

## IX. LA TENSION ESENCIAL: TRADICIÓN E INNOVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA\*

ESTOY muy agradecido por la invitación que se me hizo de participar en esta importante conferencia, y la interpreto como prueba de que los estudiantes de la creatividad son sensibles a los enfoques divergentes que tratan de identificar en los demás. Sin embargo, no abrigo grandes esperanzas sobre el resultado de este experimento conmigo. Como la mayoría de ustedes sabe, no soy psicólogo, sino más bien un ex físico que trabaja ahora en la historia de la ciencia. Quizá mi interés por la creatividad no sea menor que el de ustedes, pero sí son muy diferentes mis objetivos, mis técnicas y mis fuentes, a tal grado que no estoy muy seguro de cuánto tengamos, o *deberíamos* tener, que decirnos unos a otros. Estas reservas no implican una excusa; más bien, apuntan hacia mi tesis central. En las ciencias, como indicaré más adelante, es preferible emplear lo mejor que se pueda las herramientas de que se dispone, que detenerse a contemplar los enfoques divergentes.

Si una persona de mis antecedentes e intereses tiene algo pertinente que exponer en esta conferencia, no será acerca de los intereses centrales de ustedes: la personalidad creativa y su identificación precoz. Pero, implícita en los numerosos artículos de trabajo distribuidos a los participantes de esta conferencia, hay una imagen del proceso de la ciencia y del científico; tal imagen condiciona muchos de los experimentos que ustedes harán y también las conclusiones que extraerán; y acerca de ello es muy posible que el físico-historiador sí tenga algo que decir. Aquí me limitaré a un aspecto de esta imagen, el cual está condensado como sigue en uno de los artículos de trabajo: el científico básico “debe carecer de prejuicios, al grado de que pueda observar los hechos o conceptos ‘evidentes por sí mismos’ sin que forzosamente tenga que aceptarlos y, a la inversa, debe dar rienda suelta a su imaginación para que ésta juegue con las posibilidades más remotas” (Selye, 1959). En el lenguaje más técnico

de otros de los artículos de trabajo (Getzels y Jackson), se repite este aspecto de la imagen subrayando el “pensamiento divergente, . . . la libertad de partir en direcciones diferentes, . . . rechazando la solución antigua y tomando una dirección nueva”.

Estoy convencido de que es enteramente correcta esta descripción del “pensamiento divergente” y la búsqueda concomitante de quienes son capaces de tenerlo. Todo trabajo científico está caracterizado por algunas divergencias, y en el corazón de los episodios más importantes del desarrollo científico hay divergencias gigantescas. Pero tanto mi propia experiencia en la investigación científica como mis lecturas de la historia de las ciencias hacen que me pregunte si no se insiste demasiado en la flexibilidad y la imparcialidad como características indispensables para la investigación básica. Por eso, sugeriré más adelante que algo así como el “pensamiento convergente” es tan esencial como el divergente para el avance de la ciencia. Como estos dos modos de pensar entran inevitablemente en conflicto, se infiere que uno de los requisitos primordiales para la investigación científica de la mejor calidad es la capacidad para soportar una tensión que, ocasionalmente, se volverá casi insoportable.

En otra parte, estoy estudiando estos asuntos desde una perspectiva más bien histórica, recalando la importancia de las “revoluciones”<sup>1</sup> para el desarrollo de la ciencia. Son éstos episodios —ejemplificados en su forma extrema y fácil de reconocer por el advenimiento del copernicanismo, el darwinismo, el einsteinianismo— en que una comunidad científica abandona la manera tradicional de ver el mundo y de ejercer la ciencia a favor de otro enfoque a su disciplina, por lo regular incompatible con el anterior. En el borrador de dicho estudio, argumento que el historiador se encuentra constantemente muchos episodios revolucionarios de estructura semejante, aunque más pequeños, y que éstos son vitales para el avance científico. Contrariamente a la impresión que prevalece, la mayoría de los descubrimientos y las teorías nuevas en las ciencias no son meras adiciones al acopio existente de conocimientos científicos. Para asimilar unos y otras, el científico debe reorganizar su equipo intelectual e instrumental en que ha venido confiando, y descartar algunos elementos de su credo y práctica anteriores hasta encontrar nuevos significados y nuevas relaciones entre muchos otros. Ya que, para asimilarlo a lo nuevo, lo antiguo debe ser revalorado y reordenado, en las ciencias el descubri-

\* Reimpreso con autorización de *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent*, C. W. Taylor, compilador (Salt Lake City: University of Utah Press, 1959), pp. 162-74. Copyright 1959 de la University of Utah.

<sup>1</sup> *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago, 1962). [ *La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE, 1971.]

miento y la invención suelen ser intrínsecamente revolucionarios. Demandan, pues, precisamente esa flexibilidad e imparcialidad que caracterizan, o en realidad definen, al pensador divergente. Vamos, pues, a admitir de aquí en adelante la necesidad de estas características. Sin muchos científicos que las posean en alto grado, las revoluciones científicas no ocurrirían y el avance científico sería muy lento.

No basta, sin embargo, con la flexibilidad, y lo que permanece obviamente no es compatible con ella. Citando partes de un proyecto no terminado aún, debo hacer destacar que las revoluciones no son sino uno de los dos aspectos complementarios del avance científico. Casi ninguna de las investigaciones emprendidas, aun las de los más grandes científicos, está destinada a ser revolucionaria; sólo una parte muy pequeña de ésta es de naturaleza revolucionaria. Por el contrario, incluso la investigación normal de mejor calidad es una actividad en su mayor parte convergente, fincada sólidamente en un consenso establecido, adquirido este último de la educación científica y fortalecido por la práctica de la profesión. Regularmente, esta investigación convergente o basada en el consenso desemboca en la revolución. Entonces, las técnicas y las creencias tradicionales se abandonan para remplazarlas por otras nuevas. Pero los cambios revolucionarios de una tradición científica son relativamente raros, y épocas prolongadas de investigación convergente son sus preliminares necesarios. Como indicaré en seguida, sólo las investigaciones cimentadas firmemente en la tradición científica contemporánea tienen la probabilidad de romper esa tradición y de dar lugar a otra nueva. Ésta es la razón de que hable yo de una "tensión esencial" implícita en la investigación científica. Para hacer su trabajo, el científico debe adquirir toda una variedad de compromisos intelectuales y prácticos. Sin embargo, su aspiración a la fama, en caso de que tenga el talento y la buena suerte para ganarla, puede estar fundada en su capacidad para abandonar esa red de compromisos a favor de otros que él mismo invente. Muy a menudo, el científico que logra el éxito debe mostrar, simultáneamente, las características del tradicionalista y las del iconoclasta.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Estrictamente hablando, es el grupo profesional, y no el científico individual, el que debe mostrar simultáneamente estas características. Al tratarse con toda su extensión el asunto de este artículo, tendría que ser básica esa distinción entre las características del grupo y las del individuo. Aquí sólo puedo observar que, si bien el reconocimiento de esa distinción atenúa el conflicto o la tensión, no la elimina. Dentro del grupo, algunos individuos serán tradicionalistas, otros iconoclastas, y en consecuencia sus

Los múltiples ejemplos históricos en los que debiera basarse la documentación cabal de estos puntos nos están vedados aquí por las limitaciones de tiempo propias de la conferencia. Pero, examinando la naturaleza de la educación dentro del campo de las ciencias naturales, daré un paso más para explicar lo que tengo en mente. En uno de los trabajos preparatorios de esta conferencia (Getzels y Jackson), se cita la muy clara descripción que Guilford hace de la educación científica: "Se ha hecho hincapié en las capacidades relativas al pensamiento convergente y a la evaluación, a menudo a expensas del desarrollo relativo al pensamiento divergente. Nos hemos propuesto enseñarles a los estudiantes la manera de llegar a respuestas 'correctas' que nuestra civilización nos ha enseñado que son correctas. . . Salvo en las artes [y yo incluiría a la mayoría de las ciencias sociales], por regla general hemos desalentado, involuntariamente, el desarrollo de las capacidades del pensamiento divergente." Tal caracterización me parece eminentemente justa, pero quisiera saber si será del mismo modo justo deplorar el producto resultante. Sin ponerme a defender una manera de enseñar claramente mala, y dando por supuesto que en este país ha ido muy lejos la tendencia hacia el pensamiento convergente en toda la educación, puedo reconocer, sin embargo, que ha sido intrínseco a las ciencias, casi desde sus orígenes, un riguroso adiestramiento en materia de pensamiento convergente. Y sugiero que, sin éste, las ciencias nunca habrían alcanzado el estado en que se encuentran en la actualidad.

Permítaseme resumir la naturaleza de la educación en las ciencias naturales, pasando por alto las muchas diferencias significativas, pero aun así menores, que existen entre las diversas ciencias y entre los enfoques de las diferentes instituciones educativas. La característica más notable de esta educación consiste en que, en grado totalmente desconocido en otros campos creativos, se realiza mediante libros de texto. Por lo regular, los estudiantes y los graduados de química, física, astronomía, geología o biología adquieren la sustancia de sus disciplinas de libros escritos especialmente para estudiantes. Hasta que están preparados, o casi, para comenzar a trabajar en sus propias tesis, no se les pide que traten de realizar proyectos de investigación ni que conozcan cuanto antes los productos de investigaciones hechas por otros, esto es, que se enteren de las comunicaciones profesionales

aportaciones diferirán. La educación, las normas institucionales y la naturaleza del trabajo a realizar se combinarán inevitablemente para asegurar que todos los miembros del grupo, en mayor o menor grado, sean atraídos en ambas direcciones.

que los científicos se escriben unos a otros. No hay antologías de "textos seleccionados" en las ciencias naturales. Tampoco se anima a los estudiantes de ciencias para que lean los clásicos históricos propios de sus campos, trabajos en los cuales podrían descubrir otras maneras de considerar los problemas que aparecen en sus libros de texto, pero en los cuales podrían encontrar también problemas, conceptos y normas de solución que, dentro del campo de sus respectivas profesiones, han sido descartados y sustituidos por otros.

En contraste con esto, los textos que el estudiante suele emplear tratan diferentes asuntos, en lugar de que, como en muchas de las ciencias sociales, ejemplifiquen diferentes enfoques a un mismo asunto. Aun los libros que compiten por ser adoptados para un mismo curso difieren principalmente de nivel y de detalle pedagógico, pero no de sustancia ni de estructura conceptual. Por último, pero esto es lo más importante, está la técnica característica de presentación del libro de texto. Salvo ocasionalmente en sus introducciones, los libros de texto científicos no describen las clases de problemas que es posible que el profesional tenga que resolver, como tampoco la gran variedad de técnicas para solucionarlos. Lejos de ello, en estos libros aparecen soluciones a problemas concretos que dentro de la profesión se vienen aceptando como paradigmas, y luego se le pide al estudiante que resuelva por sí mismo, con lápiz y papel o bien en el laboratorio, problemas muy parecidos, tanto en método como en sustancia, a los que contiene el libro de texto o a los que se han estudiado en clase. Nada mejor calculado para producir "predisposiciones mentales" o *Einstellungen*. Sólo en sus cursos más elementales, los demás campos académicos ofrecen tal vez la visión de un cierto paralelismo.

Aun dentro de la teoría educativa más vagamente liberal, debe verse como anatema esta técnica pedagógica. Debiéramos estar de acuerdo en que los estudiantes deben comenzar por aprender una buena cantidad de lo que ya se sabe, pero al mismo tiempo insistiríamos en que la educación les debe dar muchísimo más. Digamos que deben aprender a reconocer y a evaluar problemas para los cuales no se han dado todavía soluciones inequívocas; debiera dotárseles de todo un arsenal de técnicas para atacar estos problemas futuros; y debiera enseñárseles a juzgar la pertinencia de estas técnicas y a evaluar las posibles soluciones parciales que de ellas resultan. En muchos aspectos, estas actitudes hacia la educación me parecen enteramente correctas, pero hay que decir dos cosas acerca de ellas. Primera, que la educación en ciencias naturales no parece haber sido afectada por la existencia de tales actitudes. Persiste la iniciación dogmática en una tradición

preestablecida que el estudiante no está capacitado para evaluar. Segunda, que por lo menos en la época en que fue seguida por una especie de noviciado esta técnica de exposición exclusiva a una tradición rígida ha producido una inmensa clase de innovaciones.

Exploraré brevemente la pauta de práctica científica que produce esta iniciación educativa y luego trataré de explicar por qué dicha pauta resulta ser tan fructífera. Pero, primero, con una breve excursión histórica, terminaré de fundamentar lo que acabo de decir, y prepararé el camino para lo que sigue. Me gustaría sugerir que los varios campos de las ciencias naturales no se han caracterizado siempre por la educación rígida dentro de paradigmas excluyentes, sino que, dentro de cada uno de ellos, se adquirió algo así como una técnica precisamente en el punto en que el campo empezó a progresar de manera rápida y sistemática. Si se pregunta uno por el origen de nuestros conocimientos contemporáneos sobre la composición química, los terremotos, la reproducción biológica, el movimiento en el espacio, o cualquier otro conocimiento propio de las ciencias naturales, se encontrará de inmediato la pauta característica que trataré de ilustrar aquí con un solo ejemplo.

En los libros de física actuales, se dice que la luz muestra propiedades de onda y propiedades de partícula: tanto los problemas de libro de texto como los de investigación se plantean de acuerdo con ello. Pero tanto esta concepción como estos libros de texto son productos de una revolución científica ocurrida a principios de este siglo. (Una de las características de las revoluciones científicas consiste en que obligan a reescribir los libros de texto.) Antes de 1900, durante más de medio siglo, en los libros empleados en la educación científica se decía que la luz era movimiento ondulatorio. En estas circunstancias, los científicos trabajaron en problemas algo diferentes y a menudo adoptaron clases bastante diferentes de soluciones a esos problemas. Pero la tradición de los libros de texto en el siglo XIX no es lo que marca el principio de nuestro asunto. Durante todo el siglo XVIII y principios del XIX, la *Óptica*, de Newton<sup>3</sup>, y los demás libros de los cuales se aprendió ciencia, les enseñaron a casi todos los estudiantes que la luz consistía en partículas, y la investigación guiada por esta tradición fue muy diferente de la que la sucedió. Pasando por alto toda una variedad de

<sup>3</sup> Vasco Rochi, en *Histoire de la lumière*, trad. de J. Taton (París, 1956), describe la historia de la óptica física antes de Newton. Su descripción le hace justicia al elemento que acabo de elaborar. Muchas de las aportaciones fundamentales a la óptica física se hicieron en los dos milenios que precedieron al trabajo de Newton. El consenso no es

cambios menores ocurridos dentro de estas tres tradiciones sucesivas, podemos decir, por consiguiente, que nuestras concepciones provienen históricamente de las de Newton, a través de dos revoluciones ocurridas en el pensamiento relativo a la óptica, cada una de las cuales reemplazó por otra una tradición de pensamiento convergente. Si tomamos en cuenta los cambios de lugar y de materiales de la educación científica, podemos decir que cada una de estas tres tradiciones estuvo incorporada a la clase de educación por exposición a paradigmas inequívocos que antes resumí. Desde Newton, la educación y la investigación en el campo de la óptica han venido siendo convergentes.

Pero la historia de las teorías de la luz no se inicia con Newton. Si nos preguntamos por el conocimiento que existió en ese mismo campo antes de la época de Newton, nos encontraremos con una pauta significativamente distinta, la cual sigue siendo familiar todavía en los campos de las artes y algunas de las ciencias sociales, pero que prácticamente ha desaparecido de las ciencias naturales. Desde la más remota antigüedad y hasta fines del siglo XVII, no hubo un solo conjunto de paradigmas para el estudio de la óptica. En lugar de ello, muchos estudiosos sostuvieron numerosos puntos de vista diferentes sobre la naturaleza de la luz. Algunos de estos puntos de vista tuvieron pocos partidarios, pero gran número de ellos dieron lugar a verdaderas escuelas de pensamiento en el terreno de la óptica. Si bien el historiador puede observar el surgimiento de nuevos puntos de vista, así como modificaciones en la popularidad relativa de los antiguos, no podrá observar en cambio nada que se asemeje a un consenso. En consecuencia, quien por primera vez entraba en este campo se veía expuesto inevitablemente a toda una variedad de puntos de vista contradictorios; se veía obligado a examinar las pruebas relativas a cada uno de ellos, las cuales eran siempre numerosas. El hecho de que el principiante tuviera que hacer una elección y luego conducirse de acuerdo con ella no impedía que estuviese consciente de las demás posibilidades. Este modo de educación tenía, obviamente, más posibilidades de producir un científico libre de prejuicios, alerta a los fenómenos nuevos y flexible en la manera de enfocar su campo. Por otro lado, es muy difícil librarse de la impresión de que, durante el periodo caracterizado

condición esencial para cierta clase de progreso en las ciencias naturales, de la misma manera que tampoco lo es en las ciencias sociales o en las artes. Si lo es para la clase de progreso a la que nos referimos cuando distinguimos las ciencias naturales de las artes y la mayoría de las ciencias sociales.

por esta práctica educativa más liberal, la óptica hizo muy pocos progresos.

La fase de preconsenso —a la que podríamos llamar divergente— en el desarrollo de la óptica se repite, creo, en la historia de las demás especialidades científicas, exceptuadas únicamente aquellas que se originaron en la subdivisión y recombinación de las disciplinas preexistentes. En algunos campos, como las matemáticas y la astronomía, el primer consenso firme es prehistórico. En otros, como la dinámica, la óptica geométrica y algunas partes de la fisiología, los paradigmas que produjeron un consenso firme datan de la antigüedad clásica. En la mayoría de las demás ciencias naturales, a pesar de que sus problemas fueron discutidos ya desde la antigüedad, no se logró un consenso firme hasta después del Renacimiento. En la óptica, como hemos visto, el primer consenso firme data apenas de fines del siglo XVII en la electricidad, la química y el estudio del calor, del siglo XVIII; y en la geología y en las partes no taxonómicas de la biología, un consenso real no surgió hasta después del primer tercio del siglo XIX. Este siglo parece caracterizarse por el surgimiento del primer consenso en partes de unas cuantas de las ciencias sociales.

En todos los campos que acabo de enumerar, se realizó un vasto trabajo antes de alcanzarse la madurez producida por consenso. No puede entenderse la naturaleza ni determinarse la época del primer consenso en estos campos sin examinar cuidadosamente tanto las técnicas intelectuales como las instrumentales que se desarrollaron antes de la existencia de paradigmas únicos. Pero la transición a la madurez no es menos importante porque los individuos hayan practicado la ciencia antes de que ésta existiese. Por el contrario, los hechos históricos sugieren fuertemente que, aunque se practique la ciencia —como en la filosofía o en las ciencias del arte y la política— sin un consenso firme, esta práctica más flexible no producirá la pauta de avances científicos rápidos y consecuentes a que nos han acostumbrado los siglos recientes. En esa pauta, el desarrollo ocurre de un consenso a otro, y comúnmente los enfoques distintos no compiten entre sí. Salvo, quizá, en condiciones especiales, el profesional de una ciencia madura no se detiene a examinar los modos divergentes de explicación ni de experimentación.

¿Cómo es que ocurre esto? ¿Cómo es que una orientación firme hacia una tradición al parecer única puede ser compatible con la práctica de las disciplinas más notables por la producción continua de ideas y técnicas nuevas? Pero conviene comenzar con la interrogante

de qué es lo que no hace una educación que tan eficazmente transmite tal tradición. ¿Qué es lo que espera hacer en su carrera profesional un científico que trabaja dentro de una tradición arraigada profundamente y poco adiestrado para percibir las opciones importantes? Los límites de tiempo me fuerzan, de nuevo, a simplificar drásticamente, pero con los comentarios siguientes sugeriré por lo menos una posición que, estoy seguro, puede documentarse al detalle.

En la ciencia pura o básica —esa categoría un tanto efímera de investigación realizada por quienes persiguen la meta inmediata de entender mejor y no de controlar la naturaleza—, los problemas característicos son casi siempre repeticiones, con modificaciones menores, de problemas que ya fueron atacados y resueltos parcialmente desde antes. Por ejemplo, gran parte de la investigación que se localiza dentro de una tradición científica es un intento por ajustar la teoría y las observaciones existentes para hacerlas concordar entre sí una vez más. El examen constante de los espectros atómicos y moleculares durante los años posteriores a la fundación de la mecánica ondulatoria, junto con el diseño de aproximaciones teóricas para la predicción de espectros complejos, es un ejemplo notable de esta especial clase de trabajo. Otro ejemplo está en los comentarios hechos acerca del desarrollo de la mecánica newtoniana, en el siglo XVIII, incluidos en el artículo sobre medición que se entregó a ustedes antes de la conferencia.<sup>4</sup> El intento por lograr que la teoría y la observación existentes concuerden entre sí cada vez más no es, desde luego, la única clase de problema de investigación que se presenta normalmente en las ciencias básicas. El desarrollo de la termodinámica química o los continuos intentos por descubrir la estructura orgánica ilustran otro tipo de problema de investigación: la extensión de la teoría presente a campos que, según se espera, ésta podría abarcar también, pero a los cuales nunca antes se ha aplicado. Además, para mencionar otra clase más de problema de investigación, tómese en cuenta el trabajo realizado por muchos científicos que se dedican constantemente a recoger los datos concretos (por ejemplo, los pesos atómicos, los momentos nucleares) que hacen falta para la aplicación y la extensión de la teoría existente.

Éstos son proyectos de investigación normales en las ciencias básicas, e ilustran las clases de trabajos en que todos los científicos, aun los más grandes, emplean la mayor parte de sus vidas profesionales y a

los cuales muchos otros dedican íntegramente sus vidas. Claro está que sus trabajos no pretenden producir —ni tampoco tienen la probabilidad de hacerlo— descubrimientos fundamentales ni cambios revolucionarios dentro de la teoría científica. Sólo cuando se asume la validez de la tradición científica contemporánea es cuando estos problemas adquieren sentido teórico o práctico. Los hombres que sospecharon de la existencia de un tipo de fenómeno absolutamente nuevo o que tuvieron dudas esenciales acerca de la validez de la teoría existente no pensaron que valiese la pena trabajar sobre los problemas modelados conforme a los paradigmas de libro de texto. De ahí que los hombres que sí atacaron problemas de esta clase —y esto significa todos los científicos la mayoría de las veces— tienden a dilucidar la tradición científica dentro de la cual crecieron y no a tratar de cambiarla. Además, la fascinación de su trabajo reside en las dificultades que se presentan al tratar de dilucidar, antes que en las sorpresas que probablemente les produzca ese trabajo. En condiciones normales, el investigador no es un innovador sino un solucionador de acertijos, y los acertijos sobre los cuales se concentra son precisamente aquellos que él cree que pueden plantearse y resolverse dentro de la teoría científica que prevalece en su momento.

Sin embargo —y aquí está la clave—, el efecto final de este trabajo dentro de la tradición es ejercido invariablemente sobre esta misma. Una y otra vez, el intento constante por dilucidar la tradición vigente termina por producir uno de esos cambios en la teoría fundamental, en la problemática y en las normas científicas, a todo lo cual me he referido ya como revoluciones científicas. Por lo menos para la comunidad científica en su conjunto, el trabajo dentro de una tradición bien definida y profundamente arraigada parece ser más productivo de novedades en contra de la tradición, que el trabajo en el que no hay de por medio normas de la misma naturaleza convergente. ¿Cómo es posible esto? Creo que porque no hay otra clase de trabajo tan tendente a aislar, mediante la atención constante y concentrada, esos focos de problemas o causas de crisis, de cuyo reconocimiento dependen los avances fundamentales dentro de las ciencias básicas.

Como lo indiqué en el primero de mis artículos preparatorios, las teorías nuevas y, en grado creciente, los descubrimientos, dentro de las ciencias maduras, no ocurren independientemente del pasado. Por lo contrario, surgen de teorías antiguas y dentro de la matriz de creencias añejas acerca de los fenómenos, que el mundo contiene y no *contiene*. De ordinario, tales novedades son tan esotéricas y recónditas

<sup>4</sup> Una versión revisada apareció en *Isis*, 52 (1961): 161-193.

que no las nota el hombre desprovisto de una gran cantidad de adiestramiento científico. E incluso para el hombre bien adiestrado no basta con que de momento decida ponerse a buscarlas, explorando, por ejemplo, las áreas en que los datos y la teoría existentes no sirven para explicar los fenómenos. Hasta en una ciencia madura hay siempre demasiadas áreas de esta índole, dentro de las cuales parecen aplicarse paradigmas que no existen todavía y para cuya exploración hay pocos instrumentos y normas disponibles. Lo más probable es que el científico que se aventure dentro de esas áreas, abandonándose a su intuición de los nuevos fenómenos y a su capacidad de ser flexible ante nuevas pautas de organización, no llegue a ninguna parte. Y lo más seguro es que prefiera volver su ciencia a la fase de preconsenso o de historia natural.

En lugar de esto, el profesional de una ciencia madura, desde el principio de la investigación para su doctorado, continúa trabajando en las regiones a las cuales parecen adaptarse los paradigmas provenientes de su educación y de las investigaciones de sus contemporáneos. Es decir, trata de dilucidar detalles topográficos sobre un mapa cuyas líneas principales ya existen y espera —si es lo suficientemente perspicaz como para reconocer la naturaleza de su campo— que algún día atacará un problema dentro del cual *no* ocurrirá lo previsto, problema que al apartarse de lo consabido sugerirá la debilidad fundamental del propio paradigma. En las ciencias maduras, el preludio a muchos descubrimientos y a todas las teorías nuevas no consiste en la ignorancia, sino en el reconocimiento de que algo anda mal en lo que se sabe y en lo que se cree.

Lo dicho hasta el momento puede indicar que al científico productivo le bastará con adoptar la teoría presente, a manera de hipótesis provisoria, emplearla como punto de partida de su investigación, y luego abandonarla tan pronto como lo conduzca a un foco de problemas, llegado al cual sabrá que algo anda mal. Pero aunque la capacidad de reconocer el problema en el momento en que se lo encuentra es, seguramente, indispensable para el avance científico, el problema no debe ser demasiado fácil de reconocer. Al científico le hace falta un compromiso total hacia la tradición con la cual, en caso de que logre el éxito, habrá de romper. Este compromiso lo exige, en parte, la naturaleza de los problemas que el científico ataca normalmente. Éstos, como ya vimos, son por lo común acertijos esotéricos cuya utilidad reside menos en la información que se descubre al solucionarlos —casi todos sus detalles se conocen de antemano—, que en las

dificultades técnicas que habrán de superarse para encontrar la solución. Los problemas de esta clase son atacados únicamente por hombres convencidos de que hay una solución que será posible encontrar gracias a un despliegue de ingenio, y sólo la teoría existente puede llevar a un convencimiento de esa índole. Tal teoría da significado a la mayoría de los problemas de la investigación normal. Ponerla en duda es dudar de que tengan soluciones los complejos acertijos técnicos que constituyen la investigación normal. ¿Quién, por ejemplo, establecería las complejas técnicas matemáticas necesarias para estudiar los efectos de las atracciones interplanetarias, con fundamento en órbitas keplerianas, si no empezara por suponer que la dinámica newtoniana, aplicada a los planetas que conoce, sirve para explicar los últimos detalles de la observación astronómica? Pero, sin esa seguridad, ¿cómo sería posible descubrir Neptuno y aumentar la lista de los planetas?

El compromiso, además, tiene razones prácticas apremiantes. Todo problema de investigación lleva al científico a enfrentarse con anomalías cuyas fuentes no puede identificar claramente. Sus teorías y sus observaciones nunca concuerdan del todo; las observaciones sucesivas nunca arrojan exactamente los mismos resultados; sus experimentos tienen productos secundarios, tanto teóricos como fenomenológicos, a los que sería necesario dedicar otro proyecto de investigación. Cada una de estas anomalías o fenómenos no entendidos del todo puede ser la clave para una innovación fundamental dentro de la teoría o la técnica científicas, pero quien se detiene a examinarlas, una por una, nunca concluye su proyecto original. Los informes de investigación dan a entender repetidamente que casi todas las discrepancias importantes y significativas podrían ser asimiladas a la teoría existente, siempre y cuando hubiese tiempo para ello. Los hombres que elaboran estos informes encuentran, la mayoría de las veces, que esas discrepancias son triviales y carentes de interés, evaluación que de ordinario únicamente puede basarse en la fe que tienen en la teoría existente. Sin esa fe, su trabajo sería un desperdicio de tiempo y talento.

Además, la falta de compromiso lleva demasiadas veces al científico a atacar problemas que tiene pocas posibilidades de resolver. Tratar de reducir una anomalía es tarea fructífera sólo cuando la anomalía es algo más que trivial. Habiéndola descubierto, lo primero que hace el científico, igual que sus colegas, es lo mismo que están haciendo actualmente los físicos nucleares. Luchan por generalizar la anomalía,



por descubrir otras manifestaciones reveladoras del mismo efecto, a fin de conferirle estructura examinando sus complejas relaciones recíprocas con los fenómenos que, creen ellos, entienden todavía. Muy pocas anomalías son susceptibles de esta clase de tratamiento. Para que lo sean, deben estar en conflicto explícito e inequívoco con alguna afirmación que se encuentre en algún lugar clave de la estructura de la doctrina científica presente. Por consiguiente, reconocerla y evaluarla depende de un firme compromiso hacia la tradición científica contemporánea.

Este papel central de una tradición compleja y a menudo esotérica es lo que tengo en mente, ante todo, cuando hablo de la tensión esencial dentro de la investigación científica. No dudo de que el científico deba ser, por lo menos en potencia, un innovador, que debe poseer flexibilidad mental y estar preparado para reconocer los problemas en donde éstos se presenten. Así, gran parte del estereotipo popular seguramente es correcta, y por eso es importante para buscar los índices de las características de personalidad correspondientes. Pero lo que no forma parte de nuestro estereotipo y parece necesitar una integración cuidadosa con éste es la otra cara de la moneda. Creo que tenemos muchas más probabilidades de explotar a fondo nuestro talento científico potencial si reconocemos la medida en que el científico básico debe ser también un firme tradicionalista, o, para decirlo en las palabras de ustedes, un pensador convergente. Lo más importante es que debemos entender la manera como estos dos modos de solución de problemas, superficialmente discordantes, pueden reconciliarse tanto dentro del individuo como dentro del grupo.

Todo lo que acabo de decir necesita ser elaborado y documentado. Es muy probable que, dentro del proceso, cambien algunas cosas. Este artículo es un informe sobre un trabajo en progreso. Pero, aunque insisto en que mucho de él es provisorio e incompleto, todavía tengo la esperanza de que indique por qué un sistema educativo, mejor descrito como iniciación dentro de una tradición inequívoca, debe ser perfectamente compatible con el trabajo científico en pleno progreso. Y espero, además, haber hecho plausible la tesis histórica de que ninguna parte de la ciencia ha llegado muy lejos ni muy rápidamente antes de esta educación convergente y, correlativamente, de que esto mismo es lo que ha posibilitado la práctica normal convergente. Por último, aunque está fuera de mi competencia el inferir correlatos de personalidad de esta concepción del desarrollo científico, espero haberle infundido significado a la idea de que el científico productivo

debe ser un tradicionalista que disfrute de juegos intrincados, con reglas preestablecidas, para ser un innovador de éxito que descubre nuevas reglas y nuevas piezas con las cuales jugar.

Como lo había planeado, mi artículo tenía que haber terminado en este punto. Pero, al trabajar en él, dentro del contexto de los artículos preparatorios distribuidos a los asistentes a la conferencia, vi la necesidad de redactar un *post scriptum*. Permítaseme, por consiguiente, tratar de eliminar una posible fuente de mala interpretación y, al mismo tiempo, de sugerir un problema que necesita urgentemente una amplia investigación.

Todo lo dicho aquí trató de aplicarse rigurosa y exclusivamente a la ciencia básica, empresa dentro de la cual sus profesionales han sido de ordinario relativamente libres de elegir sus propios problemas. Como ya indiqué, estos problemas se han seleccionado, por regla general, dentro de áreas en donde los paradigmas podían aplicarse inequívocamente, pero dentro de las cuales persistían una serie de acertijos sobre la manera de aplicarlos y de cómo hacer que la naturaleza se conformase a los resultados de la aplicación. Claro está que el inventor o el científico aplicado no son, por lo general, libres de elegir acertijos de esta suerte. Quizá los problemas de entre los cuales tengan que elegir estén determinados en gran parte por circunstancias sociales, económicas o militares, que son externas a las ciencias. A menudo, la decisión de buscar la cura para una enfermedad muy virulenta, una fuente de iluminación o una aleación que resista el intenso calor de los motores cohete debe tomarse con relativa independencia del estado de la ciencia que venga al caso. No es evidente, de ninguna manera, que las características de personalidad indispensables para la preeminencia en esta clase de trabajo más bien práctico sean en conjunto las mismas que se requieren para obtener grandes logros en la ciencia básica. La historia indica que tan sólo unos cuantos individuos, la mayoría de los cuales trabajó en áreas bien delimitadas, han sido eminentes en ambas cosas.

No estoy muy seguro de a dónde nos conduzca esta sugerencia. Es necesario investigar más las problemáticas distinciones entre investigación básica, investigación aplicada e invención. Con todo, parece probable, por ejemplo, que el científico aplicado, para cuyos problemas el paradigma científico no tiene que venir muy al caso, se beneficia con una educación mucho más amplia y menos rígida que la que tradicionalmente se le da al científico puro. Hay ciertamente muchos

episodios dentro de la historia de la tecnología en que la falta de la educación científica más rudimentaria ha resultado ser de gran ayuda. Recuérdese simplemente que Edison inventó la luz eléctrica ante una opinión científica unánime de que la luz de arco no podía “subdividirse”, y hay muchos otros episodios por el estilo.

Pero esto no debe sugerir que las meras diferencias de educación transforman al científico aplicado en científico básico o viceversa. Lo menos que podría argumentarse es que la personalidad de Edison, igual para el inventor y quizá también para el “excéntrico” de la ciencia aplicada, lo eliminaba de los logros fundamentales de las ciencias básicas. Manifestó gran desdén por los científicos y pensaba que eran personas de ideas desordenadas, a las que podía contratarse cuando fuese necesario. Pero esto no impidió que, ocasionalmente, inventara las ideas más generales e irresponsables. (Esta pauta se repite a principios de la historia de la tecnología eléctrica: tanto Tesla como Gramme idearon absurdos esquemas cósmicos que, según ellos, debían remplazar al pensamiento científico de sus épocas.) Episodios como éste fortalecen la impresión de que los requisitos de personalidad del científico puro y los del inventor pueden ser por entero diferentes, y que tal vez los del científico aplicado ocupen un lugar intermedio.<sup>5</sup>

De todo esto, ¿puede sacarse alguna otra conclusión? Me asalta un pensamiento especulativo. Si leí correctamente los artículos preparatorios, en éstos se sugiere que la mayoría de ustedes se encuentra realmente en busca de la personalidad *inventiva*, esa clase de persona en la que predomina el pensamiento divergente, clase que se ha producido en abundancia en los Estados Unidos. Mientras tanto, tal vez se les estén escapando a ustedes algunas de las cualidades esenciales del científico básico, tipo bastante diferente de persona a cuyas filas las contribuciones de los Estados Unidos han sido notoriamente escasas. Como la mayor parte de ustedes es estadounidense, lo más probable es que esta correlación no sea una mera coincidencia.

<sup>5</sup> Sobre la actitud de los científicos hacia la posibilidad técnica de la luz incandescente, véase Francis A. Jones, *Thomas Alva Edison* (Nueva York, 1908), pp. 99-100, y Harold C. Passer, *The Electrical Manufacturers, 1875-1900* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 82-83. Sobre la actitud de Edison hacia los científicos, véase Passer, *ibid.*, pp. 180-181. Para una muestra de las teorizaciones de Edison en terrenos ya sujetos al estudio científico, véase Dagobert D. Runes, compilador, *The Diary and Sundry Observations of Thomas Alva Edison* (Nueva York, 1948), pp. 205-244, *passim*.

## X. LA FUNCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS IMAGINARIOS\*

LOS EXPERIMENTOS imaginarios han desempeñado más de una vez un papel de importancia crítica en el desarrollo de la física. Lo menos que el historiador debe hacer es reconocerlos como instrumentos, en ocasiones muy potentes, para comprender más y mejor la naturaleza. No está nada claro, sin embargo, cómo es que pueden tener efectos tan significativos. Muchas veces, como en el caso del tren de Einstein, que es alcanzado por el rayo en sus dos extremos, tratan de situaciones que no se han examinado en el laboratorio.<sup>1</sup> Otras veces, como en el caso del microscopio de Bohr-Heisenberg, plantean situaciones que ni podrían examinarse totalmente ni tienen que darse en la naturaleza.<sup>2</sup> Tal estado de cosas da lugar a una serie de interrogantes, tres de las cuales se examinarán en este artículo mediante el extenso análisis de un solo ejemplo. Claro está que ningún experimento aislado es representativo de los que han tenido gran importancia histórica. La cate-

\* Reimpreso con autorización de *L'aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré* (París: Hermann, 1964), 2:307-334. Copyright de Hermann, París, 1964.

<sup>1</sup> El famoso experimento del tren aparece por primera vez en la vulgarización de la teoría de la relatividad debida al propio Einstein, *Ueber die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)* (Braunschweig, 1916). En la quinta edición (1920), la cual consulté, el experimento se describe en las pp. 14-19. Nótese que este experimento imaginario es tan sólo una versión simplificada del empleado en el primer escrito de Einstein sobre la relatividad, “Zur Elektrodynamik bewegter Körper”, *Annalen der Physik*, 17 (1905): 891-921. En el experimento imaginario original sólo se empleaba una señal luminosa; el lugar de la otra lo ocupaba la reflexión sobre un espejo.

<sup>2</sup> W. Heisenberg, “Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik”, *Zeitschrift für Physik*, 43 (1927): 172-198. N. Bohr, “The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory”, *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici*, 11-20 Settembre 1927, vol. 2 (Bolonía, 1928), pp. 565-588. En la discusión, se empieza tratando al electrón como partícula clásica y luego se discute su trayectoria antes y después de su colisión con el fotón que se emplea para determinar su posición o su velocidad. El resultado consiste en demostrar que no es posible realizar estas mediciones dentro del terreno de la física clásica y que, por tanto, en la descripción inicial se suponía más de lo que permite la mecánica cuántica. Sin embargo, esa violación de los principios de la mecánica cuántica no disminuye la importancia del experimento imaginario.