

1. LOS «THEMATA» EN EL PENSAMIENTO CIENTIFICO *

Cuando el historiador, el filósofo, el sociólogo o el psicólogo de la ciencia estudia un producto del trabajo científico —un artículo publicado, un cuaderno de laboratorio, la transcripción de una entrevista, un intercambio de correspondencia— se está enfrentando básicamente, en la mayoría de los casos, a un «acontecimiento»¹. Podemos distinguir, por lo menos, ocho facetas diferentes en tales acontecimientos, correspondiendo cada una de ellas a una clase diferente de temas de investigación de interés.

Primero está, evidentemente, la comprensión del contenido científico del acontecimiento acaecido en un tiempo determinado, tanto en términos de la época, como, por otro lado, en términos de nuestra interpretación actual. En opinión del científico, ¿de qué problema se trataba?, ¿con qué se enfrentaba de hecho? Para ello tratamos de establecer cuáles eran los conocimientos (dentro del área del saber científico público en la época en que se da el acontecimiento) que el

¹ Este capítulo está basado en una comunicación presentada en la reunión del 25 aniversario de la *History of Science Society*, el 16 de octubre de 1974. Una versión ligeramente resumida se publicó en *Science*, 188 (25 de abril de 1974), pp. 328-34. En la reunión de la *History of Science Society* comentó el artículo Robert K. Merton. Su discusión también fue publicada («Thematic Analysis in *Science: Notes on Holton's Concept*», *Science*, 188 [25 de abril de 1974], pp. 335-38), y debe ser leída junto con este capítulo. Merton trata, entre otras ideas, del análisis temático como perspectiva y como herramienta para la historiografía de la ciencia, y del paralelismo entre el análisis temático en historia y en sociología de la ciencia.

* «Themata in Scientific Thought», de la obra *The Scientific Imagination*, publicada por Cambridge University Press.

científico tenía sobre los llamados hechos científicos, datos, leyes, teorías, técnicas y demás saberes. Yo incluiría bajo este encabezamiento la parte más extensa de investigación histórica sobre lo que se suelen llamar concepciones científicas del mundo, ejemplares y programas de investigación. Sin embargo, lo que todavía preocupa preferentemente a historiadores y científicos es poner de manifiesto los conceptos y proposiciones que forman parte de los acontecimientos estudiados y presentarlos en un lenguaje analítico y empírico.

En segundo lugar está la trayectoria temporal descrita por los sucesivos estados del conocimiento científico compartido (es decir, «público» más que «privado») que conduce hasta el acontecimiento y que quizá se prolonga más allá de ese preciso momento. Establecer esto significa, por así decirlo, trazar la línea genealógica de una idea o un tema de investigación; una línea de la que el acontecimiento (*E*) es solamente un punto. Tanto si estamos estudiando el problema de la caída de los cuerpos desde Kepler a Newton, como si estudiamos el surgimiento de la electrodinámica cuántica desde Feynman hasta el último número de *Physical Review Letters*, bajo este encabezamiento nos ocupamos de antecedentes, desarrollos paralelos, continuidades, discontinuidades y cuestiones similares. Describir la línea del desarrollo conceptual y del «contexto de justificación» es la actividad primordial y más frecuente de los historiadores de la ciencia y de las personas interesadas en la enseñanza de la ciencia desde un punto de vista histórico.

En tercer lugar tenemos el aspecto personal, más efímero, de la actividad en la que *E* está englobado. Nos situamos aquí en el contexto de descubrimiento, tratando de comprender «el momento del alumbramiento» que puede estar poco documentado y que no tiene por qué ser necesariamente apreciado o comprendido por el mismo autor. Con excepción de los trabajos sobre contadas figuras, como Kepler o Einstein, los científicos (y los filósofos) han sido bastante poco comprensivos con este tipo de estudios. La misma institución de la ciencia —los métodos de publicación, las reuniones, la selección y formación de jóvenes científicos— está pensada para minimizar la atención que se presta a este elemento. El éxito de la misma ciencia como actividad compartida parece estar conectado con el desprecio sistemático de lo que Einstein llamó la «lucha personal». Además, la contradicción aparente entre la naturaleza frecuentemente «ilógica» del descubrimiento real y la naturaleza lógica de los conceptos físicos bien desarrollados es percibida por algunos como una amenaza a los mismos fundamentos de la ciencia y de la racionalidad.

El otro camino no es fácil. En una de sus entrevistas, Einstein urgía a los historiadores de la ciencia a que concentrasen sus esfuerzos en comprender cuál era la meta de los científicos, «cómo pensaban y luchaban con sus problemas». Pero al mismo tiempo apuntaba que el científico tendría que tener visión suficiente, es decir, debería tener una cierta sensibilidad (producto a su vez de una educación) tanto para el contenido de la ciencia como para el proceso de investigación científica, puesto que posiblemente se encuentren pocos hechos consistentes sobre la fase de creación. Indicaba también que, al igual que en la misma física, la solución a los problemas históricos puede que tenga que venir por caminos muy indirectos, siendo el mejor resultado que se puede esperar no la certeza, sino solamente una alta «probabilidad» de estar «en lo cierto de todas formas»².

Un cuarto componente de la investigación histórica es, con toda seguridad, el establecimiento de la trayectoria temporal de esta actividad científica, actividad que es «privada» en gran medida. Se trata de averiguar las continuidades y discontinuidades en el desarrollo personal o de descubrir la ciencia de todos los días tal como es experimentada por el científico en su lucha personal. De acuerdo con esto, se empieza a vislumbrar el acontecimiento *E*, en el instante *t*, como intersección de dos trayectorias o líneas genealógicas, una para la «ciencia pública» (llamémosla S_2), y otra para la «ciencia privada» (S_1), usando una terminología abreviada que es útil si no se lleva demasiado lejos³.

En quinto lugar, paralela a la trayectoria de S_1 , y fundiéndose con ella por uno de sus lados, tenemos una franja que describe el desarrollo psicobiográfico de la persona cuyo trabajo estamos estudiando. Estamos aquí en el campo nuevo y fascinante que explora la relación entre el trabajo científico de una persona y su estilo íntimo de vida.

² Cf. G. Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought: Kepler to Einstein* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1973), pp. 276-78 (capítulo 5 de esta obra, pp. 224-228).

³ Los conceptos de «ciencia privada» y «ciencia pública» han sido tratados en profundidad en G. Holton, *ibid.*, pp. 17-27, 387-95. En el comentario publicado sobre la versión inicial de este ensayo, R. K. Merton llama adecuadamente la atención sobre otros usos, sin relación con éstos, de términos similares. Lo que se llama aquí «ciencia privada» se refiere a aquellos aspectos «del 'momento en que nace' el descubrimiento que, según la convención, no se menciona normalmente en la 'ciencia pública', registrada en las revistas y monografías científicas». (Merton, *op. cit.* [n. 1], p. 337). Como indica Merton, los sociólogos que investigan los distintos tipos de entes científicos usan un término similar, «científicos privados», para referirse a personas que trabajan principalmente en laboratorios de investigación de la industria, que «ganan poca clientela publicando», y que no buscan el afianzamiento o el reconocimiento dentro de la comunidad científica.

En sexto lugar está el obligado estudio del escenario sociológico, de las condiciones o influencias que surgen de la comunidad de colegas, la dinámica del trabajo en equipo, el estado de profesionalización en la época, los medios institucionales para otorgar subvenciones, para evaluar y para aceptar el trabajo científico y las tendencias cuantitativas. Nos encontramos ahora dentro del campo de estudios de política científica y sociología de la ciencia en el sentido más estricto.

En séptimo lugar consideramos una franja similar, paralela a las trayectorias de S_1 y S_2 y que se funde con ellas, que trata de las producciones culturales fuera de la ciencia que influyen o son influenciadas por ella: cuestiones relacionadas con los lazos de retroalimentación entre las entidades ciencia-tecnología-sociedad, ciencia-ética y ciencia-literatura.

Finalmente está el análisis lógico del trabajo que se estudia. En mi propio desarrollo, primero como estudiante de P. W. Bridgman y Phillip Frank, y más tarde como su colega, el interés y el respeto por un análisis válido de la lógica de la ciencia precedieron, de hecho, al trabajo de análisis de los aspectos más estrictamente históricos de un problema.

Estas ocho áreas de estudio no están separadas por barreras impenetrables. Cada una de ellas ha requerido, con toda seguridad, su propia especialización y, por tanto, su propia autodefinición operativa. Podríamos presentar rápidamente los nombres de las personas más significativas en cada una de estas áreas, así como la forma en que se espera que se desarrollen en el futuro; aunque también podríamos estar todos de acuerdo, con mayor o menor entusiasmo, en que la resolución de un caso real en la historia de la ciencia (con todas sus ambigüedades y conexiones interdisciplinarias) en componentes separados es, después de todo, una estrategia reduccionista forzada o impuesta por nuestras limitaciones humanas.

Hacia el análisis temático

El método consistente en tratar entidades complejas por resolución o reducción se usó en la misma ciencia desde muy temprano, por ejemplo, en el pasaje del Segundo Día del *Diálogo*, de Galileo, donde Salviati y Simplicio discuten el movimiento de un objeto que se deja caer desde el mástil de un barco en movimiento. Simplicio se niega a aceptar la propuesta de Salviati para resolver el movimiento en una componente horizontal y otra vertical, correspondiendo una de ellas a una caída libre en línea recta hacia el centro de la tierra y

la otra a un movimiento con velocidad constante en la dirección del movimiento inicial. Quizá debamos atribuir la resistencia de Simplicio a una premonición de que el método de resolución y reducción es precario en su totalidad y no tiene más necesidad que la que podría tener cualquier otro *thema* metodológico. En otras palabras, el *thema* no es verificable ni falsable, y su utilidad depende enteramente de lo rápido que nos satisfagan los resultados.

Según sabemos ahora, Salviati exageraba en gran medida. Resolver el movimiento del objeto que cae en dos componentes para comprender el movimiento y sus causas es solamente el primer paso en una cadena de resoluciones esencialmente infinita. Si se necesita más detalle sobre el movimiento hay que tener en cuenta otras leyes. La aparición de la fuerza de Coriolis es responsable de que el objeto derive hacia el este. Hay que tener en cuenta las leyes de caída de los graves en medios reales, para varios números de Reynolds, con objeto de calcular los efectos del rozamiento y la turbulencia. Cuanto más detalle se necesita, más resoluciones son necesarias. El proceso se haría infinitamente regresivo si no se hubiese inventado en nuestro siglo una «Navaja de Occam» para suprimir todos los efectos laterales por debajo de un cierto límite. La física cuántica nos dio una forma de parar, debido al principio de incertidumbre y a la magnitud finita de la constante de Planck; estos elementos suprimen el significado de todas las cuestiones que vayan más allá.

Y todavía hay otra lección. Las dos componentes que Salviati escogió, aun cuando eran bastante plausibles e incluso resultaron ser útiles, no estaban dotadas de ninguna necesidad demostrable con respecto a cualquier otro conjunto de dos o más componentes del movimiento que pudiese haberse imaginado. Menciono esto para reconocer que mi lista de componentes no debe tomarse como la relación de un inmutable y sacrosanto Método del Octete*. Al contrario, una razón para hacer la lista es que permite concluir que es incompleta en un aspecto importante. En otras palabras, subsiste un conjunto de cuestiones que se resisten (al menos a mí), y que no pueden, de ninguna forma, ser manejadas en forma natural en este esquema óctuple. Son cuestiones que dejan al descubierto un lazo entre la actividad científica y los estudios humanísticos que pocos han estudiado hasta ahora.

Cualquier relación que se haga de tales cuestiones debe incluir las siguientes: ¿Qué permanece constante en la siempre cambiante

* N. del T.: En el original, *Eightfold Way*. La expresión coincide con el nombre de la teoría de clasificación de partículas elementales de M. Gell-Mann y Y. Ne'eman.

teoría y práctica de la ciencia?; ¿qué es lo que la hace una empresa con continuidad, a pesar de los aparentemente radicales cambios de detalle y centros de interés?; ¿cuáles son los elementos cuyo valor permanece en la ciencia mucho después de que hayan sido descartadas las teorías en que estaban englobados?; ¿cuáles son las fuentes de energía necesarias para mantener vivos durante décadas ciertos debates científicos?; ¿por qué los científicos —y por la misma razón también los historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia— con buen acceso a la misma información llegan a mantener con frecuencia modelos de explicación fundamentalmente diferentes?; ¿por qué algunos científicos se adhieren, con enormes riesgos, a un modelo de explicación o a un principio «sagrado», cuando está, de hecho, siendo contradicho por los elementos de juicio experimentales?

¿Por qué los científicos reconocen con frecuencia, en forma privada, que no existe dicotomía entre el contexto de verificación y el contexto de descubrimiento y, sin embargo, en público aceptan la diferencia? Si es verdad, como creía Einstein⁴, que el proceso de formular leyes por deducción pura está «mucho más allá de la capacidad del pensamiento humano», ¿qué es lo que puede guiar el salto a través de la sima que existe entre la experiencia y los principios básicos?; ¿qué es lo que está detrás de las elecciones evidentemente cuasi-estéticas que hacen algunos científicos, por ejemplo al rechazar como simple hipótesis *ad hoc* lo que a otros científicos les puede parecer doctrina necesaria?; ¿están las bases desde las que se hacen estas elecciones incluidas dentro del terreno del pensamiento científico o se extienden más allá de él?

Para tratar de tales cuestiones he propuesto un *noveno* componente para el análisis del trabajo científico, esto es, el análisis temático (un término conocido, usado en forma similar en antropología, crítica de arte, musicología y otros campos). En muchos (quizá en la mayoría) de los conceptos presentes y pasados y de los métodos y proposiciones o hipótesis de la ciencia hay elementos que funcionan como *themata*, constriñendo o motivando a los individuos y, algunas veces, guiando (normalizando) o polarizando a la comunidad científica. En las presentaciones públicas que hacen los científicos de su propio trabajo, y durante cualquier controversia científica subsiguiente, estos elementos no aparecen explícitamente a debate. Los conceptos temáticos no aparecen normalmente ni en el índice de los libros de texto, ni en la multitud de pasajes de los debates o revistas

⁴ Véase el capítulo 3 de Gerald Holton, «The Scientific Imagination. Case Studies», Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978.

profesionales. Las discusiones tradicionales de este tipo se centran principalmente en el contenido empírico y en el contenido analítico, es decir, los fenómenos repetibles y las proposiciones que conciernen a la lógica y a las matemáticas. Yo he sugerido, por medio de una analogía muy rudimentaria, que esos dos elementos sean considerados como las coordenadas x e y de un plano en el que parece desarrollarse primordialmente la discusión, puesto que el «significado» de los conceptos se prueba por resolución de los conceptos o proposiciones en esos elementos (entendiendo «significado» en el sentido de que generalmente existen reglas, sobre las que todo el mundo está de acuerdo, para la verificación o falsación de los enunciados hechos en ese lenguaje).

Así (tal como veremos en el capítulo 2), en el famoso experimento de la gota de aceite de Millikan, la cuestión de si las cargas eléctricas en pequeños objetos vienen siempre en múltiplos de alguna constante fundamental (llamada la carga del electrón) o no, podría en principio haber sido resuelta rápidamente llegando a un acuerdo sobre cómo y qué se estaba observando a través del telescopio o ultramicroscopio cuando se veía mover una partícula en el campo de visión, y también sobre la necesidad y el modo de corregir la ecuación correspondiente a la ley de Stokes para la caída de pequeños objetos, por extrapolación de un término de corrección. Si todo consistiese en eso, nunca habría tenido lugar el largo debate sobre la existencia de un «subelectrón» que se había postulado. Pero en 1910, y a continuación durante varios años, hubo muchas personas que se unieron a la controversia entre Millikan y su oponente (en la intersección, como si dijésemos, de dos conjuntos de líneas genealógicas). El análisis de las motivaciones expuestas y de las actitudes cada vez más duras de los protagonistas en ambos lados de la disputa nos muestra aquí, como en otros casos, el importante papel desempeñado por una fidelidad previa e inamovible de los oponentes hacia *themata* diferentes.

Los *themata* que aparecen en la ciencia pueden ser presentados, en nuestra analogía rudimentaria, como situados en una dimensión ortogonal al plano x - y en el cual se lleva a cabo la verificación y la falsación, y, por tanto, como algo similar a un eje z que se eleva a partir de este plano. Aunque el plano x - y es realmente suficiente para la mayoría de las discusiones dentro de la ciencia como actividad pública y consensual, el espacio tridimensional (xyz) es necesario para un análisis más completo —sea este histórico, filosófico o psicológico— de los enunciados, los procesos y las controversias científicas.

Quiero hacer notar que no estoy argumentando a favor de la introducción de discusiones temáticas dentro de la práctica de la

misma ciencia, o incluso a favor de desarrollar una conciencia especial sobre los *themata*. Verdaderamente, una de las grandes ventajas de la actividad científica es que, en el plano x - y , hay muchas preguntas que no es lícito plantear (concernientes, por ejemplo, a la «realidad» del conocimiento científico). Solamente cuando tales cuestiones se consideraron como fuera de lugar en un laboratorio empezó a crecer la ciencia con rapidez. Resulta fructífero hacer una distinción entre tres usos diferentes de los *themata*: el *concepto temático*, o el componente temático de un concepto (los ejemplos que he analizado son el uso del concepto de simetría y del continuo); el *tema metodológico* (tal como la preferencia por expresar las leyes de la ciencia, mientras sea posible, en términos de conservaciones, extremos o imposibilidades); y la *proposición temática o hipótesis temática* (ejemplificada por enunciados muy generales tales como las hipótesis de Newton concernientes a la inmovilidad del centro del mundo, o los dos principios de la teoría de la relatividad especial).

La actitud que he adoptado en la tarea de identificación y ordenación de los elementos temáticos encontrados en las discusiones científicas, es en cierto grado análoga a la actitud del folklorista o el antropólogo que escucha historias épicas buscando la estructura temática subyacente y los elementos recurrentes. Aunque la analogía deja mucho que desear, existe algo más que relaciones superficiales. Por ejemplo, el ser consciente de *themata* que se mantienen algunas veces con lealtad obstinada, le ayuda a uno a explicar el carácter de una discusión entre antagonistas mucho mejor que el conocer solamente el contenido científico y el entorno social. El apego que físicos como H. A. Lorentz, Henri Poincaré y Max Abraham tenían a la vieja concepción electromagnética del mundo, y su incomodidad con la teoría de la relatividad de Einstein, se hace mucho más comprensible cuando se piensa en el éter como la materialización de conceptos temáticos (por ejemplo, el concepto de absoluto y de la plenitud de la materia en el espacio). Así, en su nota necrológica por Abraham, Max von Laue y Max Born escribían con gran percepción:

[Abraham] encontraba profundamente desagradables las abstracciones de Einstein. Amaba su éter absoluto, sus ecuaciones de campo, su electrón rígido, igual que un joven se apasiona por su primer amor, cuyo recuerdo no puede ser borrado por ninguna experiencia posterior... Su oposición se basaba en creencias físicas, fundamentales, que mantuvo, perfectamente de acuerdo con sus sentimientos, durante tanto tiempo como fue posible... [Tal como dijo el mismo Abraham una vez] no poseía contraargumentos para enfrentarse a las conclu-

siones lógicas; las reconocía y admiraba como la única consecuencia posible del plan de la relatividad general. Pero este plan no le era simpático en absoluto, y esperaba que las observaciones astronómicas acabarían desaprobandolo, trayendo otra vez al viejo éter absoluto a un lugar de honor⁵.

Un hallazgo del análisis temático, que parece estar relacionado con la naturaleza dialéctica de la ciencia como actividad pública que busca el consenso, es el frecuente apareamiento de dos temas en forma antitética, como cuando un proponente del tema del atomismo se encuentra enfrentado al proponente del tema del continuo. No son difíciles de discernir parejas antitéticas (00) —tales como evolución y degeneración, constancia y simplicidad, reduccionismo y holismo, jerarquía y unidad, la eficacia de las matemáticas (por ejemplo, la geometría) en contraposición a la eficacia de los modelos mecanicistas como herramientas explicativas— particularmente en casos en donde existe controversia o un avance notable más allá del nivel del trabajo normal.

Me ha impresionado lo reducido del número de *themata* existentes, por lo menos en las ciencias físicas. Creo que el número total de dobles y, ocasionalmente, tripletes, resultará ser menor de 100. Es rara la aparición de un nuevo tema. La complementariedad en 1927 y la quiralidad en los años 50, son dos de las adiciones más recientes en la física. Está relacionado con esto la antigüedad y persistencia de los temas a través de la evolución y la «revolución» científica. Así, por ejemplo, la vieja antítesis del espacio lleno de materia y el vacío salió a la superficie en el debate sobre la «realidad molecular» de principios de este siglo, e incluso puede encontrarse en el trabajo de los físicos teóricos contemporáneos. Uno puede incluso predecir que, con independencia de lo radicales que sean las innovaciones en un futuro próximo, muy probablemente estarán todavía conformadas en gran medida en términos de temas usados actualmente.

La persistencia en el tiempo de este número relativamente pequeño de *themata* y su difusión en la comunidad en una época concreta, puede ser lo que dota a la ciencia de lo que tiene de identidad constante, a pesar de su cambio y crecimiento. El compartimiento interdisciplinario de *themata* entre varios campos en la ciencia nos revela algo, tanto sobre el significado de la empresa en su totalidad, como sobre las características comunes de los procesos de pensamiento que operan en todos los casos.

⁵ M. von Laue y M. Born, *Physikalische Zeitschrift*, 24 (1923), p. 52.

Una ilustración

Para ilustrar algunos de estos puntos y para mostrar que tanto los casos históricos como los actuales se pueden analizar de esta forma, quiero centrarme en un ejemplo de uno de los campos de la física más animados hoy día, según se refleja en las publicaciones de Steven Weinberg⁶. La línea que señala el desarrollo del pensamiento de Weinberg interseca la trayectoria de una corriente de progresos en electrodinámica cuántica que inició Enrico Fermi en 1934, y que se basa ahora en técnicas iniciadas independientemente a finales de los años 40 por R. P. Feynman, Julian Schwinger, Freeman J. Dyson y Sinitiro Tomonago. Otros puntos de la trayectoria incluyen descubrimientos hechos por grupos en el CERN, el Laboratorio Argonne y el National Accelerator Laboratory. En términos temáticos, el «acontecimiento» que estudiaremos es solamente el último en una serie muy vieja de intentos, que se remontan, por encima de muchas revoluciones y triunfos brillantes, hasta el primer científico de la historia conocida; porque la preocupación principal se centra en el constituyente fundamental del que se presume que está hecha toda la materia.

Expresado brevemente, Weinberg, sus colaboradores y otros grupos, han estado trabajando en el problema de encontrar una base común a los cuatro tipos de interacciones («fuerzas») que dan cuenta, según se cree actualmente, de todos los fenómenos físicos: la interacción gravitatoria que experimentan todas las partículas; la fuerza electromagnética que da cuenta de fenómenos que involucran a partículas cargadas y a la interacción de la luz con la materia; la fuerza nuclear «fuerte» que actúa entre miembros de la gran familia de partículas elementales llamadas hadrones⁷; y la «interacción débil» que se postula para describir interacciones de alcance extremadamente corto entre algunas partículas elementales (tal como la dispersión de un neutrino por un neutrón, y la descomposición radiactiva de un neutrón en un protón, un electrón y un antineutrino).

En 1967, Weinberg (e independientemente Abdus Salam de Trieste) propuso que la fuerza electromagnética y la interacción débil están conectadas esencialmente. Cada uno de los cuatro tipos

⁶ Por ejemplo, S. Weinberg, «Recent Progress in Unified Gauge Theory of the Weak, Electromagnetic and Strong Interactions», *Reviews of Modern Physics*, 46 (1974), p. 255.

⁷ La familia de los hadrones incluye a los mesones (p. ej., π^+ , π^- , π^0) y bariones (p. ej., el protón, neutrón, hasta los hiperones Omega). Y excluye a los fotones y a la familia de los leptones (neutrinos, electrones y muones), todos los cuales tienen menor masa que los hadrones.

de interacción ha sido considerado como el resultado de procesos análogos a la radiación o absorción entre dos objetos que interactúan entre sí, siendo la partícula radiada o absorbida característica de cada una de las interacciones. Así, los fenómenos electromagnéticos se deben al intercambio del fotón, carente de masa, mientras que la interacción gravitatoria se piensa que es debida al intercambio de partículas llamadas gravitones. La interacción débil se lleva a cabo por medio del llamado boson vectorial intermedio (BVI) que, en caso de que se compruebe su existencia real, tendrá que ser de una masa extraordinariamente grande⁸. La propuesta de Weinberg fue que el fotón, sin masa, y el BVI, con gran masa, son parientes próximos, es decir, que los BVIs son en general miembros de la familia de los fotones pero obtienen su masa (la característica que los hace aparecer diferentes) en virtud de la asociación con grupos de gauge con simetría rota.

Cuando Weinberg propuso la teoría, según indicaba él mismo más tarde⁹ «no existían pruebas experimentales a favor o en contra, y no había perspectivas inmediatas de obtenerlas». Hasta el día de hoy los BVIs no han podido ser producidos directamente (por ejemplo en aceleradores), pero se ha informado de pruebas indirectas de su existencia. En un artículo publicado con las firmas de cincuenta y cinco investigadores de siete instituciones en una colaboración paneuropea en el laboratorio del CERN¹⁰, se encontraron dos casos en los que un neutrino muónico era dispersado por un protón o un neutrón (la primera reacción también apareció perfectamente en experimentos más recientes en el Argonne National Laboratory y en el National Accelerator Laboratory). Esto es un indicio de que puede tener lugar una reacción con «corriente neutra», una nueva clase de interacción débil predicha por Weinberg en la que interviene el BVI neutro que se ha postulado¹¹, y esto, por

⁸ Un tipo de BVI es el bosón vectorial intermedio cargado, llamado partícula W, y otro lo constituyen los bosones vectoriales intermedios neutros, llamados partículas Z.

⁹ S. Weinberg, «Unified Theories of Elementary-Particle Interaction», *Scientific American*, 231, n. 1 (1974), p. 56.

¹⁰ F. J. Hasert, et al., *Physics Letters*, 46B, n. 121 (1973), p. 138.

¹¹ Es decir, el neutrino muónico que colisiona con un protón en la cámara de burbujas da lugar a un neutrino muónico resultante (que no se ve en la cámara) más un neutrón (que tampoco se ve), más una partícula π^+ (con una trayectoria que puede verse). Aquí no existe transferencia neta de cargas como la que tiene lugar en los procesos de corriente cargada, por ejemplo, cuando un neutrino colisiona con un protón y da lugar a un μ^- , un protón y un π^+ , proceso en el que se intercambia la unidad de carga eléctrica. Las fotografías indican, más bien, una nueva clase de interacción débil como en la que podía intervenir un BVI neutro.

tanto, apoya indirectamente la teoría que clasifica a estas partículas como miembros de la misma familia que los fotones.

Además, el cálculo de las interacciones fuertes ha podido ser tratado con los mismos métodos que se usan para las interacciones débil y electromagnética. Es posible, por tanto, que las interacciones fuertes sean debidas a un intercambio de partículas pertenecientes a la misma familia que el fotón y el BVI. «Si estas especulaciones son respaldadas por trabajos teóricos y experimentales posteriores», dice Weinberg en la última frase de su reciente revisión «habremos dado un paso importante hacia una visión unificada de la naturaleza» (p. 59; véase la nota 9).

Volvamos ahora al comienzo de este informe, que se titula «Teorías unificadas de la interacción entre partículas elementales», y mirémoslo con ojos atentos a los *themata*. ¿Cuáles son, entonces, las concepciones temáticas, los *themata* metodológicos y las suposiciones temáticas inherentes a esta búsqueda de los BVIs y de su pertenencia a la familia del fotón?

Al examinar la primera página del artículo (véase fig. 1.1.), podemos confeccionar una lista que incluya algunos de los temas más evidentes¹². Empieza así:

Una de las esperanzas persistentes del hombre ha sido la de encontrar unas cuantas leyes simples y generales que pudiesen explicar por qué la naturaleza, con toda su aparente complejidad y variedad, es como es. La descripción en términos de partículas elementales y sus interacciones mutuas es, por el momento, lo que más se acerca a una visión unificada de la naturaleza. Toda la materia está compuesta simplemente de aquellas partículas elementales que poseen masa y estabilidad (relativa): el electrón, el protón y el neutrón. A éstas deben añadirse las partículas de masa cero: el fotón o cuanto de radiación electromagnética, el neutrino, que juega un papel esencial en ciertas clases de radiactividad, y el gravitón, o cuanto de radiación gravitatoria...

Lo que nos llama la atención de inmediato es el reconocimiento de que «una de las esperanzas persistentes del hombre ha sido encontrar unas cuantas leyes simples» y por tanto conseguir una teoría que sea «unificada» (la segunda palabra del título). La unificación o síntesis, que a través de un aumento en la economía de pensamiento nos hace esperar un aumento en la comprensión, es miembro de un

¹² No todos los *themata* se expresan en este número de palabras; necesitaríamos, por tanto, efectuar un segundo examen del artículo considerando bloques más extensos. El hecho de que este artículo de Weinberg apareciese en una revista más popular que las publicaciones profesionales, contribuye a nuestro propósito; cuando se dirigen a un auditorio general, los científicos se sienten un poco más inclinados a revelar sus presuposiciones temáticas, que de otra forma permanecerían normalmente sin ser verbalizadas.

Unified Theories of Elementary-Particle Interaction

Physicists now invoke four distinct kinds of interaction, or force, to describe physical phenomena. According to a new theory, two, and perhaps three, of the forces are seen to have an underlying identity

by Steven Weinberg

One of man's enduring hopes has been to find a few simple general laws that would explain why nature, with all its seeming complexity and variety, is the way it is. At the present moment the closest we can come to a unified view of nature is a description in terms of elementary particles and their mutual interactions. All ordinary matter is composed of just those elementary particles that happen to possess both mass and (relative) stability: the electron, the proton and the neutron. To these must be added the particles of zero mass: the photon, or quantum of electromagnetic radiation, the neutrino, which plays an essential role in certain kinds of radioactivity, and the graviton, or quantum of gravitational radiation. (The graviton interacts too weakly with matter for it to have been observed yet, but there is no serious reason to doubt its existence.) A few additional short-lived particles can be found in cosmic rays, and with particle accelerators we can create a vast number of even shorter-lived species [see top illustration on page 52].

Although the various particles differ widely in mass, charge, lifetime and in other ways, they all share two attributes that qualify them as being "elementary." First, as far as we know, any two particles of the same species are, except for their position and state of motion, absolutely identical, whether they occupy the same atom or lie at opposite ends of the universe. Second, there is not now any successful theory that explains the elementary particles in terms of more elementary constituents, in the sense that the atomic nucleus is understood to be composed of protons and neutrons and the atom is understood to be composed of a nucleus and electrons. It is true that

the elementary particles behave in some respects as if they were composed of still more elementary constituents, named quarks, but in spite of strenuous efforts it has been impossible to break particles into quarks.

For all the bewildering variety of the elementary particles their interactions with one another appear to be confined to four broad categories [see bottom illustration on page 52]. The most familiar are gravitation and electromagnetism, which, because of their long range, are experienced in the everyday world. Gravity holds our feet on the ground and the planets in their orbits. Electromagnetic interactions of electrons and atomic nuclei are responsible for all the familiar chemical and physical properties of ordinary solids, liquids and gases. Next, both in range and familiarity, are the "strong" interactions, which hold protons and neutrons together in the atomic nucleus. The strong forces are limited in range to about 10^{13} centimeter and so are quite insignificant in ordinary life, or even on the scale (10^{-8} centimeter) of the atom. Least familiar are the "weak" interactions. They are of such short range (less than 10^{15} centimeter) and are so weak that they do not seem to play a role in holding anything together. Rather, they are manifested only in certain kinds of collisions or decay processes that, for whatever reason, cannot be mediated by the strong, electromagnetic or gravitational interactions. The weak interactions are not, however, irrelevant to human affairs. They provide the first step in the chain of thermonuclear reactions in the sun, a step in which two protons fuse to form a deuterium nucleus, a positron and a neutrino.

From this brief outline one can see

that a certain measure of unification has been achieved in making sense of the world. We are still faced, however, with the enormous problem of accounting for the baffling variety of elementary-particle types and interactions. Our prospects for further progress would be truly discouraging were it not for the guidance we receive from two great products of 20th-century physics: the development of quantum field theory and the recognition of the fundamental role of symmetry principles.

The Necessity of Fields

Quantum field theory was born in the late 1920's through the union of special relativity and quantum mechanics. It is easy to see how relativity leads naturally to the field concept. If I suddenly give one particle a push, this cannot produce any instantaneous change in the forces (gravitational, electromagnetic, strong or weak) acting on a neighboring particle because according to relativity no signal can travel faster than the finite speed of light. In order to maintain the conservation of energy and momentum at every instant, we say that the pushed particle produces a field, which carries energy and momentum through surrounding space and eventually hands some of it over to the neighboring particle. When quantum mechanics is applied to the field, we find that the energy and momentum must come in discrete chunks, or quanta, which we identify with the elementary particles. Thus relativity and quantum mechanics lead us naturally to a mathematical formalism, quantum field theory, in which elementary-particle interactions are explained by the exchange of elementary particles themselves.

FIG. 1.1.—Primera página del artículo de Steven Weinberg, *Scientific American*, 231, núm. 1 (julio de 1974). Reproducido con autorización. Copyright © 1974 por *Scientific American, Inc.* Todos los derechos reservados.

conjunto conectado de *themata*, siendo uno de sus aspectos opuestos la multiplicidad (o complejidad, o variedad), aunque el *thema* antitético principal es el que discutimos anteriormente: la resolución o el análisis en lugar de la síntesis. Cada uno de estos elementos tiene sus usos. Aquí, claramente se toma como preeminente la unificación. «...Por qué la naturaleza, con toda su aparente complejidad y variedad, es como es». Kepler, que preguntaba en el prefacio del *Mysterium Cosmographicum* por qué los planetas están a las distancias que están, por qué tienen el número y los movimientos que encontramos que tienen «y no otros», habría estado de acuerdo con esta descripción de una de las esperanzas persistentes del hombre. Y de la misma forma la mayoría de los científicos desde entonces. La segunda de las frases descubre, sin embargo, una preconcepción que no compartirán todos los científicos. Encontramos aquí una nueva fidelidad temática; la de construir la deseada visión unificada de la naturaleza a partir de «partículas elementales y sus interacciones mutuas». Se puede oír el eco de la frase de Demócrito «todo está constituido por átomos y vacío». Pero, tal como veremos inmediatamente, no todos los físicos de nuestro tiempo han suscrito tal creencia. Ni, por supuesto, estarían los biólogos, psicólogos o las personas dedicadas a las ciencias sociales satisfechos con esta particular visión unificada de la *naturaleza* en términos de partículas y sus interacciones. Aquí se ha hecho una elección, aunque es una elección que verdaderamente promete una unificación impresionante de esta parte de la naturaleza.

¿Qué quiere decir «elemental» en el párrafo introductorio del artículo de Weinberg? Unas cuantas frases más adelante se define, dándole el significado de que no existe actualmente «ninguna teoría satisfactoria que explique las partículas elementales en términos de constituyentes más elementales» (columna 1, parte inferior). Seguramente algún día se podrán encontrar «constituyentes todavía más elementales, llamados quarks» (col. 2, parte superior); pero hasta que eso llegue, y mientras siga siendo «imposible romper las partículas», aunque se realicen «esfuerzos tenaces», éstas son elementales.

Esta cualidad de ser elemental permite establecer una línea de explicación desde las supuestas partículas elementales hasta las entidades antitéticas, construidas a partir de otros elementos (como los núcleos [col. 1, parte inferior], los átomos o la materia ordinaria, todos los cuales están «compuestos» de materia elemental). Es evidente la antigüedad de esa búsqueda, desde Tales a Prout, J. J. Thomson, y hasta nuestros días. Estas partículas elementales son, por tanto, los verdaderos «átomos» de hoy día, en el sentido de la palabra griega *átomos*. Constituyen uno de los elementos de otro

tripleto de *themata* que tiene por segundo componente las *construcciones* hechas y explicadas a partir de estos átomos o cuantos elementales, y por tercer componente la noción de lo *continuo*, es decir, lo infinitamente divisible¹³.

Por tanto, la lista de partículas elementales consiste en el electrón, el protón y el neutrón. «A éstas se deben añadir las partículas de masa nula: el fotón... el neutrino... y el gravitón» (col. 1, en el último tercio). Nos encontramos aquí claramente en el mundo de lo discreto, hecho de partículas; aunque no se duda de las características ondulatorias inherentes en tales partículas, simplemente no constituyen parte de la imagen que ha capturado la atención y que tiene primacía¹⁴.

Según dice Weinberg, el número y variedad de partículas fundamentales es «enloquecedor». Pero hay formas de mantener la serenidad y mejorar conocimientos dominando esta sorprendente variedad. El ordenamiento del caos por medio del concepto de jerarquía o niveles de categorías —unas cuantas que puedan ser manejables, por ejemplo cuatro— aparece como el *thema* metodológico que nos da la solución. La división en cuatro categorías —gravitación, interacción electromagnética, interacciones fuertes e interacciones débiles— no es simplemente una separación en casilleros separados para objetos muy diferentes. Existe una jerarquía real que ordena las subdivisiones, poniendo de relieve una gama de interacciones que va desde infinito hasta mucho menos de 10^{-14} centímetros.

¹³ El átomo como *thema* no tiene que referirse necesariamente a un objeto físico natural tal como los entes elementales discretos, la partícula gamma, el neutrón y el protón. Puede ser un elemento a partir del cual se construyan entes mucho más formalistas. Por ejemplo, Weinberg indica a continuación (Weinberg, *op. cit.* [n. 9], p. 58) que las interacciones débiles, si tienen realmente una intensidad intrínseca comparable a la de las interacciones electromagnéticas, «pueden proporcionar correcciones adicionales a la simetría de espín isotópico». Los entes teóricos, al igual que los núcleos o átomos, algo que parece más palpable actualmente, o incluso los cristales, pueden ser concebidos como una suma o conglomerado compuesto por varios términos, por ejemplo, un término nuclear junto con un cierto número de términos de corrección.

¹⁴ En cuanto al gravitón, Weinberg hace un inciso para advertir que «interacciona con la materia de manera demasiado débil como para haber podido ser ya observado, pero no hay razones de peso para dudar de su existencia». Constituye una espléndida y atrevida forma de rechazo del tedioso Simplicio de los Diálogos de Galileo, quien, desde 1632, ha estado clamando al tratar ese punto: «¿Cómo? ¿Así que no has hecho cien pruebas, o ni siquiera una? ¿E incluso así manifiestas con toda libertad que eso es cierto? (Galileo Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* [Berkeley: Univ. of California Press, 1953], p. 145).

A partir de este breve esbozo ya puede uno ver que, tal como indica Weinberg, «al tratar de dar sentido al universo se ha conseguido un cierto grado de unificación» (col. 3, parte superior). Una de las funciones principales de un tema es, verdaderamente, ayudar a dar sentido al universo de una forma que no sería posible si atendiésemos solamente a las exigencias del logicismo. «Sin embargo, todavía nos enfrentamos con el enorme problema de dar cuenta del abrumador número de tipos de partículas elementales e interacciones» (col. 3, parte superior). Metodológicamente, la teoría nos trae al recuerdo algo más que un simple reflejo de un esquema de cuatro categorías, más antiguo, de éxito tan rotundo que ayudó a racionalizar los fenómenos observables durante unos 2.000 años: los cuatro Elementos, con su propia jerarquía interna, desde el más ligero al más pesado, y con sus propias reglas de interacción. Sin embargo, la nueva unificación a través del ordenamiento jerárquico permite esperar, entre sus muchas ventajas, que dos, y quizá tres, de las fuerzas comprendidas en las cuatro categorías «tengan una identidad subyacente».

Esta identidad se descubre a través de analogías en el comportamiento que permiten reducir las entidades que aparecen diferentes a primera vista a un estado en el que comparten algo más que la pertenencia a un ordenamiento jerárquico. Esta búsqueda de algo más se satisface recurriendo a la concepción de familia (por ejemplo: «Nuestra esperanza de percibir una identidad subyacente en las interacciones electromagnética y débil nos lleva naturalmente a suponer que puede existir una mayor simetría de gauge que obliga a pertenecer a la misma familia al fotón y al bosón vectorial intermedio» [p. 55; véase la nota 9]). La herramienta explicativa principal en el camino hacia una mayor simplicidad es esta conexión «familiar» que existe a pesar de una «apariencia» de diferencias mayores, como puede ser, por ejemplo, la diferencia entre la masa nula del fotón y la masa, necesariamente muy grande, del bosón vectorial intermedio. Una de las concepciones que aparece una y otra vez en el artículo de Weinberg, y de otros muchos en este campo, es precisamente esta espléndida idea de grupos, familias y superfamilias («superfamilias de ocho, diez, o incluso más miembros») ¹⁵. Las relaciones

¹⁵ «Se cree que las familias de partículas elementales son consecuencia de un principio de simetría conocido como simetría de espín isotópico, análoga a la simetría de rotación que producía la familia de estados cuánticos en el átomo de hidrógeno. La agrupación de estas familias de partículas elementales en superfamilias (octetes, decenas, etc.) fue propuesta independientemente por Murray Gell-Mann y Yuval Ne'eman a principios de los años 60» (Weinberg, *op. cit.* [n. 9], p. 55).

familiares entre las partículas elementales son mucho más profundas que en las familias *ad hoc* que se descubrieron en la tabla periódica química, en el siglo pasado, o en el trabajo de Linneo, por poner otro ejemplo. Pero el uso metodológico, como herramienta explicativa, no es cualitativamente diferente.

Permítanme que aproveche la ocasión de que haya aparecido esta magnífica palabra antropomórfica para volver a la página inicial en el artículo de Weinberg, donde se hace referencia a «unas cuantas partículas adicionales, de vida corta», y donde se nos dice que «podemos crear un vasto número de especies de vida aún más corta». A la física de partículas elementales se la llama algunas veces irónicamente zoología. Verdaderamente está plagada de *themata* que podían muy bien haber tenido origen en una parte de las formas de pensamiento desarrolladas antes de que el investigador tomase la decisión consciente de convertirse en científico. El informe técnico del análisis de una fotografía de una cámara de burbujas, por ejemplo, está estructurado en gran medida como la narración de un ciclo vital. Es una historia de evolución y degeneración, de nacimientos, aventuras y muerte. Las partículas entran en escena, encuentran a otras, y producen una primera generación de partículas que subsiguientemente degeneran, dando lugar a una segunda y quizá a una tercera generación. Están caracterizadas por vidas relativamente cortas o relativamente largas, y por la pertenencia a distintas familias o especies ¹⁶.

Oyendo estas leyendas populares que cuentan los físicos, uno se da cuenta de que es posible que la terminología no se usara «seriamente» en principio. Sin embargo, el tema del ciclo vital funciona, de la misma forma que un cierto número de temas importados a las ciencias desde el mundo de los asuntos humanos. Siempre me ha parecido curioso el esfuerzo que hacían los psicólogos de principios de siglo para tratar de ganar respetabilidad describiendo las relaciones humanas mediante conceptos que habían tomado prestados de la física. Evidentemente no eran conscientes de que estaban reimportando herramientas conceptuales cuando ellos mismos ya estaban más cerca de la solución verdadera. Uno recuerda la anécdota del banco que se estaba construyendo en Atenas, bajo la Acrópolis, y que parecía una copia especialmente mala de un templo griego. Resultó que el arquitecto no había tomado como modelo cualquiera de los grandes templos que tenía allí mismo a mano, sino que había

¹⁶ Una discusión más detallada del papel de la proyección antropomórfica en el cosmos y de la proyección inversa del cosmos sobre las acciones del hombre, se encuentra en Holton, *op. cit.* (n. 2), pp. 100-109.

recurrido a una fuente mucho más de moda. Su diseño estaba basado en el de un banco berlinés que a su vez procedía de una copia lejana, de tercera categoría, de un templo griego idealizado.

Todavía no hemos terminado con la primera página de Weinberg. Empiezan a aparecer también otros temas espléndidos: *isotropía* y *homogeneidad* (por ejemplo, las partículas de la misma especie son, hasta donde sabemos ahora mismo, «absolutamente idénticas, tanto si ocupan el mismo átomo como si se encuentran en extremos opuestos del universo» [col. 1, tercio inferior]); *simetría* (col. 3); y *conservación* («de la energía y el momento en cada instante» [col. 3]).

En páginas posteriores encontramos, entre otros, los siguientes temas adicionales: la eficacia de la representación geométrica (tal como los diagramas de Feynman), la eficacia de los números enteros como herramientas explicativas (la deuda de la moderna mecánica cuántica con el precepto más sagrado de Pitágoras), de nuevo la conservación (de la carga), la finitud (de la masa) y la infinitud, más cosas sobre principios de simetría¹⁷ y, sobre todo, modelos (p. 57; véase la nota 9). La palabra «modelo» es probablemente una de las que se usan con más frecuencia en los escritos de los físicos teóricos.

De esta forma llegamos a la última frase del artículo. Ha sido citada previamente, pero ahora podemos verla en una nueva perspectiva: «Si estas especulaciones son respaldadas por trabajos teóricos y experimentales posteriores [lo que quiere decir, por contenido analítico o formalista y por contenido empírico, o por representaciones en los ejes y y x] habremos dado un paso importante hacia una visión unificada de la naturaleza», es decir, hacia la satisfacción de una de las esperanzas persistentes del hombre, esperanzas que encuentran su expresión en estos *themata*, algunos de ellos nuevos y otros muchos antiguos. En este caso la esperanza se basa en la fidelidad temática, análoga a la de Demócrito, a un punto de vista corpuscular o atomístico para explicar los fenómenos físicos, y no en su opuesto, que es el tema de la primacía del continuo, como en el trabajo del teórico que explicase la materia como singularidades o vórtices en un fluido o en un campo, y que no pudiese creer que la discontinuidad cuántica fuese realmente básica. La mayoría de los físicos modernos siguen temáticamente a Demócrito, pero Einstein, Erwin Schrödinger y otros, para quienes la herramienta fundamental de explicación es el continuo, disientan profundamente; uno de ellos aseguraba que si lo discreto tuviese que ser adoptado

¹⁷ Los principios de simetría nos dan «información sobre las leyes de la naturaleza al nivel de mayor profundidad posible»; simetrías que se «rompen», y simetrías quirales (Weinberg, *op. cit.* [n. 9], pp. 55-56).

como básico en los procesos atómicos, preferiría abandonar la profesión de físico.

Entre tales opuestos temáticos no hay forma simple de llegar a un consenso. Werner Heisenberg fue uno de los que trataron de convencer a Einstein¹⁸. Contaba: «Pasé una tarde muy agradable con Einstein, pero cuando llegamos a la interpretación de la mecánica cuántica yo no pude convencerle a él y él no me pudo convencer a mí. Siempre decía, 'Bueno, estoy de acuerdo en que cualquier experimento cuyos resultados puedan ser calculados por medio de la mecánica cuántica resultará tal como dices, pero aun así este esquema no puede constituir una descripción definitiva de la naturaleza'». Heisenberg comprendió la imposibilidad de resolver preconcepciones tan básicas recurriendo a la clase de argumentos que funcionan tan bien para llegar a un consenso científico en otras cuestiones. Añadía, «dudo que la repugnancia de Einstein, Planck, von Laue y Schrödinger para aceptarlas [las descripciones cuánticas como básicas] deba ser considerada simplemente como prejuicios. La palabra 'prejuicio' es demasiado negativa en este contexto y no explica la situación».

Como para demostrar la verdad de su propia observación, Heisenberg revelaba a continuación que, en contra de la mayoría de los científicos contemporáneos, no podía seguir estando de acuerdo con la pujanza de la teoría actual que hace de la noción de «partícula elemental» un punto básico de referencia para establecer explicaciones. Puesto que las partículas elementales pueden ser generadas por colisión de otras partículas, le parecía que *ellas mismas* son realmente las complicaciones que requieren explicación; «o formulándolo en forma paradójica: cada partícula consiste en todas las otras partículas». La búsqueda de «partículas realmente elementales» sobre las que basar una teoría de la materia «se remonta a esta filosofía de Demócrito», pero es un «error» (o, puesto en nuestros términos, por lo menos una fidelidad a un *thema* que él aborrecía).

Su preocupación iba por otros derroteros: «¿Qué es, entonces, lo que tiene que reemplazar el concepto de partícula fundamental? Creo que tenemos que reemplazar este concepto por el de una simetría fundamental... Y cuando hayamos hecho realmente este cambio decisivo... entonces no creo que necesitemos de ningún otro avance espectacular para entender la partícula elemental, o más bien, no elemental». En otro lugar, Heisenberg explica que «para el físico

¹⁸ W. Heisenberg, «Development of Concepts in the History of Quantum Theory», Conferencias en la Universidad de Harvard, mayo de 1973, publicada en *American Journal of Physics*, 43, n. 5 (1975), p. 392.

atómico, la 'cosa en sí', en caso de que llegue a usar ese concepto, es en definitiva una estructura matemática». Esta es una elección temática que alinea a Heisenberg con la gran tradición platónica: no se puede construir materia con materia, sino que se debe buscar la base en principios formales, matemáticos; porque «nuestras partículas elementales son comparables a los cuerpos regulares del *Timeo* de Platón. Son los modelos originales, la idea de materia»¹⁹.

Debe reconocerse que cualquiera que haya estudiado la ascensión y el declive en la aceptación de un *thema*, se preguntará si no es prematuro creer que la antigua oposición entre los enfoques de Platón y de Demócrito ha sido resuelta en nuestros días, de una vez por todas, a favor de uno u otro enfoque. No estamos tratando aquí con «puzzles» que se pueden resolver, sino con la materia prima del pensamiento científico (y no solamente científico).

Un segundo ejemplo

Habiendo examinado la rica textura de *themata* en una publicación particularmente imaginativa de un notorio científico contemporáneo, podemos considerar ahora la misma cuestión de otra manera, es decir, podemos seguir una pareja *thema-antithema* concreta, a través de la historia de la ciencia moderna.

Por poner un ejemplo: de acuerdo con la tradición en física que fue instaurada en tiempo de Newton, cualquier apariencia de caos o incertidumbre debe apoyarse y ser explicada por un estrato subyacente de orden y certeza, aunque sólo sea de la misma forma que el aparente movimiento errático de los planetas, observado en la ciencia griega, había sido entendido como el resultado complejo de la superposición de muchos movimientos simples y ordenados. Este prototipo de explicación (las sucesiones causales clásicas dan cuenta del accidente o el desorden observado) constituye una fidelidad temática. No es una necesidad experimental o lógica. Realmente, pareció peligrar a mediados del siglo diecinueve, cuando se introdujo una imagen de tipo opuesto que tenía su origen en la teoría cinética. Ahora resultaba que una buena forma de entender casos de orden simple era pensar que fuesen resultado de un caos

¹⁹ W. Heisenberg, *Physics and Beyond* (Nueva York Harper & Row, 1971), página 241; véase también el capítulo final «Elementary Particles and Platonic Philosophy». Heisenberg refinó estas ideas en su ensayo «Tradition in Science» y en su discusión en *The Nature of Scientific Discovery* (Washington, D. C.: Smithsonian Institution Press, 1975), pp. 219-36, 556-73, y en «The Nature of Elementary Particles», *Physics Today*, 29 (marzo 1976), pp. 32-39.

subyacente. Así, un globo lleno de gas a presión y que se observa que está en reposo sobre una mesa, se explica diciendo que un número inmenso de partículas de gas, todas ellas con velocidades y direcciones diferentes, está chocando con la superficie interior del globo. La lluvia de colisiones se anula en todas direcciones y como resultado el objeto permanece en reposo. De esta forma, el orden simple a nivel visible es explicado en términos de caos a nivel invisible.

Sin embargo, no fue simplemente un accidente el hecho de que correspondiese a Einstein, en su artículo de 1905 sobre el movimiento browniano, invertir una vez más la secuencia de explicaciones. Einstein (que no creía que Dios jugase a los dados) restableció las prioridades ontológicas que se remontaban a Newton (quien había escrito que Dios era un «Dios de Orden»). El éxito de Einstein consistió en la explicación del movimiento errático, de agitación constante, de partículas de polvo diminutas, pero visibles, que eran observadas a través de un microscopio. Los movimientos aparentemente accidentales de ese mundo microscópico visible, eran completamente explicables, según encontró Einstein, si se proponía que las leyes newtonianas simples que rigen el movimiento de dos bolas de billar que colisionan, también explican la acción de las moléculas invisibles, submicroscópicas, que bombardean la partícula de polvo. Después de todo, se podía considerar que en el fondo de las cosas subsistía un orden newtoniano.

Sin embargo, con el desarrollo de la física cuántica pareció cada vez más claro que la apariencia de orden newtoniano en las partículas que colisionan se explicaba mejor considerando que este orden (en la escala de magnitud que había sido satisfactoria para lo que se requería hasta entonces) era simplemente el resultado aparente de un gran número de acontecimientos a nivel atómico, cada uno de los cuales está individualmente sujeto a las leyes del azar, de la misma forma que el reposo de un globo hinchado sobre la mesa podía considerarse como resultado de accidentes y agitaciones interiores que se anulan entre sí. Lo que estaba diciendo Heisenberg con su Principio de Incertidumbre era que el tema explicativo fundamental no es, después de todo, la sucesión simple, causal, punto a punto, típica del avance de un satélite que gira alrededor de un planeta, por poner un ejemplo, sino la sucesión probabilística de un generador de números aleatorios o de un juego de azar. La escasa ontológica se invertía una vez más.

Y de nuevo se volvía a intentar, y todavía se intenta, invertirla otra vez. El mismo Einstein, junto con un pequeño pero intrépido grupo de seguidores, nunca aceptó como verificada la primacía del *thema* del probabilismo fundamental en la naturaleza física. Esperaban

mostrar que, por debajo de la capa en la que funciona el Principio de Incertidumbre, existe todavía otro nivel de la naturaleza, no alcanzado hasta ahora, donde actúan, según principios clásicos, mecanismos ocultos que dan la apariencia aleatoria a los procesos atómicos. Es decir, caos como resultado de orden, y no viceversa.

Advertencias

No quiero presentarme aquí como San Juan Bautista, el profeta; y verdaderamente no me gustaría correr su suerte. Por tanto, permítanme que termine con una lista de limitaciones que observo en el análisis temático del trabajo científico.

1. Aunque los *themata* pueden ejercer un control férreo sobre el científico o sobre la comunidad y pueden constituir el aspecto más interesante de una cuestión dada, existen partes importantes de la historia de la ciencia y de los trabajos actuales donde los *themata* no parecen jugar un papel apreciable. Al estudiar el trabajo de Enrico Fermi y su grupo (véase cap. 5 de *The Scientific Imagination*, G. Holton. Cambridge Univ. Press, 1978), no encontré una gran ayuda en considerarlo desde el punto de vista temático.

2. Incluso si esto no fuese verdad, no me gustaría que se pensase que los *themata* son la realidad primordial en un trabajo científico. De otra forma, el trabajo en historia de la ciencia degeneraría en descriptivismo, y los hallazgos científicos parecerían estar a la par con las leyendas de los ancianos en los montes de Albania, para quienes los cuentos de hoy son, más o menos, igual de buenos que los de ayer. Hay en la ciencia, evidentemente, una sucesión de refinamientos, una ascensión y un declive, y ocasionalmente el abandono o la introducción de *themata*. Pero indudablemente, también ha habido, en conjunto, un cambio progresivo hacia una comprensión más completa y más general de los fenómenos naturales.

3. El estudio del papel desempeñado por los *themata* en el trabajo de los científicos puede ser igualmente interesante tanto si el trabajo condujo al «éxito» como al «fracaso»; la fidelidad a un conjunto de *themata* no hace que un científico acierte o esté equivocado. En cualquier caso, los intentos para «purgarse» de *themata* con objeto de mejorar la ciencia propia, son probablemente fútiles. Sin embargo, un examen consciente de los posibles méritos de *themata* opuestos a los que uno mantiene, podría muy bien tener algún efecto saludable.

4. Necesitamos saber más sobre los orígenes de los *themata*. Para mí es bastante claro que un enfoque que haga hincapié en las con-

xiones entre la psicología cognitiva y el trabajo científico individual, es un punto adecuado de partida.

Ya he expresado mi creencia de que mucho, quizá la mayoría, del pensamiento temático de un científico es moldeado en el período anterior a que llegue a ser un profesional. Algunos de los *themata* mantenidos con más bravura, se manifiestan con evidencia incluso en la niñez²⁰. Esta es indudablemente un área merecedora de más investigación.

5. Por lo general, la fidelidad temática de un científico, una vez creada, perdura notablemente. Pero puede cambiar. Como ejemplo puede citarse a Wilhelm Ostwald (que al principio combatió el atomismo y más tarde cambió de posición), a Planck, a Einstein y algunos más. Además, el adherirse a un *thema*, tal como el atomismo, en un campo de la física, no ha sido obstáculo en algunas ocasiones para que la misma persona se adhiriese al *thema* opuesto en otro campo diferente de la física. Un caso que se puede citar en relación con esto es la campaña de Millikan en favor del «átomo» en electricidad, aun cuando estuviese al mismo tiempo luchando denodadamente en contra del cuanto de luz. Poincaré era conservador y fiel al éter cuando se trataba de la teoría de la relatividad, sin embargo mantenía una posición completamente diferente en lo concerniente a la teoría cuántica.

6. Aunque el científico individual es el depositario fundamental de los *themata*, éstos también son compartidos, con pequeñas variaciones, por los miembros de una comunidad. La historia de algunos *themata* se puede entender adecuadamente en términos de un ciclo vital; es decir, su aceptación general puede aumentar o decaer y desaparecer gradualmente. Recursos explicativos como la correspondencia entre el macrocosmos y el microcosmos, los principios inherentes, las tendencias teleológicas, la acción a distancia, la plenitud del espacio, las interpretaciones organicistas, los mecanismos ocultos, y la simultaneidad, el espacio o el tiempo absolutos, imperaron alguna vez en la física. Sería muy necesario un estudio detallado del mecanismo por el que aumenta o disminuye esta aceptación.

7. Siempre existe el peligro de confundir el análisis temático con alguna otra cosa: con los arquetipos de Jung, con la metafísica, con los paradigmas o con las concepciones del mundo. (Los dos últi-

²⁰ He seguido la pista a las primeras lealtades temáticas de Einstein, según aparecen en los informes correspondientes a sus primeras memorias; véase el capítulo 6 de este libro. En el capítulo 7 de Gerald Holton, *The Scientific Imagination. Case Studies* (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1978), se incluye un estudio de las elecciones temáticas que llevan implícitas las primeras decisiones que toma un científico en su vida profesional.

mos podrían muy bien contener elementos temáticos, pero las diferencias son abrumadoras. Por ejemplo, los enfrentamientos temáticos persisten durante la «ciencia normal» y los *themata* persisten durante los períodos revolucionarios. Las decisiones temáticas, en mucho mayor grado que los paradigmas o las concepciones del mundo, no parecen provenir solamente del entorno social del científico o «comunidad» sino que provienen en mucha mayor medida del individuo.) Aunque el análisis temático puede estar limitado por la necesidad de tener alguna experiencia de primera mano con el material científico, me parecen mucho más evidentes las ventajas de llevar a cabo un trabajo más específico, sobre casos reales, que las que se pueden obtener de las modas actuales, como la de comparar las escuelas historiográficas, o la de inventar especulativas «reconstrucciones racionales».

8. Finalmente, es necesario estar alerta. La búsqueda de respuestas en la historia de la ciencia está teñida de *themata* de la misma forma que la búsqueda de una teoría unificada de las partículas elementales. Por tanto, tenemos que estar preparados para recibir las críticas de aquellos que sobrellevan no nuestros *themata*, sino sus *antithemata*; y tenemos que estar preparados para crecer contra las limitaciones que nos encontramos, tal como hizo Einstein de manera sincera, cuando dijo: «El adherirme a lo continuo surge en mí no por prejuicio, sino que resulta del hecho de que no he sido capaz de pensar en nada material que pudiese reemplazarlo»²¹. Su propio trabajo testimonia, por supuesto, el hecho de que uno puede transformar en fortaleza estos límites, inherentes al pensamiento científico, en lugar de lamentarse de ellos o despreciarlos.

²¹ A. Einstein, en P. Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist* (Nueva York: Harper & Row, 1959), 2, p. 686.

2. SUBELECTRONES, PRESUPOSICIONES Y LA POLEMICA MILLIKAN-EHRENHAFT¹*

Introducción

Peter Medawar es uno de los pocos investigadores de primera fila que todavía se preocupan del problema del conocimiento: las fuentes, garantías y grado de certeza de los hallazgos científicos, las interconexiones entre hecho y creencia y entre percepción y comprensión. En *The Art of the Soluble* pregunta: «¿Qué clase de persona es el científico y qué clase de acto de razonamiento le lleva al

¹ Es una satisfacción agradecer la ayuda recibida de las siguientes personas para la búsqueda de documentos: Judith R. Goodstein y Daniel J. Kevles, del California Institute of Technology; Charles Weiner, del M. I. T., y Joan Warnow, del Center for History of Physics, del American Institute of Physics en Nueva York; Erwin Hiebert, de la Universidad de Harvard; Michael J. Higgsberger, de la Universidad de Viena, y los Archivos Ernst Mach, en Friburgo. Agradezco a John Ehrenhaft por poner a mi disposición documentos de Felix Ehrenhaft. Agradezco a P. A. M. Dirac el permiso para publicar citas de sus cartas. El material de la Colección de Millikan se publica por cortesía de los Archivos del California Institute of Technology.

He tratado este tema en mi seminario de Historia de la Ciencia, y agradezco a mis alumnos, incluyendo a Bruce Collier y Patri J. Pugliese, los útiles comentarios que efectuaron y la ayuda prestada en las búsquedas bibliográficas. Quiero hacer constar mi gratitud por la ayuda a la investigación que, durante las primeras etapas de este trabajo, recibí del Programa de Historia y Filosofía de la Ciencia de la National Science Foundation.

Unas primeras versiones del capítulo 2 se presentaron en la reunión de la History of Science Society, en Washington, D. C., en la International School of Physics, Varenna, y en coloquios departamentales en las universidades Johns Hopkins y Stanford.

* «Subelectrons, presuppositions, and the Millikan-Ehrenhaft dispute», de la obra *The Scientific Imagination*, publicada por Cambridge University Press.