Como cabía esperar, numerosos físicos de altas energías han manifestado públicamente su desacuerdo con la decisión tomada. Uno de ellos ha sido Steven Weinberg, premio Nobel de Física por sus contribuciones al desarrollo de una teoría electrodébil¹³. Es interesante analizar algunos de los comentarios efectuados por Weinberg en un libro, *El sueño de una teoría final*, cuyo origen debe mucho al deseo, sin duda legítimo, de este científico de dar la mayor publicidad posible a sus ideas en este tema.

Para Weinberg, los «problemas del proyecto del Supercolisionador han sido en parte un efecto colateral de cambios políticos ajenos a él. El presidente Clinton ha mantenido el apoyo de la administración al Supercolisionador, pero él se jugaba menos políticamente en ello que lo que se habían jugado el presidente Bush de Texas o el presidente Reagan, durante cuya administración se inició el proyecto. Lo que es quizá más importante, muchos miembros del Congreso (especialmente los nuevos) sienten ahora que es necesario demostrar su prudencia fiscal votando contra *algo*. El Supercolisionador representa un 0,043 por 100 del presupuesto federal, pero se ha convertido en un símbolo político conveniente»¹⁴.

¿Por qué —habría que preguntarse— se sorprende Weinberg ante hechos como los que señala? Cuando terminó la Segunda Guerra Mundial, la física nuclear y de partículas elementales recibió, por razones políticas, sociales y militares, un apoyo del Gobierno Federal y del Pentágono sin precedentes en ninguna otra disciplina científica en la historia de la humanidad. Y los físicos nucleares y de altas energías no fueron receptores pasivos ante la generosidad estatal y militar, sino que se esforzaron en desarrollar todo tipo de mecanismos para acceder a los centros desde los cuales se orientaba la política científica. No hay duda que el producto científico de semejante situación ha sido espléndido: conocemos mucho mejor las leyes fundamentales por las que se rige la materia, y este conocimiento ha penetrado, fecundándolas, otras ramas de la física, al igual, aunque en menor grado, que otras ciencias. En consecuencia, nadie podrá acusar a estos físicos de haber malgastado las oportunidades que se les han concedido. Pero constatar este hecho no muestra sino una faceta de la realidad. Hace ya tiempo que la investigación científica está condicionada por la situación política, que, a su vez, depende de las creencias sociales vigentes. Sin olvidar que es perfectamente legítimo el que desde otros campos científicos se reclamen atenciones similares a las recibidas por la física de altas energías.

Weinberg no debería, por consiguiente, sorprenderse. Y en realidad no lo hace. Su análisis es agudo y perspicaz. «Durante siglos» —escribe en otro lugar de su libro— «las relaciones entre ciencia y sociedad han estado gobernadas por un pacto tácito. Generalmente los científicos quieren hacer descubrimientos que sean universales o bellos o fundamentales, ya puedan preverse o no beneficios concretos para la sociedad. Algunas personas que no son científicos encuentran excitante este tipo de ciencia pura, pero la sociedad... ha estado generalmente dispuesta a apoyar el trabajo en ciencia pura principalmente porque espera que tenga aplicaciones ya sea a la tecnología o a la medicina o a la guerra. Generalmente estas expectativas se han mostrado correctas... Pero ahora este pacto parece estar en entredicho. No se trata solamente de que algunos miembros del Congreso hayan perdido su confianza en la ciencia pura; la batalla por los fondos ha llevado a algunos de los propios científicos, que trabajan en campos aplicados, a volverse contra el apoyo a aquellos de nosotros que buscamos leyes de la naturaleza. Y los problemas a los que se ha enfrentado el Supercolisionador en el Congreso son simplemente un síntoma de este desencanto de la ciencia pura»¹⁵.

6. Más allá del «desencanto»

Utilizar la expresión «desencanto», una palabra polivalente cuando no equivoca, puede inducir a error. La acepción que más fácilmente viene a la mente es la de abandonar una empresa recomendable, sino admirable. Pero tras la decisión de abandonar la construcción del Supercolisionador Superconductor hay mucho más de lo que Weinberg indica, o sutilmente sugiere. Existen, en efecto, cuestiones, actuaciones o hechos que conviene comentar para comprender realmente lo sucedido¹⁶.

Un primer punto a explorar es uno que el propio Weinberg menciona cuando escribe, casi de pasada: «pero él [el presidente Clinton] se jugaba menos políticamente en ello que lo que se habían jugado el presidente Bush de Texas o el presidente Reagan, durante cuya administración se inició el proyecto».

Comenzando por Ronald Reagan, es preciso señalar que el proyecto del SSC fue favorecido por Reagan porque encajaba adecuadamente con su megaprograma militar denominado «Iniciativa de Defensa Estratégica». Pero si los posibles —e insistentemente prometidos por los defensores del acelerador— retornos tecnológicos podían ser atractivos

para el presidente y su administración, otro elemento atrajo inmediatamente la atención: el colisionador debería crear una gran cantidad de nuevos puestos de trabajo, entre cinco y ocho mil. No es sorprendente, por consiguiente, que la mitad de los Estados de la Unión entrasen en la competición —iniciada el 1 de abril de 1987— por la elección del lugar en el que debía instalarse. El 10 de noviembre de 1988, esto es, el día después de que George Bush fuese elegido presidente, el secretario de la Energía, John S. Herrington, anunciaba que el SSC sería construido en Waxahachie. Texas proporcionaría 200 millas cuadradas de terreno y mil millones de dólares para el proyecto. Sin embargo, algunos observadores no dejaron de señalar que el presidente electo llamaba Texas su hogar y que la delegación tejana en el Congreso incluía al *Speaker*, Jim Wright, y a los senadores Lloyd Bentsen, que acababa de participar en la competición electoral como candidato demócrata a la vicepresidencia, y a Phil Gramm, representante de Waxahachie.

Es también posible comprender mejor la frase de Weinberg, «se jugaba menos políticamente», si se tienen en cuenta otros hechos, además de los que acabo de señalar. Hechos como que, cuando los entusiasmos iniciales en favor del SSC comenzaron a decaer (entre otros motivos porque en 1989 se introdujeron cambios en el diseño del acelerador que elevaron su presupuesto a 8.249 millones de dólares, y porque el Gobierno federal parecía incapaz de cumplir la promesa realizada por Reagan y Bush al Congreso de que un tercio del coste provendría de fuentes no federales), algunos de los apoyos más importantes para el SSC llegaron de procedencias cuyas motivaciones políticas resultaban evidentes. Apoyos como el del congresista republicano archiconservador, Joe Barton, representante de Waxahachie, a quien no le importó, en un duro ejercicio de lógica, defender, por un lado, el proyecto del SSC, y por otro, en 1992, la necesidad de enmendar la propia Constitución para asegurar presupuestos equilibrados, actitud que llevó al congresista demócrata de Florida y enemigo del SSC, Lawrence J. Smith, a referirse a Barton como «obviamente un contorsionista, que está al mismo tiempo en dos lados opuestos de la política fiscal»¹⁷. Otro defensor del SSC, cuyas motivaciones son transparentes e ilustrativas, fue el senador por Louisiana, J. Bennett Johnston, que encabezaba el Comité de Energía y Recursos Naturales del Senado, al igual que el Subcomité de Adjudicaciones para Energía y Desarrollo del Agua. Johnston había sido al principio un oponente al SSC, pero se convirtió en un gran defensor suyo cuando General Dynamics se comprometió a producir

los imanes superconductores que necesitaba el acelerador, en su factoría de Hammond, Louisiana.

También se puede, y debe, comentar, otras frases de Weinberg citadas; en concreto aquellas en las que manifiesta: «la batalla por los fondos ha llevado a algunos de los propios científicos, que trabajan en campos aplicados, a volverse contra el apoyo a aquellos de nosotros que buscamos leyes de la naturaleza. Y los problemas a los que se ha enfrentado el Supercolisionador en el Congreso son simplemente un síntoma de este desencanto de la ciencia pura». Es cierto que la «batalla por los fondos» llegó al Congreso; más aún, a la «calle», a los foros públicos de debate que utilizan los científicos. Personajes tan notorios como el premio Nobel J. Robert Schrieffer, y Philip Anderson declararon en el Congreso que las leyes de la física de la materia condensada son tan fundamentales como las de la física de altas energías, y que campos como la materia condensada sirven a la sociedad a un costo menor que la física de altas energías¹⁸. Asimismo, un cierto número de científicos mostraron su malestar con el argumento utilizado repetidamente por los defensores (como Leon Lederman) del SSC, de que física de altas energías, y en particular los grandes aceleradores, habían sido responsables del desarrollo del método de imagen por resonancia magnética, al igual que de los avances en imanes superconductores, de los que tantos beneficios se esperaban para la industria. Nicolas Bloembergen manifestó en 1991 ante el Congreso que ni el método de imagen por resonancia magnética, ni los imanes superconductores habían surgido del desarrollo de aceleradores.

Es cierto, por consiguiente, que la batalla por los fondos se ha agudizado en los últimos años. Pero esto es absolutamente normal, y ni Weinberg ni ningún otro físico debería sorprenderse por ello. Lo realmente sorprendente acaso sería el extraordinario predicamento político, y la situación de privilegio, que la física —y los físicos— de altas energías mantuvieron durante décadas después del final de la Segunda Guerra Mundial. En cuanto a los «retornos tecnológicos» que se han obtenido de esa física, existen, como mínimo, posturas enfrentadas. Y, por último, aunque es cierto que la ciencia aplicada se ve, o puede verse, favorecida, semejante hecho no es nuevo, siempre lo ha sido y, supongo, siempre lo será. ¿Acaso la física de altas energías no fue favorecida por lo que sectores poderosos de la sociedad estadounidense esperaban, directa o indirectamente, de ella a partir de 1945? No es, por tanto, justo decir, como hace Weinberg, que la sociedad se ha vuelto «contra el apoyo a aquellos de nosotros que buscamos leyes de la naturaleza». Ni tampoco que los problemas con los que

se ha enfrentado el SSC en el Congreso «son simplemente un síntoma de este desencanto de la ciencia pura». Como he mencionado, algunos físicos sostienen que, por ejemplo, las leyes de la física de la materia condensada son tan fundamentales como las de la física de altas energías. ¿Es lícito defender la idea de que quienes piensan así, tengan o no razón, no están interesados en la ciencia pura. Y, en última instancia, la frontera entre ciencia «pura» y «aplicada» es, históricamente, demasiado compleja como para establecer límites precisos. Como he argumentado en otro lugar, de la que algunos denominan ciencia aplicada (¿«impura»?), han surgido avances dramáticos en la llamada ciencia «básica»¹⁹.

7. La ciencia en un mundo posmoderno

La actividad científica está relacionada en última instancia con los valores que marcan nuestras sociedades. En este sentido, las dificultades que encuentran los físicos de altas energías, al igual que, como veremos enseguida, otros científicos «puros», se deben contemplar también desde una perspectiva menos coyuntural, menos política si se quiere, y más «psico-social».

Uno de los rasgos del mundo posmoderno en el que vivimos es la negación de un canón único y universal, la reafirmación del pluralismo y de la diversidad de valores. Rasgos éstos que son, a su vez, consistentes con la multiplicación y dispersión de productores de conocimiento, así como de los productos de ese conocimiento²⁰. En ese flujo de pluralidades, la física de altas energías, como otros valores y actividades, pierde una buena parte de la solidez, social y científica, sobre la que se asentaba. Tiene que abrirse paso a través de un mundo en el que el discurso de los derechos y de la pluralidad de valores es la norma. Es comprendiendo la esencia y novedad de tal situación, inevitable y, en numerosos sentidos, probablemente más justa, que debemos plantearnos la cuestión de si deseamos reafirmar nuestra antigua fe en el valor que para la sociedad contemporánea puede tener la física de altas energías. Y no se trata, por supuesto, únicamente de esta especialidad científica, aunque indudablemente se trate de una disciplina particularmente significativa, sino que debemos aplicar esta metodología, esta comprensión histórica, social, a toda la ciencia contemporánea.

8. Una situación común: la intervención social en las ciencias biomédicas

También relevante para entender la situación actual de la física de altas energías es la creciente percepción —estimulada por el mencionado clima posmodernista— sociopolítica de que el protagonista —y juez— último de toda actividad financiada con fondos públicos es la propia sociedad (habría que citar además, por supuesto, otros factores, como la, al menos aparente, mayor capacidad actual de generar problemas y respuestas de gran interés científico en dominios como la biología molecular, aunque yo no voy a abordar estas cuestiones aquí). Pero en este punto hay que señalar que las dificultades no son exclusivas de la física de altas energías.

Así, las ciencias biomédicas están siendo objeto en la actualidad de un mayor escrutinio social que la física. Mujeres con cáncer de pecho, por ejemplo, están exigiendo en algunos países, y comenzando a recibir, un papel en la planificación y ejecución de la investigación ²¹. (Hay recordar en este punto que aunque el conocimiento de la biología del cáncer de pecho ha aumentado sustancialmente en los últimos treinta años, ese conocimiento no se ha traducido en avances dramáticos en el tratamiento; la recurrencia del cáncer de pecho después de cirugía es demasiado frecuente, y cuando el cáncer reaparece, una cura es, en general, bastante más difícil).

Detrás de situaciones como esta se encuentra el hecho de que la investigación biomédica presta mucho mayor atención a la investigación fundamental y a perfeccionar métodos de tratamiento que a la prevención. En el caso del cáncer, por ejemplo, una gran parte de la investigación se ha centrado en perfeccionar métodos de tratamiento, como la radioterapia, la quimioterapia o la cirugía, o en comprender los mecanismos biológicos implicados en la carcinogénesis. En 1995 la base de datos referente a ensayos clínicos del Instituto Nacional del Cáncer estadounidense mostraba 173 ensayos de tratamientos «activos» contra el cáncer de pecho, comparado con solamente 8 centrados en prevención. Para otros cánceres la proporción es todavía más llamativa. Una búsqueda limitada en bancos de datos ha mostrado 1.190 ensayos de tratamientos frente a 32 ensayos de prevención (diez de los cuales estaban diseñados para impedir el desarrollo de un segundo cáncer en pacientes que ya habían padecido de la enfermedad) ²².

Y, sin embargo, son cada vez más los colectivos sociales (de los implicados, en particular) que reclaman intervenir en cuestiones otrora

exclusivas de los científicos (médicos o biólogos en este caso). Colectivos que desean discutir, probablemente negociar, entre las muchas —y dramáticas sin duda— elecciones posibles: ¿tratamiento o prevención? ¿tratamiento agresivo o mínimo? ¿cantidad de vida o calidad de vida? Discusiones y negociaciones que, naturalmente, inciden en la orientación de las investigaciones científicas, y, en este sentido, en el contenido de la ciencia del futuro.

Y no se trata de un fenómeno asociado únicamente al cáncer. La población que va envejeciendo planteará cuestiones cada vez más complejas sobre el cuidado de la ancianidad, el tratamiento de la incapacidad, el papel y el estatus de las últimas voluntades y el cuidado de los moribundos. El éxito que han tenido libros tales como *Cómo morimos*, de Sherwin B. Nuland, muestra con claridad esta tendencia. Una tendencia, unos deseos, que también incidirán en las investigaciones médicas.

Como cabía esperar, del lado de los científicos —especialistas en las ciencias biomédicas en este caso— han surgido voces que se oponen a enfoques como éstos. En su conferencia presidencial de 1993 de la Sociedad Americana de Oncología Clínica, la principal organización de los especialistas estadounidenses en cáncer, Bernard Fisher lanzó un duro ataque contra aquellos que denominaba «pícaros que socavan el camino hacia el progreso con causas equivocadas»²³. Fisher, que era entonces además de presidente de la Sociedad de Oncología Clínica, el responsable principal de la lucha que mantenía el Instituto Nacional del Cáncer contra el cáncer de pecho, expresaba la preocupación que sentían muchos investigadores por la salud de su profesión.

Los «pícaros» de los que hablaba Fisher incluían a especialistas en ética, administradores, políticos, psicólogos, funcionarios gubernamentales y, especialmente, los miembros de los grupos sociales que se han movilizado para exponer sus ideas sobre el tratamiento del cáncer de pecho. Los bastiones de la ciencia médica, insistía Fisher, estaban sitiados por el vulgo; sin acciones decisivas, los investigadores médicos se enfrentaban al apocalipsis: «el fin de un sueño de la investigación médica, uno de los mayores tesoros de esta nación».

En el número de noviembre/diciembre de 1995 de la revista *The Sciences*, el órgano de la Academia de Ciencias de Nueva York, encontramos otra muestra de las reacciones que se están produciendo ante las exigencias sociales. Se trata de una breve nota, titulada «¿Democracia en la medicina?», preparada como respuesta a un artículo publicado unos meses antes en la revista²⁴. Es tan breve y transparente que merece la pena citarla en su totalidad:

«En su reseña titulada «Nuestros Cuerpos, nuestra ciencia» —comienza el autor—, Charles Weijer sugiere que la investigación sobre el cáncer de pecho se beneficiaría mucho de una actitud más democrática que estimulase sugerencias y guías procedentes de la comunidad del cáncer de pecho, particularmente de mujeres que padecen, o tienen grandes probabilidades de padecer, cáncer de pecho.

Ciertamente nadie dice que los científicos son infalibles. Pero ¿cómo llega uno a la premisa de que sufrir de una enfermedad imparte alguna sabiduría mágica referente a la investigación médica?

Hacer que la democracia funcione es suficientemente duro. Tratar de hacer [que funcione también en la ciencia] sería desastroso».

No pretendo, ni mucho menos, argumentar que la ciencia sea una actividad democrática, en el sentido de que se someta a votación qué resultados deben ser aceptados y cuales no; o en la que tenga el mismo peso la voz de un científico eminente que la de otro de segunda categoría. En este sentido, la ciencia no es, ni creo que deba ser, democrática. Pero no estamos hablando de esto. No estamos hablando sobre si las investigaciones relativas a la terapia del cáncer se han desarrollado profesionalmente o no. Salvo desviaciones, es de suponer que sí han procedido rigurosamente, de acuerdo con el código científico. De lo que estamos hablando es de a qué tipo de investigaciones deberíamos dar preferencia, en opinión de la sociedad, o al menos de los sectores de la sociedad más afectados.

Las decisiones a tomar, decisiones que obligan a considerar cuidadosamente qué sociedad y qué medicina queremos, no pertenecen al ámbito de los hechos científicos precisos, sino al de la dudosa indagación moral. No están, por tanto, reservadas sólo a los profesionales de la medicina, sino que también implican a las personas de la calle, a nuestros representantes políticos, a los filósofos, a todos en definitiva. No es extraño que todavía existan quienes se opongan a esta nueva manera de ver las cosas²⁵, de ver la ciencia, de aproximarnos al futuro, pero, como ha recalcado Ian Kennedy, estos son «en gran medida francotiradores: los desarrollos médicos, dicen, no pertenecen al mundo de los valores y la consecución del conocimiento es un bien esencial y eterno. Nunca habríamos tenido la aspirina, afirman, si hubiera que legalizarlas ahora. La innovación detendría su camino: véase el tiempo perdido debatiendo asuntos tales como la investigación embrionaria, la utilización de tejidos fetales para transplantes o declarando una moratoria sobre ingeniería genética. Pero son, repito, francotiradores. Los días de los incondicionales están contados. La realidad actual es que las predicciones relativas a cómo enfrentarnos a los

dilemas médicos de vanguardia dependen del modo de proceder o del significado del análisis empleado. El modo apropiado y válido es aquel que reconoce que lo que encaramos en el futuro depende del valor de las elecciones que hacemos hoy»²⁶.

Vemos, pues, que las restricciones sociales no afectan únicamente a la física de altas energías. «Naturalmente», exclamarán probablemente algunos de los profesionales de esta disciplina, «al fin y al cabo, una cosa son las ciencias biomédicas y otra, muy diferente, la física de altas energías». «Más aun, sería justo», añadirían sin duda muchos, «que las ciencias biomédicas fuesen objeto de un control mucho mayor». Sin negar que existe un elemento de verdad en tal planteamiento, ni pretender una analogía completa, propongo como un saludable ejercicio el repetir los argumentos que empleé con anterioridad substituyendo los términos o expresiones propios de la biomedicina por los correspondientes a la física. Nos encontraríamos de esta manera con frases como: «No estamos hablando sobre si las investigaciones relativas a la «física de altas energías» se han desarrollado profesionalmente o no. Salvo desviaciones, es de suponer que sí han procedido rigurosamente, de acuerdo con el código científico. De lo que estamos hablando es de a qué tipo de investigaciones deberíamos dar preferencia, en opinión de la sociedad, o al menos de los sectores de la sociedad más afectados». O: «Los bastiones de la «física de altas energías»... están sitiados por el vulgo; sin acciones decisivas, los investigadores se enfrentan al apocalipsis: «el fin de un sueño de la investigación "física", uno de los mayores tesoros de esta nación».

9. Comentario final: en busca de la novedad

Los argumentos que he utilizado hasta el momento tienen como fin el intentar situar las dificultades que padece en los últimos tiempos la investigación en física de altas energías en una adecuada perspectiva histórica, social y política, con el propósito, entre otros, de ayudar a que aquellos más directamente involucrados en esta rama de la ciencia comprendan mejor qué es lo que está sucediendo y obren, si procede, y se manifiesten con mejor conocimiento de causa. Que vean fantasmas, o gigantes, cuando haya fantasmas, no cuando existan, simplemente, molinos de viento; esto es, que sean capaces de percibir la compleja, cambiante y no siempre satisfactoria, ni racional, realidad social.

Precisamente para intentar completar esta, sin duda, a pesar de todo, incompleta e insatisfactoria, imagen, quiero terminar añadiendo

otro elemento de esa «realidad social» presente, relevante para comprender la situación de la ciencia actual.

Tal elemento surge de un hecho creo que innegable: ciencia y tecnología se aproximan cada vez más. Es cierto que la «tecnologización» de la ciencia no es un fenómeno reciente. La mayor parte de los descubrimientos astronómicos que han tenido lugar desde el Renacimiento son resultado directo de la introducción de nuevas técnicas en los medios de observación. Pero desde el final de la Segunda Guerra Mundial esta tendencia se ha intensificado radicalmente. Nuevas especialidades, incluso disciplinas científicas completas, han surgido de la aparición de un instrumento o una tecnología. El cohete, por ejemplo, fue menos un instrumento que el creador de la «ciencia espacial». Con frecuencia, los instrumentos técnicos dejan de ser medios para constituirse en fines en sí mismos. A comienzos de los años cincuenta, un fisiólogo de la vieja generación, Otto Loewi, ya deploraba la «tendencia general de nuestro tiempo a adorar métodos y artilugios.» «Esto ha ido tan lejos» —continuaba— «que a veces uno tiene la impresión que en contraste con tiempos pasados, cuando buscaba métodos para resolver un problema, ahora, con frecuencia, los investigadores buscan problemas con los cuales puedan explotar alguna técnica especial»²⁷.

Y así, la investigación científica, al igual que la tecnológica, juntas o, si esto es posible, por separado, se encuentran en la actualidad implicadas en, fundamentalmente, buscar la novedad; a menudo, esto es lo nuevo —y, a veces sin duda lo peligroso también—, independientemente de lo que semejante novedad pueda representar para el «avance del saber», para la comprensión más profunda de los fundamentos teóricos en los que se asienta la ciencia. Prolifera la actividad de diseñar objetos nuevos, artefactos que nunca antes existieron, al igual que de crear marcos conceptuales (modelos) para comprender la complejidad y novedad que pueda emerger de los fundamentos y ontologías *conocidas*, no de construir nuevas visiones de la naturaleza. En semejante *Zeitgeist* los objetos, los artefactos, envejecen rápidamente, y es difícil soportar la conjunción de «viejos artefactos» que no conducen *rápidamente* a nuevas situaciones. ¿Ocurre así con los aceleradores de partículas, acaso demasiado tradicionales, no importa su siempre presente desarrollo y modernización?

Tampoco favorece esta nueva cultura el que nos planteemos cuestiones morales (ya sé que esta es otra cuestión), o que intentemos edificar esquemas con pretensiones filosóficas (como una visión física lo más completa posible del universo). Creamos objetos, pero no nos detenemos en asumir responsabilidades morales sobre ellos. La inge-

niería genética muestra en toda su crudeza, en tanto que nos afecta directamente, como seres biológicos que somos, este problema, esta carencia de asunción de responsabilidades asociada a la ciencia contemporánea. Como también la muestra el mundo de la microelectrónica, de las comunicaciones digitales, que está construyendo un mundo nuevo, sin plantearse siquiera si es un mundo que queremos, del que deseamos hacernos responsables.

La proliferación de microculturas tecnocientíficas, cada una nacida de la existencia de herramientas comunes, más que de la comunidad de conceptos (para no hablar, repito, de un visión de la naturaleza común), ha socavado gradual pero inexorablemente la antigua veneración de que había sido objeto la ciencia pura y abstracta. El *ethos* posmoderno da prioridad y novedad, favorece, cuando menos, el empleo de procedimientos específicos para enfrentarse con la complejidad del mundo real, en lugar de trascender esa complejidad mediante la abstracción. Los científicos teóricos (y aquí se pueden incluir también a los experimentales que plantean sus investigaciones desde la perspectiva de contribuir a la elaboración de una síntesis teórica), ya sean físicos o biólogos, matemáticos o químicos, se convierten así en *rara avis* de un mundo, el del conocimiento, cuya esencia ha cambiado profundamente. ¿Qué puede importar en semejante mundo el que exista una nueva partícula o sea cierta una teoría como la de las supercuerdas?

Notas

¹ Citada en S. S. Schweber, «Some reflections on big science and high energy physics in the United States», *Rivista di Storia della Scienza* 2, serie II, 127-189 (1994); p. 149. En este artículo, Schweber, un físico teórico de altas energías convertido en excelente historiador de la ciencia, examina con cierto detalle algunos puntos sobre los que yo paso con rapidez. Ver, asimismo, S. S. Schweber, «Physics, community and the crisis in physical theory», *Physics Today* 46 (noviembre 1993), pp. 34-40.

² Richard P. Feynman, *¿Está Vd. de broma, Sr. Feynman?* (Alianza, Madrid 1987), p. 154.

³ L. Groves, *Now It Can Be Told* (Harper & Brothers, Nueva York 1962), p. 140.

⁴ La carta de Bohr se reproduce en *Niels Bohr. His Life and Work as Seen by his Friends and Colleagues*, S. Rozental, ed. (North-Holland, Amsterdam 1967), pp. 340-352.

⁵ El tema de la participación de físicos atómicos en la biología molecular es especialmente interesante. Además de Crick y Szilard, habría que referirse a Max Delbrück, cuya tesis doctoral (Gotinga, 1929), propuesta por Walter Heitler estuvo

dedicada a explicar en términos semicuantitativos por qué el enlace covalente entre dos átomos de litio es mucho más débil que el enlace homólogo formado entre dos átomos de hidrógeno. Tras completar su tesis, Delbrück pasó un año en Bristol, con John Lennard-Jones, y después (con una beca de la Fundación Rockefeller) medio año en Copenhague, junto a Niels Bohr, y otro medio en Zurich, con Wolfgang Pauli. En 1935, en colaboración con Nicolai Timoféeff-Ressovsky y K. G. Zimmer, desarrolló un modelo cuántico de mutación genética, que aunque resultó incorrecta, a la postre constituyó un «exitoso fracaso», debido a la influencia que ejerció, gracias, en gran medida, a la mención que de este trabajo se hacía en el célebre librito de Erwin Schrödinger, *¿Qué es la vida?*, publicado por primera vez en 1944 y fruto de una serie de conferencias en el Institute for Advanced Studies de Dublin. Ya instalado en Caltech, Delbrück comenzó en 1938 a estudiar los genes recurriendo a los virus bacterianos, o *fagos*. Aunque los fagos son demasiado pequeños para observarlos con microscopios ordinarios, y estructural y químicamente son muy sencillos (mitad proteínas, mitad ADN), están, no obstante, dotados de la capacidad de autorreproducción. Delbrück demostró que un fago que infecta a una célula puede dar lugar a cientos de fagos idénticos en media hora, con lo que se convertían en extraordinarios instrumentos para estudiar la replicación genética. Dos años después, Delbrück se encontró con Salvador Lura y Alfred Hershey, dando lugar al conocido como "Phage Group", cuyos miembros estaban unidos por un deseo común: resolver el misterio del gen. A señalar también que en 1947, Luria, entonces profesor en Indiana tomó como estudiante graduado a un joven llamado James Watson, iniciándole como miembro del Grupo de los Fagos. La «conexión física del ADN», esta vez, ciertamente, de manera algo más indirecta que en el caso de Crick, se cerraba. (Sobre Delbrück, véase Ernst Peter Fischer y Carol Lipson, *Thinking about Science. Max Delbrück and the Origins of Molecular Biology* [W. W. Norton, Nueva York 1988]).

Aquel mismo año de 1947, por cierto, Leo Szilard, uno de los principales promotores del proyecto nuclear estadounidense, decidía seguir un curso de verano de tres semanas sobre virus bacterianos (fagos) que había organizado Delbrück en Cold Spring Harbor. Allí coincidió, entre otros, con Jacques Monod. Dos años más tarde, se publicaba el primer artículo de Szilard (en colaboración con A. Novick) sobre biología; su título: «Experiments on light-reactivation of ultra-violet inactivated bacteria» (*Proceedings of the National Academy of Sciences* 35, 591-600 [1949]). Sobre Szilard y sus opiniones en el campo del control nuclear, ver *Toward a Livable World: Leo Szilard and the Crusade for Nuclear Arms Control*, Helen S. Hawkins, G. Allen Greb y Gertrud Weiss Szilard, eds. (The MIT Press, Cambridge, Mass. 1987).

⁶ J. R. Steelman, *Science and Public Policy* (Government Printing Office, Washington D.C., agosto 1947); reeditado por Arno Press, Nueva York 1980. Ver Schweber, «Some reflections on big science and high energy physics in the United States», y William A. Blanpied, «Inventing US science policy», *Physics Today* (febrero de 1998), pp. 34-40. John R. Steelman formaba parte entonces de la Office of War Mobilization and Reconversion.

⁷ Estos puntos se desarrollan en J. M. Sánchez Ron, *El poder de la ciencia* (Alianza, Madrid 1992), cap. 8.

⁸ P. Forman, «Behind quantum electronics: National security as basis for physical research in the United States, 1940-1960», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 18, 149-228 (1987); e «Into quantum electronics: the maser as 'gadget' of Cold-War America», en P. Forman y J. M. Sánchez Ron., eds., *National*

Military Establishments and the Advancement of Science and Technology. Studies in the 20th Century History (Kluwer, Dordrecht 1996), pp. 261-326.

⁹ S. S. Schweber, «Some reflections on big science and high energy physics in the United States».

¹⁰ La NSF fue fundada en 1950. Inicialmente se esperaba de ella que patrocinase y controlase la mayor parte de la investigación fundamental nacional. Sin embargo, con el comienzo —en junio de 1950, sólo tres meses después de su establecimiento— de la guerra de Corea, estos planes sufrieron un retroceso considerable, al aumentar sustancialmente la intervención de las Fuerzas Armadas en la política científica federal.

¹¹ Sobre este punto, véase Maurice Lévy, «The ESRO scientific programme during the transition period, 1971-1975», en *Science Beyond the Atmosphere: The History of Space Research in Europe*, Arturo Russo, ed., *ESA HSR-SPECIAL* (julio 1993), pp. 143-145, y José M. Sánchez Ron, «Poder científico versus poder político: reflexiones a propósito del CERN y de ESRO/ESA», *Arbor*, n.º 577-578 (enero-febrero de 1994), pp. 27-49.

¹² El 25 de mayo de 1961, sólo cuarenta y dos días después del vuelo de Yuri Gagarin (12 de abril) a bordo de la nave «Vostok», Kennedy se dirigió al Congreso de la nación en los siguientes términos: «Considero que este país debe fijarse el objetivo de poner un hombre en la Luna y lograr que vuelva sano y salvo a la Tierra para antes de que termine la década».

¹³ Otros defensores notorios han sido físicos tan distinguidos como Sheldon Glashow y Leon Lederman; ver, por ejemplo, su artículo, «The SSC: A machine for the nineties», *Physics Today* 38 (marzo de 1985), pp. 28-37.

¹⁴ S. Weinberg, *El sueño de una teoría final* (Crítica, Barcelona 1994), pp. 220-221.

¹⁵ *El sueño de una teoría final*, pp. 222-223.

¹⁶ Un análisis excepcionalmente lúcido e informado es el realizado recientemente por Daniel Kevles, «Big science and big politics in the United States: reflections on the death of the SSC and the life of the Human Genome Project», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 27, 269-297 (1997). En la presente sección sigo su tratamiento.

¹⁷ Citado por Kevles, «Big Science and big politics in the United States», p. 285.

¹⁸ *Hearing before the Subcommittee on Energy Research and Development of the Committee on Natural Resources, Department of Energy's fiscal year 1990 budget request for the Office of Energy research*, Congreso 101, 1ª sesión (24 de febrero de 1989), p. 135. Citado en Kevles, «Big Science and big politics in the United States», p. 281.

¹⁹ José M. Sánchez Ron, *Falsos mitos: Ciencia vs. tecnología: Reflexiones sobre política científica* (Fundación Repsol, Madrid 1998). Ver también: Charles Townes, «Science, technology, and invention: their progress and interactions», en *Making Waves* (The American Institute of Physics Press, Woodbury 1995), pp. 111-125.

²⁰ Los siguientes comentarios deben mucho a las ideas de Paul Forman. Ver, por ejemplo, su «Recent science: late-modern and post-modern», en Thomas Söderqvist, ed., *The Historiography of Contemporary Science and Technology* (Harwood, Amsterdam 1997), pp. 179-213.

²¹ Charles Weijer, «Our bodies our science», *The Sciences* (mayo/junio 1995), pp. 41-44.

²² Sharon Batt, *Patient No More: The Politics of Breast Cancer* (Gynergy Books 1994).

²³ Citado por Ch. Weijer, «Our bodies, our science».

²⁴ Harold Greenfield, «Democracy in medicine?», *The Sciences* (noviembre/diciembre de 1995), p. 3.

²⁵ Además de los ejemplos ya citados, remito al lector a una obra, yo diría que casi paradigmática en lo que a este punto de vista se refiere: Paul R. Gross, Norman Levitt y Martin W. Lewis, eds., *The Flight from Science and Reason, Annals of the New York Academy of Sciences*, vol. 775 (Nueva York 1996). Una, dura, crítica de esta obra se encuentra en: Paul Forman, «Assailing the seasons», *Science* 276, 750-752 (1997).

²⁶ I. Kennedy, «La frontera médica», en R. Gombrich y D. Cupitt, eds., *Predecir el futuro* (Alianza, Madrid 1994), pp. 105-126; pp. 121 y 109.

²⁷ O. Loewi, «Reflections on the study of physiology», *Annual Review of Physiology* 16 (1954); reimpresso en *The Excitement and Fascination of Science*, vol. 1 (Annual Reviews, Palo Alto, California 1965), pp. 269-278; p. 272.