

LA RACIONALIDAD DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS

K.P. Popper

El título *Progresos y obstáculos en el avance de la ciencia* de esta serie de "Conferencias Spencer" ha sido elegido por los organizadores. El título supone, me parece, que el progreso en la ciencia es algo positivo, y que un obstáculo a ese progreso sería algo negativo; una posición mantenida hasta hace poco por casi todo el mundo. Quizá debería dejar patente de inmediato mi conformidad con esta posición, aunque con ligeras reservas, por otro lado bastante obvias, a las que aludiré brevemente más tarde. Desde luego, los obstáculos que surgen de las dificultades inherentes a los problemas abordados constituyen desafíos que son bien recibidos. (De hecho, muchos científicos se decepcionaron grandemente cuando vieron que el problema de la explosión de energía nuclear era comparativamente trivial, al no envolver ningún nuevo cambio revolucionario para la teoría.) Pero el estancamiento en la ciencia sería una maldición. Sin embargo, estoy de acuerdo con la sugerencia del profesor Bodmer de que el avance científico es solamente una bendición *mezclada*.¹ Aceptemos esto: las bendiciones *están* mezcladas, con algunas raras y extraordinarias excepciones.

Mi charla se dividirá en dos partes. La primera está dedicada al progre-

¹ Véase, en la presente serie de conferencias Herbert Spencer, la observación final de la contribución del profesor W. F. Bodmer. Mis propias dudas concernientes al avance y estancamiento científico provienen principalmente del cambio en el espíritu de la ciencia, y del desenfrenado crecimiento de la *Big Science* que pone en peligro a la gran ciencia (véase Sección IX de esta conferencia). La biología parece haber escapado a este peligro hasta aquí, pero no, por supuesto, de los muy similares peligros de la aplicación en gran escala.

so de la ciencia (Secciones I-VIII). Y la segunda a algunos de los obstáculos sociales a ese progreso. (Secciones IX-XIV).

En recuerdo a Herbert Spencer voy a tratar el progreso en la ciencia en gran parte desde una perspectiva evolutiva; más exactamente desde el punto de vista de la teoría de la selección natural. Sólo al final de la primera parte (esto es, en la Sección VIII), se discutirá el progreso de la ciencia *desde una perspectiva lógica* y se propondrán *dos criterios racionales* para el progreso en la ciencia, que por otro lado serán empleados en la segunda parte de mi charla.

En la segunda parte hablaré de algunos obstáculos al progreso en la ciencia, sobre todo de los obstáculos ideológicos; y terminaré discutiendo (Secciones XI - XIV) sobre la distinción entre, por una parte, *revoluciones científicas* que están sometidas a los criterios racionales de progreso, y, por otra parte, *revoluciones ideológicas* que sólo excepcionalmente son defendibles desde un punto de vista racional. Me pareció que esta distinción era lo suficientemente interesante como para llamar a mi conferencia 'La racionalidad de las revoluciones científicas'. Por supuesto, el énfasis estará aquí centrado en la palabra 'científicas'.

I

Paso ahora a tratar del progreso en la ciencia. Consideraré este progreso desde una perspectiva biológica o evolutiva. De ningún modo estoy sugiriendo que este punto de vista sea el más importante para examinar el progreso en la ciencia. Pero el enfoque biológico ofrece una plataforma conveniente para introducir las dos ideas principales de la primera parte de mi charla. Son las ideas de *instrucción* y de *selección*.

Desde una perspectiva biológica o evolutiva, la ciencia —o el progreso en la ciencia— puede ser considerada como un medio utilizado por la especie humana para adaptarse al medio ambiente: para invadir nuevos nichos ambientales, e incluso para crearlos.² Lo cual conduce al siguiente problema.

Podemos distinguir tres niveles de adaptación: adaptación genética,

² La formación de las proteínas de la membrana, de los primeros virus, y de las células, tal vez puedan situarse entre las primeras invenciones de los nuevos nichos ambientales; aunque es posible que otros nichos ambientales (quizá redes de enzimas inventadas por genes que de otro modo se encontrarían desnudos) pudieran haber sido inventados incluso antes.

aprendizaje conductual adaptativo, y descubrimiento científico, que es un caso especial de aprendizaje conductual adaptativo. El problema central de esta parte de mi charla consistirá en averiguar las semejanzas y las diferencias que haya entre las estrategias de progreso o adaptación utilizadas en el nivel *científico* y las de los otros dos niveles: el *genético* y el *conductual*. Y compararé estos tres niveles de adaptación a fin de investigar el papel jugado en cada nivel por la *instrucción* y por la *selección*.

II

Para no llevarles con los ojos vendados al resultado de esta comparación voy a anticipar inmediatamente mi tesis principal. Se trata de una tesis que afirma la *semejanza fundamental de los tres niveles* del siguiente modo. En los tres niveles —adaptación genética, conducta adaptativa, y descubrimiento científico— el mecanismo de adaptación es el mismo.

Me explicaré con más detalle.

La adaptación comienza a partir de una *estructura* heredada, que es básica para los tres niveles: *la estructura genética del organismo*. A ésta corresponde en el nivel conductual *el repertorio innato* de los tipos de conducta que son asequibles para el organismo; y en el nivel científico, *las conjeturas o teorías científicas dominantes*. Estas *estructuras* son siempre transmitidas por *instrucción* en los tres niveles: por replicación de la instrucción del código genético en los niveles genético y conductual; y por tradición social e imitación en los niveles conductual y científico. En los tres niveles la *instrucción* procede del *interior de la estructura*. Si ocurren mutaciones, variaciones o errores, ellos a su vez se convierten en nuevas instrucciones que surgen también del *interior de la estructura* más bien que del *exterior*, del ambiente.

Estas estructuras heredadas están expuestas a ciertas presiones, desafíos o problemas: a presiones de selección, a desafíos ambientales y a problemas teóricos. Como respuesta se producen³ variaciones de las *instrucciones* heredadas genéticamente o por tradición, mediante procedimien-

³ Es un problema abierto la cuestión de si uno puede hablar en estos términos ('en respuesta') sobre el nivel genético (compárese mi conjetura acerca de los mutágenos de respuesta en la Sección V). Sin embargo, si no hubiera variaciones, no podría haber evolución o adaptación; y así podemos decir que la ocurrencia de mutaciones está o bien parcialmente controlada por una necesidad de ellas, o bien funciona como si lo estuviera.

tos que al menos en parte son *casuales*. En el nivel genético, tales procedimientos toman la forma de mutaciones y recombinaciones⁴ del código de instrucciones; en el nivel conductual son variaciones provisionales y recombinaciones en el repertorio; en el nivel científico consisten en nuevas y revolucionarias teorías tentativas. En los tres niveles obtenemos nuevas instrucciones tentativas de ensayo; o, dicho brevemente, ensayos tentativos.

Es importante el hecho de que en los tres niveles estos ensayos tentativos sean cambios que se originan *dentro* de la estructura del individuo de una manera más o menos azarosa. La opinión de que *no* son debidos a instrucciones del exterior, del ambiente, está apoyada (aunque sólo débilmente) por el hecho de que muchos organismos similares pueden responder a veces de muy diferentes modos a un mismo y nuevo desafío ambiental.

El siguiente estadio es el de *selección* a partir de las mutaciones y variaciones disponibles: aquellos ensayos tentativos que no se adaptan adecuadamente son eliminados. *Este es el estadio de la eliminación de error*. Sólo las instrucciones de ensayo que están más o menos bien adaptadas son las que sobreviven y son a su vez heredadas. Así podemos hablar de *adaptación por 'el método de ensayo y error'*, o mejor, por el 'método de ensayo y eliminación de error'. La eliminación de error, o de las instrucciones de ensayo insuficientemente adaptadas, es llamada también '*selección natural*': una especie de 'realimentación negativa' que opera en los tres niveles.

Hay que subrayar que en general no puede alcanzarse *ningún estado de equilibrio adaptativo* mediante una aplicación del método de ensayo y eliminación de error, o mediante selección natural. En primer lugar porque no es probable que se presente una solución de ensayo óptima o perfecta para el problema; en segundo lugar —y esto es más importante—, porque la emergencia de nuevas estructuras, o de nuevas instrucciones, lleva consigo un cambio en la situación ambiental. Nuevos elementos ambientales pueden tomarse relevantes; y en consecuencia, nuevas presiones, nuevos desafíos, y nuevos problemas pueden surgir como resultado de los cambios estructurales desarrollados en el interior del organismo.

En el nivel genético el cambio puede consistir en la mutación de un gen, con el consiguiente cambio de una enzima. Ahora bien, la red de enzimas forma el ambiente más íntimo de la estructura del gen. De acuerdo

⁴ Cuando en esta conferencia hablo, por razón de brevedad, de 'mutación', la posibilidad de recombinación está, por supuesto, tácitamente incluida.

con ello, se producirá un cambio en este ambiente íntimo, y con él podrán surgir nuevas conexiones entre el organismo y el medio ambiente más remoto; y por añadidura, nuevas presiones de selección.

Lo mismo sucede en el nivel conductual, ya que la adopción de un nuevo tipo de conducta puede ser asimilada en la mayoría de los casos a la adopción de un nuevo nicho ecológico. Y como consecuencia de ello surgirán nuevas presiones de selección y nuevos cambios genéticos.

En el nivel científico, la adopción tentativa de una nueva conjetura o teoría puede resolver uno o dos problemas, pero invariablemente dará lugar a una serie de *nuevos* problemas; porque una nueva teoría revolucionaria funciona exactamente como un nuevo y potente órgano de sensación. Si el progreso es significativo, entonces los nuevos problemas diferirán de los antiguos: los nuevos estarán situados en un nivel de profundidad radicalmente diferente. Así sucedió, por ejemplo, con la relatividad, con la mecánica cuántica; y sucede justamente ahora, de manera más dramática, con la biología molecular. En cada uno de estos casos, la nueva teoría ha abierto nuevos horizontes de problemas inesperados.

Este es el modo en que, a mi parecer, progresa la ciencia, y nuestro progreso puede ser mejor aquilatado si se comparan nuestros viejos problemas con los nuevos. Si el progreso realizado es importante, entonces los nuevos problemas revestirán un carácter que anteriormente jamás podría haberse imaginado. Habrá problemas más profundos; y además, serán más numerosos. Cuanto más progresamos en el conocimiento, más claramente podemos percibir la inmensidad de nuestra ignorancia.⁵

Resumiré mi tesis.

En los tres niveles considerados, el nivel genético, el conductual, y el científico, operamos con estructuras heredadas que son transmitidas por instrucción mediante código genético o mediante tradición. En los tres niveles nuevas estructuras y nuevas instrucciones surgen debido a los cambios ensayados desde *dentro de la estructura*: por ensayos tentativos que están sujetos a la selección natural o a la eliminación de error.

III

Hasta el presente he venido subrayando las *semejanzas* de funciona-

⁵ La constatación de nuestra ignorancia se ha manifestado claramente como resultado, por ejemplo, de la asombrosa revolución ocasionada por la biología molecular.

miento del mecanismo adaptativo en los tres niveles. Lo cual plantea un problema obvio: ¿qué ocurre con las *diferencias*?

La principal diferencia entre el nivel genético y el nivel conductual es la siguiente. Las mutaciones en el nivel genético no son sólo casuales sino completamente 'ciegas', y esto en dos sentidos:⁶ En primer lugar, no están en modo alguno dirigidas a una meta. En segundo lugar, la supervivencia de una mutación no puede influir en las mutaciones posteriores, ni siquiera en las frecuencias o probabilidades de su ocurrencia. Aunque, indudablemente, la *supervivencia* de una mutación puede a veces determinar qué tipo de mutaciones podrán posiblemente *sobrevivir* en casos futuros. En el nivel conductual, los ensayos son también más o menos casuales, pero ya no son completamente 'ciegos' en ninguno de los dos sentidos mencionados anteriormente. Primeramente porque los ensayos se dirigen hacia metas; y en segundo lugar, porque los animales pueden aprender a partir del resultado de un ensayo: pueden aprender a evitar el tipo de conducta de ensayo que ha desembocado en fracaso. (E incluso pueden evitarlo en casos en los que se da una posibilidad de éxito). De modo similar, pueden también aprender a partir del éxito; y la conducta airada puede ser repetida, aún en los casos en que no es adecuada. No obstante, un cierto grado de 'ceguera' es inherente a todos los ensayos.⁷

La adaptación conductual es usualmente un proceso intensamente activo: el animal —especialmente el animal joven cuando juega— y hasta la planta investigan activamente el medio ambiente.⁸

Esta actividad, en gran parte programada genéticamente, revela a mi

⁶ Para el uso del término 'ciega' (especialmente en el segundo sentido) véase D.T. Campbell, 'Methodological suggestions from a comparative psychology of knowledge processes', *Inquiry* 2, 152-82 (1959); 'Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes', *Psychol. Rev.* 67, 380-400 (1960); y 'Evolutionary epistemology' en *The philosophy of Karl Popper*, The library of living philosophers (ed. P.A. Schilpp), pp. 413-63, The Open Court Publishing Co., La Salle, Illinois (1974).

⁷ Mientras que la 'ceguera' en los ensayos es relativa a lo que hemos hallado en el pasado, lo casual es relativo a una serie de elementos (que forman el 'espacio de muestra'). En el nivel genético estos 'elementos' son las cuatro bases de nucleótidos; en el nivel conductual son los constituyentes del repertorio de conducta del organismo. Estos constituyentes pueden asumir diferentes valoraciones con respecto a diferentes necesidades o metas, y las valoraciones pueden cambiar a través de la experiencia (haciendo disminuir el grado de 'ceguera').

⁸ Para la importancia de la participación activa, véase R. Held y A. Hein, 'Movement-produced stimulation in the development of visually guided behaviour', *J. comp. Physiol. Psychol.* 56, 872-6 (1963); cfr. J.C. Eccles, *Facing reality*, pp. 66-7. La actividad es, al menos parcialmente, una de las hipótesis productivas: véase J. Krechevsky, "'Hypothesis' versus 'chance' in the pre-solution period in sensory discrimination-learning", *Univ. Calif. Publ. Psychol.* 6, 27-44 (1932) (reimpreso en *Animal problem solving* (ed. A.J. Riopelle), pp. 183-97, Penguin Books, Harmondsworth (1967)).

parecer una importante diferencia entre el nivel genético y el nivel conductual. Podría referirme aquí a la experiencia que los psicólogos de la *Gestalt* llaman 'intuición'; una experiencia que acompaña a muchos descubrimientos conductuales.⁹ Sin embargo, no debe pasarse por alto que incluso un descubrimiento al que acompañe la experiencia de la 'intuición' puede ser *erróneo*: todo ensayo, incluso con 'intuición', tiene la naturaleza de una conjetura o de una hipótesis. Los monos de Köhler, como se recordará, porfían a veces con 'intuición' en lo que resulta ser una tentativa errónea para resolver su problema; e incluso grandes matemáticos se han extraviado alguna vez gracias a la intuición. Así, tanto los animales como los hombres tienen que probar sus hipótesis; tienen que utilizar el método de ensayo y eliminación de error.

Por otra parte coincido con Köhler y Thorpe¹⁰ en que los ensayos de solución-de-problemas de los animales no son en general completamente ciegos. Sólo en casos extremos, cuando el problema que afronta el animal no permite la formación de hipótesis, éste recurrirá a tentativas más o menos ciegas y casuales para librarse de una situación desconcertante. Pero incluso en estos intentos, la dirección hacia una meta es usualmente discernible, en franco contraste con las ciegas casualidades de las mutaciones y recombinaciones genéticas.

Otra diferencia entre el cambio genético y el cambio adaptativo con-

⁹ Puedo quizá mencionar aquí algunas de las diferencias entre mis concepciones y las de la *Gestalt*. (Desde luego, yo acepto el hecho de la percepción de la *Gestalt*; sólo mantengo dudas acerca de lo que puede ser denominado filosofía de la *Gestalt*).

Conjeturo que la unidad, o la articulación, de la percepción depende más estrechamente de los sistemas de control motores y de los sistemas neurales eferentes del cerebro que de los sistemas aferentes: que depende más estrechamente del repertorio conductual del organismo. Conjeturo que una araña o un ratón nunca tendrán la intuición (como la tuvo el mono de Köhler) de la posible unidad de dos palos que pueden ser ensamblados, porque manipular palos de este tamaño no está incluido en su repertorio conductual. Todo esto puede ser interpretado como un tipo de generalización de la teoría de las emociones de James-Lange (1884; véase William James, *The principles of psychology*, Vol. 2, pp. 449 ss. (1890), Macmillan and Co., London), ampliando la teoría desde nuestras emociones a nuestras percepciones (especialmente a las percepciones de la *Gestalt*), que de este modo no nos serían 'dadas' (como en la teoría de la *Gestalt*) sino más bien 'construidas' por nosotros mediante claves decodificadoras (comparativamente 'dadas'). El hecho de que las claves puedan extraviar (ilusiones ópticas en el hombre, ilusiones falsas en los animales, etc.) puede ser explicado por la necesidad biológica de imponer nuestras interpretaciones conductuales a claves altamente simplificadas. La conjetura de que nuestro descifrador de lo que los sentidos nos dicen depende de nuestro repertorio conductual, puede explicar parte del abismo que hay entre el hombre y los animales; porque gracias a la evolución del lenguaje humano nuestro repertorio se ha hecho ilimitado.

¹⁰ Véase W.H. Thorpe, *Learning and instinct in animals*, pp. 99 ss., Methuen, London (1956); 1963 edn, pp. 100-47; W. Köhler, *The mentality of apes* (1925), Penguin Books edn, (1957), pp. 166 ss.

ductual consiste en que el primero establece *siempre* una estructura genética rígida y casi inmutable. El segundo, indudablemente, conduce *algunas veces* también a un modelo de conducta completamente rígido que se impone dogmáticamente; radicalmente es así en el caso de la 'inculcación' (Konrad Lorenz); pero en otros casos da lugar a un modelo flexible que permite la diferenciación o la modificación; por ejemplo puede desembocar en una conducta exploratoria, o en lo que Pavlov llamaba la 'libertad refleja'.¹¹

En el nivel científico, los descubrimientos son revolucionarios y creativos. Es evidente que cabe atribuir una cierta creatividad a todos los niveles, incluso al nivel genético: nuevos ensayos que conducen a nuevos ambientes y de este modo a nuevas presiones de selección, crearán nuevos y revolucionarios resultados en todos los niveles, incluso aunque haya fuertes tendencias conservadoras alojadas en los diversos mecanismos de instrucción.

La adaptación genética puede operar, por supuesto, solamente dentro del tiempo que comprende a unas pocas generaciones —como mínimo, digamos, una o dos. En organismos que se multiplican con mucha rapidez, éste puede ser un plazo muy corto; y tal vez no haya sencillamente espacio para una adaptación conductual. Los organismos que se reproducen más lentamente se ven compelidos a inventar adaptaciones conductuales a fin de ajustarse a sí mismos a los rápidos cambios del medio ambiente. Por tanto necesitan un repertorio conductual, con tipos de conducta de mayor o menor ámbito o alcance. Puede ser asumido que el repertorio y el ámbito de los tipos de conducta disponibles están genéticamente programados; y puesto que, como ya he indicado, cabe decir que un nuevo tipo de conducta envuelve la elección de un nuevo nicho ambiental, los nuevos tipos de conducta podrán ser en efecto genéticamente creativos, pues esos cambios pueden a su vez determinar nuevas presiones

¹¹ Véase I.P. Pavlov, *Conditioned reflexes*, esp. pp. 11-12, Oxford University Press (1927). A la vista de lo que Pavlov llama 'conducta exploratoria' y de la estrechamente emparentada 'conducta de libertad' —las dos con base genética, como es obvio— y de la importancia de ellas para la actividad científica, me parece que la actitud de los conductistas, que aspiran a reemplazar el valor de la libertad por lo que ellos llaman 'refuerzo positivo', puede ser síntoma de una inconsciente hostilidad hacia la ciencia. Incidentalmente, lo que B.F. Skinner (cfr. su *Más allá de la libertad y la dignidad*, Barcelona, Fontanella, 1972) llama la 'literatura de la libertad' no surgió como resultado del refuerzo negativo, como él sugiere. Surgió, más bien, con Esquilo y Píndaro, como resultado de las victorias de Maratón y Salamina.

selectivas, y con ello decidir indirectamente sobre la futura evolución de la estructura genética.¹²

En el nivel del descubrimiento científico emergen dos nuevos aspectos. El más importante consiste en que las teorías científicas pueden ser formuladas lingüísticamente, e incluso ser publicadas. Así, se convierten en objetos exteriores a nosotros mismos: objetos abiertos a la investigación. En consecuencia están abiertos a la *crítica*. De este modo, podemos deshacernos de una teoría que no encaja perfectamente antes que la adopción de ella nos haga incapaces de sobrevivir: al criticar nuestras teorías permitimos que mueran en lugar de nosotros. Lo cual es, por supuesto, algo de importancia inmensa.

El otro aspecto está también conectado con el lenguaje. Una de las novedades del lenguaje humano consiste en que estimula la narración de historias, y con ello la *imaginación creativa*. El descubrimiento científico está emparentado con la narración de historias, con la fabricación de mitos y, con la imaginación poética. El desarrollo de la imaginación demanda, sin duda alguna, la necesidad de un cierto control, tal como la crítica inter-personal en el ámbito de la ciencia —la cooperación amistosamente hostil de los científicos que está basada en parte en la competición y en parte en la meta común de acercarse a la verdad. Esto, y el papel jugado por la tradición y la instrucción, agotan a mi entender los principales elementos sociológicos que intrínsecamente están envueltos en el progreso de la ciencia; aunque, sin duda alguna, habría bastante más que decir acerca de los obstáculos sociales al progreso, o de los peligros sociales que el progreso lleva consigo.

¹² Así, la conducta exploratoria y la resolución de problemas crean nuevas condiciones para la evolución de los sistemas genéticos; condiciones que afectan profundamente a la selección natural de estos sistemas. Uno puede decir que una vez que una cierta libertad de conducta ha sido alcanzada —como ha sido alcanzada incluso por organismos unicelulares (véase especialmente la obra clásica de H.S. Jennings, *The behaviour of the lower organisms*, Columbia University Press, New York (1906))—, la iniciativa del organismo en la selección de su ecología o habitat toma la dirección, y la selección natural dentro de ese habitat sigue esa dirección. De este modo, el darwinismo puede simular al lamarckismo, e incluso a la 'evolución creadora' de Bergson. Esto ha sido reconocido por los darwinistas estrictos. Para una brillante presentación y examen de la historia, véase Sir Alister Hardy, *The living stream*, Collins, London (1965), especialmente las conferencias VI, VII, y VIII, donde pueden encontrarse muchas referencias a la literatura inicial, desde James Hutton (que murió en 1797) en adelante (véase pp. 178 ss.). Véase también Ernst Mayr, *Especies animales y evolución*, Ediciones de la Universidad de Chile y Ariel, Barcelona (1968); Erwin Schrödinger, *Mind and Matter*, Cambridge University Press (1958), cap. 2; F.W. Braestrup, 'The evolutionary significance of learning', en *Vidensk. Meddr dansk naturh. Foren.* 134, 89-102 (1971) (con una bibliografía); y también mi primera conferencia Herbert Spencer (1961) ahora en mi *Conocimiento Objetivo*, (1974), Madrid. Tecnos.

IV

He sugerido que el progreso en ciencia, o el descubrimiento científico, depende de la *instrucción* y de la *selección*: de un elemento conservador, tradicional o histórico, y de un uso revolucionario del ensayo y de la eliminación de error mediante la crítica, que incluye severos exámenes o contrastaciones empíricas; es decir, lo que se intenta es probar la posible debilidad de una teoría: se intenta refutarla.

Obviamente, desde el punto de vista personal, el científico desea seguramente establecer su teoría más que refutarla. Pero desde el punto de vista del progreso en ciencia, este deseo puede fácilmente extraviar. Además, si él mismo no examina críticamente su teoría predilecta, otros lo harán por él. Los únicos resultados que considerarán como soporte de la teoría serán los fracasos de intentos interesantes de refutarla: los fracasos en el hallazgo de contra-ejemplos allí donde tales contra-ejemplos podrían ser más esperados a la luz de las mejores teorías que entren en competición. Así pues, no representa necesariamente un gran obstáculo para la ciencia el hecho de que el científico esté sesgado en favor de una teoría predilecta. Sin embargo pienso que Claude Bernard estuvo muy acertado cuando escribió: 'Aquellos que tienen una fe excesiva en sus ideas no son muy aptos para hacer descubrimientos'.¹³

Todo esto forma parte del enfoque crítico de la ciencia, en tanto que opuesto a un enfoque inductivista; o del enfoque darwiniano, eliminacionista o selectivista en tanto que opuesto al enfoque lamarckiano que opera con la idea de *instrucción desde fuera*, desde el medio ambiente; mientras que el crítico o selectivista sólo reconoce la *instrucción desde dentro* —desde el interior de la propia estructura.

De hecho sostengo que *no hay nada semejante a una instrucción desde fuera de la estructura*, o la pasiva recepción de un flujo de información que sea impreso en nuestros órganos sensoriales. Todas las observaciones están impregnadas de teoría: no hay observaciones puras, desinteresadas y libres de teoría. (Para cerciorarnos, podemos intentar comparar, usando un poco de imaginación, la observación humana con la de una hormiga o la de una araña).

Francis Bacon estaba en lo cierto al preocuparse por el hecho de que nuestras teorías pudieran influir sobre nuestras observaciones. Esto le lle-

¹³ Citado por Jacques Hadamard, *The psychology of invention in the mathematical field*, Princeton University Press (1945). y Dover edition (1954), p. 48.

vó a aconsejar a los científicos que liberasen sus mentes de toda teoría para evitar los prejuicios. Todavía se dan consejos similares.¹⁴ Pero la objetividad no se alcanza a través de una mente vacía: la objetividad se apoya en la actitud crítica, en la discusión crítica, y en el examen crítico de los experimentos.¹⁵ Y hemos de reconocer, de modo particular, que en nuestros propios órganos sensoriales se esconde la raíz misma de lo que conduce al prejuicio. Anteriormente (en la Sección II) he mantenido que las teorías son semejantes a los órganos sensoriales. Ahora deseo señalar que nuestros órganos sensoriales son semejantes a las teorías. Estos órganos sensoriales incorporan teorías adaptativas (como se ha demostrado en el caso de los conejos y los gatos). Y estas teorías son el resultado de la selección natural.

V

Sin embargo, ni siquiera Darwin o Wallace, por no mencionar a Spencer, se percataron de que no hay instrucción desde fuera. No utilizaron argumentos puramente seleccionistas. De hecho, frecuentemente argumentaron en una línea lamarckiana.¹⁶ Con lo cual parece que se equivocaron. Todavía puede valer la pena especular sobre los límites posibles del darwinismo; ya que siempre deberíamos andar a la búsqueda de posibles alternativas para cualquier teoría dominante.

Creo que en este punto habría que hacer dos observaciones. La primera consiste en que el argumento contra la herencia genética de caracteres adquiridos (tales como mutilaciones) depende de la existencia de un

¹⁴ Los psicólogos conductistas que investigan 'el sesgo introducido por el experimentador' han hallado que algunas ratas albinas actúan decididamente mejor que otras si el experimentador está convencido (incorrectamente) de que las primeras pertenecen a un grupo seleccionado por su superior inteligencia; véase 'The effect of experimenter bias on the performance of the albino rat' en, *Behav. Sci.* 8, 183-9 (1963). La lección sacada por los autores de este artículo es que los experimentos deberían ser hechos por 'ayudantes de investigación que no supiesen cuál es el resultado deseado' (p. 188). Al igual que Bacon, estos autores cifran sus esperanzas en la mente vacía, olvidando que el propio director de la investigación puede transmitir a sus ayudantes sus personales expectativas, sin necesidad de una revelación explícita, del mismo modo en que al parecer cada ayudante las ha transmitido a sus ratas.

¹⁵ Compárese con mi *Lógica de la Investigación científica* (Madrid, Tecnos: 1962), Sección 8, y mi *Conocimiento objetivo* (Madrid: Tecnos, 1974).

¹⁶ Es interesante que Charles Darwin en sus últimos años creyera en la herencia ocasional incluso de mutilaciones. Véase su *The variation of animals and plants under domestication*, 2nd edn, vol. i, pp. 466-70 (1875).

mecanismo genético en el que haya una aguda y neta distinción entre la estructura del gen y la parte restante del organismo: el soma. Pero este mecanismo genético debe ser a su vez un producto tardío de la evolución, y estar precedido sin la menor sombra de duda por otros diversos mecanismos de un tipo menos sofisticado. Además, ciertos tipos muy especiales de mutilaciones *son* heredados; en particular las mutilaciones de la estructura del gen debidas a la radiación. Así, si suponemos que el primitivo organismo era un gen desnudo, entonces podemos incluso afirmar que cada mutilación no-lethal de este organismo podría ser heredada. Lo que no podemos decir es que este hecho contribuya de algún modo a una explicación de la adaptación genética, o del aprendizaje genético, excepto indirectamente, por la vía de la selección natural.

La segunda observación consiste en que podemos considerar la muy tentativa conjetura de que, como respuesta somática a ciertas presiones ambientales se produce un somagen químico, aumentando con ello lo que se denomina tasa de mutación espontánea. Esto sería una especie de efecto semilamarckiano, aun cuando la *adaptación* continuaría procediendo por eliminación de mutaciones, es decir, por selección natural. Por supuesto, puede que esta conjetura no tenga demasiada viabilidad, ya que al parecer la tasa de mutación espontánea es suficiente para la evolución adaptativa.¹⁷

He introducido aquí estas dos observaciones meramente como advertencia contra una adhesión demasiado dogmática al darwinismo. Sin duda alguna yo admito que el darwinismo es correcto, incluso en el nivel del descubrimiento científico; y que es correcto incluso más allá de este nivel: en el nivel de la creación artística. No descubrimos nuevos hechos o nuevos efectos por el simple recurso de copiarlos, o por inferirlos inductivamente a partir de la observación, o por cualquier otro método de instrucción que nos venga del medio ambiente. Utilizamos más bien el método de ensayo y eliminación de error. Como dice Ernst Gombrich: 'La creación viene antes que la competición'.¹⁸ La producción activa de una nue-

¹⁷ Que yo sepa, no se conocen mutagenes específicos (que actúen selectivamente, tal vez sobre una secuencia de codones particular más bien que sobre otras). Sin embargo, difícilmente sorprendería su existencia en este campo de sorpresas; y estos mutagenes podrían explicar las 'zonas de ebullición' mutacionales. En cualquier caso, parece haber una dificultad real en concluir, a partir de la ausencia de mutagenes específicos conocidos, que esos mutagenes no existen. Así, me parece que el problema sugerido en el texto (la posibilidad de una reacción ante ciertas presiones mediante la producción de mutagenes) está aún abierto.

¹⁸ Cf. Ernst Gombrich, *Arte e ilusión*, Barcelona: G. Gili; 1969. (Véase el Índice, bajo la entrada 'creación y competición').

va estructura de ensayo viene antes que su exposición a las pruebas de eliminación.

VI

Yo sugiero por tanto, que concibamos el modo en que progresa la ciencia un poco en la línea de las teorías de la formación de anticuerpos de Niels Jerne y Sir Macfarlane Burnet.¹⁹ Las primeras teorías de la formación de anticuerpos suponían que el antígeno funcionaba como un modelo negativo para la formación de aquéllos. Esto significaría que hay una *instrucción desde fuera*, desde el anticuerpo invasor. La idea fundamental de Jerne era que la instrucción o información que permitía al anticuerpo reconocer el antígeno es literalmente innata: que es parte de la estructura del gen, aunque está posiblemente sujeta a un repertorio de variaciones mutacionales. Esta información es transmitida por el código genético, por los cromosomas de las células especializadas que producen los anticuerpos; y la reacción de inmunidad es resultado de la creciente estimulación transmitida a esas células por el complejo anticuerpo-antígeno. Así, estas células son *seleccionadas* gracias a la ayuda del entorno invasor (es decir, con la ayuda de un antígeno) en lugar de ser instruidas. (La analogía con la selección —y la modificación— de las teorías científicas está perfectamente contemplada por Jerne, quien en este contexto se refiere a Kierkegaard, y a Sócrates en el *Menón*).

Con esta observación concluyo mi discusión de los aspectos biológicos del progreso en la ciencia.

VII

Impávido ante las teorías de la evolución cosmológica de Herbert Spencer, intentaré ahora perfilar la importancia cosmológica del contraste

¹⁹ Véase Niels Kai Jerne, 'The natural selection theory of antibody formation'; diez años más tarde, en *Phage and the origin of molecular biology* (ed. J. Cairns et. al.), pp. 301-12 (1966); también 'The natural selection theory of antibody formation' en, *Proc. natn. Acad. Sci.* 41, 849-57 (1955); 'Immunological speculations', en *A. Rev. Microbiol.* 14, 341-58 (1960); 'The immune system', *Scient. Am.* 229, 52-60. Véase también Sir Macfarlane Burnet, 'A modification of Jerne's theory of anti-body production, using the concept of clonal selection', en *Aust. J. Sci.* 20, 67-9 (1957); *The clonal selection theory of acquired immunity*, Cambridge University Press (1959).

entre la instrucción desde el interior de la estructura y la selección desde fuera, por la eliminación de ensayos.

A este fin, podemos observar en primer lugar la presencia en la célula de la estructura del gen, de la instrucción codificada, y de varias subestructuras químicas,²⁰ estas últimas en movimiento browniano casual. El proceso de instrucción mediante el cual se replica el gen procede como sigue. Las diversas subestructuras son transportadas (por el movimiento browniano) hasta el gen de una manera casual, y aquellas que son adecuadas no pueden unirse a la estructura del DNA, mientras que las adecuadas se *unen* (con la ayuda de las enzimas). Mediante este proceso de ensayo y selección²¹ se forma una especie de negativo o complemento fotográfico de la instrucción genética. Posteriormente este complemento se separa de la instrucción original; y por un proceso análogo, forma de nuevo su negativo. Este negativo del negativo se transforma en una copia idéntica de la instrucción positiva original.²²

El proceso selectivo que subyace a la replicación es un mecanismo de trabajo rápido. Se trata esencialmente del mismo mecanismo que opera en la mayoría de los casos de síntesis químicas, y también, especialmente, en procesos como el de cristalización. Pero aunque el mecanismo subyacente es selectivo y opera por ensayos casuales y por eliminación de error, sigue

²⁰ Lo que yo llamo 'estructuras' y 'subestructuras' son denominadas 'integrone' por Francois Jacob, *La lógica de lo viviente: Una historia de la herencia*, pp. 325-49, Barcelona: Laia, 1973.

²¹ Algo debería decirse aquí sobre la estrecha conexión que hay entre 'el método de ensayo y eliminación de error' y la 'selección': toda selección es eliminación de error; y lo que queda —después de la eliminación— como 'seleccionado' son meramente aquellos ensayos que no han sido eliminados *hasta ahora*.

²² La principal diferencia de un proceso de reproducción fotográfica es que la molécula de DNA no es bi-dimensional sino lineal: una larga cadena de cuatro tipos de subestructuras ('bases'). Estos tipos pueden ser representados por puntos coloreados de rojo o verde, azul o amarillo. Los cuatro colores básicos son paralelamente negativos (o complementos) entre sí. Así el negativo o complemento de una cadena consistiría en otra cadena en la cual el rojo es reemplazado por el verde, y el azul por el amarillo; y viceversa. Aquí los colores representan las cuatro letras (bases) que constituyen el alfabeto del código genético. Por tanto el complemento de la cadena original contiene una especie de traducción de la información original a otro código muy estrechamente emparentado con el primero; y el negativo de este negativo contiene a su vez la información original, establecida en términos del código original (el genético).

Esta situación es utilizada en la replicación, cuando primeramente un par de cadenas complementarias se separan y cuando luego se forman dos parejas a medida que cada una de las cadenas se anexiona selectivamente un nuevo complemento. El resultado es la replicación de la estructura original, *por medio de la instrucción*. Un método muy similar es utilizado en la segunda de las dos principales funciones del gen (DNA): el control, por medio de la instrucción, de la síntesis de proteínas. Aunque el mecanismo subyacente de este segundo proceso es más complicado que el de la replicación, es similar en principio.

funcionando aún como parte de lo que es claramente un proceso de instrucción más que de selección. Indudablemente, debido al carácter casual de los movimientos implicados, los procesos de unión se realizarán cada vez de un modo ligeramente diferente. A pesar de ello, los resultados son precisos y conservadores: esos resultados están esencialmente determinados por la estructura original.

Si ahora buscamos procesos similares en una escala cósmica, surge una extraña imagen del mundo que abre una multitud de problemas. Se trata de un mundo dual: un mundo de estructuras en movimiento caóticamente distribuido. Las estructuras pequeñas (como las llamadas partículas elementales) se agrupan en estructuras mayores; y todo ello se realiza principalmente por el movimiento casual o caótico de las pequeñas estructuras, bajo condiciones especiales de presión y temperatura. Las estructuras de mayor tamaño pueden ser átomos, moléculas, cristales, organismos, estrellas, sistemas solares, galaxias, y racimos galácticos. Muchas de estas estructuras parecen tener un efecto seminal, como las gotas de agua en una nube o los cristales en una solución, y pueden persistir o desaparecer por selección. Algunas de ellas —tales como los cristales aperiódicos de DNA²³, que constituyen la estructura genética de los organismos y, por ende, sus instrucciones de construcción— son extremadamente raras y realmente muy preciosas.

Encuentro que este dualismo es fascinante: me refiero a la extraña imagen dualista de un mundo físico que consiste en estructuras comparativamente estables —o más bien en procesos estructurales— a todos los micro y macroniveles; y en subestructuras en todos los niveles sujetas a un movimiento aparentemente caótico o distribuido de manera casual: un movimiento casual que proporciona parte del mecanismo que sustenta a estas estructuras y subestructuras, y mediante el cual pueden esparcirse por vía de instrucción y crecer y multiplicarse por vía de selección e instrucción. Esta fascinante imagen dualista es compatible —aunque totalmente diferente— con la conocida imagen dualista de la indeterminación del mundo en la esfera de lo pequeño presentada por el indeterminismo de la mecánica cuántica, y la determinación en la esfera de lo grande que presenta el determinismo macrofísico. De hecho, resulta como si la existencia de estructuras que se encargan de la instrucción, y que introducen algo así como estabilidad en el mundo, depende en gran medida de efectos cuánti-

²³ El término 'cristal aperiódico' (a veces también 'sólido aperiódico') es debido a Schrödinger; véase su *¿Qué es la vida?* Buenos Aires: Espasa-Calpe, 1947; cfr. *¿Qué es la vida?* y *Mind and matter*, Cambridge University Press, (1967).

cos.²⁴ Esto parece ser válido para estructuras de los niveles atómico, molecular, cristalino, orgánico, e incluso del estelar (pues la estabilidad de las estrellas depende de las reacciones nucleares), mientras que para explicar los movimientos casuales podemos apelar al clásico movimiento browniano y a la hipótesis clásica del caos molecular. Así pues, en esta dualista imagen de orden sostenido por desorden, o de estructura sostenida por la casualidad, el papel jugado por los efectos cuánticos y por los efectos clásicos parece ser casi el opuesto de aquel que se da en las imágenes más tradicionales.

²⁴ Que las estructuras moleculares y atómicas tienen algo que ver con la teoría cuántica es algo casi trivial, considerando que las peculiaridades de la mecánica cuántica (tales como estados propios y valores propios) fueron introducidas en la física para explicar la estabilidad estructural de los átomos.

La idea de que la 'totalidad' estructural de los sistemas biológicos tiene también algo que ver con la teoría cuántica fue primero discutida, supongo, en un pequeño pero gran libro de Schrödinger *¿Qué es la vida?* [1944] que, debe decirse, anticipó tanto el nacimiento de la biología molecular como la influencia de Max Delbrück en su desarrollo. En este libro Schrödinger adopta conscientemente una actitud ambivalente respecto al problema de si la biología resultará ser o no ser reducible a la física. En el capítulo 7, '¿Está la vida basada en las leyes de la física?', dice (acerca de la materia viviente) en primer lugar que 'hemos de estar preparados para encontrar que opera de una manera que no puede ser reducida a las leyes ordinarias de la física' (*¿Qué es la vida?* y *Mind and matter*, p. 81). Pero poco después afirma que 'el nuevo principio' (es decir, 'orden a partir de orden') 'no es ajeno a la física': 'no es otra cosa que el principio de la física cuántica nuevamente' (en la forma del principio de Nernst) (*¿Qué es la vida?* y *Mind and matter*, p. 88). Mi actitud es también ambivalente: por un lado, no creo en la reductibilidad completa; por otro, pienso que *la reducción debe ser intentada*; pues aunque es probable que el intento sólo triunfaría parcialmente, incluso un éxito muy parcial sería un gran éxito.

Así pues mis observaciones en el texto a las que se adjuntó esta nota (y que he dejado sustancialmente inalteradas) no fueron pronunciadas como exposición de reduccionismo: todo lo que yo quise decir fue que la teoría cuántica parece estar envuelta en el fenómeno de 'estructura' o de 'orden a partir de orden'.

Sin embargo, estas observaciones no fueron lo suficientemente claras, ya que en la discusión después de la conferencia el profesor Hans Motz rebatió lo que creía ser mi reduccionismo remitiéndose a uno de los artículos de Eugene Wigner ('The probability of the existence of a self-reproducing unit', cap. 15 de su *Symmetries and reflections: scientific essays*, pp. 200-8, M.I.T. Press (1970)). En este artículo Wigner ofrece un tipo de prueba para la tesis de que la probabilidad de que un sistema cuántico teórico contenga un subsistema que se reproduzca a sí mismo es cero. (O, dicho de manera más precisa, hay una probabilidad de cero de que un sistema cambie de tal manera que en un tiempo dado contenga un cierto subsistema y posteriormente contenga un segundo subsistema que es una copia del primero). Desde su primera publicación en 1961, este argumento de Wigner me ha tenido intrigado; y en mi réplica a Motz advertí que la prueba de Wigner me pareció refutada por la existencia de máquinas "Xerox" (o por el desarrollo de cristales), que deben ser consideradas como mecánica cuántica más bien que como sistemas "biotónicos". (Puede argumentarse que una fotocopidora Xerox o un cristal no se reproducen a sí mismos con suficiente precisión; pero lo más sorprendente del artículo de Wigner es que no hace referencia a los grados de precisión, y que la absoluta exactitud o la 'al parecer virtualmente absoluta seguridad', como él dice en la p. 208 —que no es exigida— parece quedar excluida inmediatamente por el principio de Pauli). No creo que la reductibilidad de la biología a la física o su irreductibilidad pueda ser demostrada; en cualquier caso, no actualmente.

VIII

Hasta el presente he considerado el progreso en la ciencia principalmente desde un punto de vista biológico; sin embargo, me parece que las dos siguientes observaciones lógicas son cruciales.

En primer lugar, para que una nueva teoría constituya un descubrimiento o un paso hacia adelante deberá entrar en conflicto con su predecesora, es decir, deberá conducir al menos a algunos resultados conflictivos. Pero esto significa, desde un punto de vista lógico, que deberá contradecir²⁵ a su predecesora: deberá derrocarla.

En este sentido, el progreso en la ciencia —o al menos el progreso espectacular— es siempre revolucionario.

Mi segunda observación es que el progreso en la ciencia, pese a ser revolucionario más bien que meramente acumulativo,²⁶ es en un cierto sentido siempre conservador: una nueva teoría, por revolucionaria que sea, debe siempre ser capaz de explicar plenamente el éxito de su predecesora. En todos aquellos casos en que su predecesora era aplicable, la nueva teoría debe producir resultados por lo menos tan buenos como los de la anterior, y, de ser posible, aún mejores. Así pues, en estos casos la teoría precedente debe aparecer como una buena aproximación a la nueva teoría; mientras que habrá sin duda alguna otros casos en los que la teoría reciente producirá resultados diferentes y mejores que la antigua.²⁷

²⁵ Así la teoría de Einstein *contradice* a la teoría de Newton (aunque contiene a la teoría de Newton como una aproximación): a diferencia de la teoría de Newton, la de Einstein muestra por ejemplo que en campos gravitacionales fuertes no puede darse una órbita elíptica kepleriana con una apreciable excentricidad sin la correspondiente precesión del perihelio (tal como el observado de Mercurio).

²⁶ Incluso el coleccionar mariposas está *impregnado-de-teoría* ('mariposa' es un término *teórico*, como lo es 'agua': el término envuelve una serie de expectativas). La reciente acumulación de evidencia concerniente a las partículas elementales puede ser interpretada como una acumulación de falsificaciones de la primitiva teoría electromagnética de la materia.

²⁷ Puede hacerse una demanda incluso más radical; pues podemos exigir que si cambiasen las aparentes leyes de la naturaleza, entonces la nueva teoría, inventada para explicar las nuevas leyes, debería ser capaz de explicar el estado de la cuestión antes y después del cambio, como también el cambio mismo, a partir de leyes universales y condiciones iniciales (cambiantes) (cfr. mi *Lógica de la investigación científica*, sección 79, esp. p. 235).

Al establecer estos dos criterios lógicos para el progreso, estoy rechazando implícitamente la sugerencia (anti-racionalista) en boga de que dos teorías diferentes tales como la de Newton y la de Einstein son inconmensurables. Puede ser cierto que dos científicos con una actitud verificacionista hacia sus teorías favoritas (p. ej., físicos newtonianos y einsteinianos) sean incapaces de entenderse entre sí. Pero si sus actitudes son críticas (como lo fueron Newton y Einstein) entenderán ambas teorías, y sabrán ver de qué modo se relacionan ambas. Véase, para este problema, la excelente discusión de la comparabilidad de las teorías de Newton y de Einstein presentada por

El punto importante en los dos criterios lógicos que he expuesto reside en que ellos nos permiten decidir respecto a cualquier nueva teoría, incluso antes de que haya sido contrastada, si ésta será mejor que la antigua, supuesto que sobreviva a las contrastaciones. Pero esto significa que, en el campo de la ciencia, contamos con algo así como un criterio para juzgar la calidad de una teoría en comparación con su predecesora, y por consiguiente un criterio de progreso. Y por tanto, esto significa que el progreso en la ciencia puede ser asentado de manera racional.²⁸ Esta posibilidad explica por qué, como una cuestión de hecho histórico, la historia de la ciencia es, con mucho, una historia de progresos. (La ciencia parece ser el único campo de la praxis humana que permite semejante afirmación).

Como antes he indicado, el progreso científico es revolucionario. Ciertamente su lema podría ser el de Karl Marx: 'Revolución permanente'. Sin embargo, las revoluciones científicas son racionales en el sentido de que, en principio, es racionalmente decidible si una nueva teoría es o no mejor que su predecesora. Por supuesto esto no quiere decir que no podamos equivocarnos. Hay muchos modos de cometer errores.

Un ejemplo de error muy interesante es el presentado por Dirac.²⁹ Schrödinger halló, pero no publicó, una ecuación relativista del electrón, —más tarde llamada la ecuación de Klein-Gordon— antes de que hallara y publicara la famosa ecuación no-relativista que hoy lleva su nombre. No publicó la ecuación relativista porque ésta no parecía concordar con los resultados experimentales interpretados según la teoría precedente. Sin embargo, la discrepancia era debida a una errónea interpretación de los re-

Troels Eggers Hansen en su artículo 'Confrontation and objectivity', *Danish Yb. Phil.* 7, 13-72 (1972).

²⁸ Las exigencias lógicas discutidas aquí (cfr. cap. 10 de mi *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*, y cap. 5 de *Conocimiento objetivo*), aunque me parecen de una importancia fundamental, no agotan desde luego lo que puede ser dicho acerca del método racional de la ciencia. Por ejemplo, en mi *Postscript* (que se encuentra en pruebas de imprenta desde 1957, pero que espero aún publicar algún día) [aparecido en 1982; traducción castellana en prensa en Editorial Tecnos] he desarrollado una teoría de lo que yo llamo programas metafísicos de investigación. Habría que decir que esta teoría no colisiona en absoluto con la teoría de la contrastación y la del avance revolucionario de la ciencia que he trazado aquí. Como ejemplo allí ofrecido de un programa metafísico de investigación figura el uso de la teoría de la probabilidad como propensión, que parece tener un amplio rango de aplicaciones.

Lo que digo en el texto no debe ser tomado en el sentido de que la racionalidad depende de la posesión de un criterio de racionalidad. Compárese mi crítica de 'filosofías del criterio' en Addendum I, Facts, standards, and truth, al Vol. II de mi *Sociedad abierta* [este Addendum no está recogido en ninguna de las traducciones castellanas].

²⁹ La historia es presentada por Paul A.M. Dirac, 'The evolution of the physicist's picture of nature', en, *Scient. Am.* 208, No. 5, 45-53 (1963); véase esp. p. 47.

sultados empíricos, y no a un error en la ecuación relativista. Si Schrödinger la hubiese publicado, el problema de la equivalencia entre su mecánica ondulatoria y la mecánica de matrices de Heisenberg y Born no habría surgido; y la historia de la física moderna habría sido muy diferente.

Debería ser obvio que la objetividad y la racionalidad del progreso en ciencia no son debidas a la racionalidad y objetividad personal del científico.³⁰ La gran ciencia y los grandes científicos, al igual que los grandes poetas, están a menudo inspirados por intuiciones no racionales. É igualmente sucede con los grandes matemáticos. Como Poincaré y Hadamard han señalado,³¹ una prueba matemática puede ser descubierta por ensayos inconscientes, guiados por una inspiración de carácter decididamente estético más bien que por un pensamiento racional. Esto es cierto e importante. Pero obviamente eso no hace que el resultado, la prueba matemática, sea irracional. En cualquier caso, una prueba propuesta tiene que ser capaz de resistir ante una discusión crítica: afrontar el examen a que puedan someterla matemáticos competentes. Lo cual puede muy bien inducir al matemático que la inventó a contrastar, racionalmente, aquellos resultados que alcanzó de una manera inconsciente o intuitiva. De modo similar, los bellos sueños pitagóricos sobre la armonía del sistema del mundo que alimentó Keplero no invalidaron la objetividad, la contrastabilidad, y la racionalidad de sus tres leyes; como tampoco la racionalidad del problema que estas leyes plantearon para una teoría explicativa.

Con esto concluyo mis dos observaciones lógicas sobre el progreso de la ciencia. Pasaré ahora a la segunda parte de mi conferencia, y con ella a tratar cuestiones que podrían ser descritas parcialmente como sociológicas, y que se refieren a los *obstáculos* al progreso en la ciencia.

IX

Pienso que los principales obstáculos al progreso en la ciencia son de naturaleza social, y que pueden ser divididos en dos grupos: obstáculos económicos y obstáculos ideológicos.

En el aspecto económico, es obvio que la pobreza constituye un obstá-

³⁰ Cfr. mi crítica de la llamada 'sociología del conocimiento' en el cap. 23 de mi *Sociedad abierta* (B. Aires: Paidós, 1957) y pp. 171 s. de mi *Miseria del historicismo* (Madrid: Taurus, 1961).

³¹ Cfr. Jacques Hadamard, *The psychology of invention in the mathematical field* (véase nota 13 anteriormente)

culo (aunque a pesar de la pobreza se han realizado grandes descubrimientos teóricos y experimentales). En años recientes, sin embargo, se ha puesto bien de manifiesto que la opulencia puede ser también un obstáculo: la abundancia de dólares puede desembocar en una escasez de ideas. Indudablemente, incluso bajo semejantes circunstancias adversas, *puede* lograrse el progreso. Pero el espíritu de la ciencia está en peligro. La *Big Science* puede destruir a la gran ciencia, y la explosión de publicaciones acabar con las ideas: las ideas, que son extremadamente raras, pueden quedar sumergidas en la marea. El peligro es muy real, y apenas si hay necesidad de extenderse sobre él, aunque tal vez deba citar a Eugene Wigner, uno de los primeros héroes de la mecánica cuántica, quien observa tristemente:³² 'El espíritu de la ciencia ha cambiado'.

Ciertamente es éste un capítulo amargo. Pero como todo es demasiado evidente, no diré nada más acerca de los obstáculos económicos al progreso de la ciencia; en su lugar, voy a exponer algunos de los obstáculos ideológicos.

X

El más ampliamente reconocido de los obstáculos ideológicos lo constituye la intolerancia ideológica o religiosa, usualmente combinada con el dogmatismo y la falta de imaginación. Los ejemplos históricos son tan de sobra conocidos que no es preciso insistir en ellos. Sin embargo, convendría advertir que hasta la supresión puede coadyuvar al progreso. El martirio de Giordano Bruno y el juicio a Galileo pudieran a la larga haber hecho más por el progreso de la ciencia de lo que la inquisición pudo hacer contra él.

El extraño caso de Aristarco y la original teoría heliocéntrica alumbran quizá un problema diferente. A causa de su teoría heliocéntrica Aristarco fue acusado de impiedad por Cleantes, un estoico. Pero esto difícilmente explica el abandono de la teoría. Tampoco puede afirmarse que la teoría era demasiado audaz. Sabemos que, un siglo después de haberse expuesto por primera vez, la teoría de Aristarco fue sostenida por al menos un muy respetado astrónomo (Seleuco).³³ Y sin embargo, por alguna oscura razón, sólo unos pocos y breves informes acerca de la teoría han sobrevivido.

³² Una conversación con Eugene Wigner, *Science* 181, 527-33 (1973); véase p. 533.

³³ Para Aristarco y Seleuco véase Sir Thomas Heath, *Aristarchus of Samos*, Clarendon Press, Oxford (1966).

Aquí tenemos un caso claro del fracaso demasiado frecuente en mantener en vigor ideas alternativas.

Cualesquiera que sean los detalles de la explicación, el fracaso se debió probablemente al dogmatismo y la intolerancia. Pero las nuevas ideas deberían considerarse como un precioso don, y ser cuidadosamente fomentadas; especialmente si parecen ser un tanto atrevidas. No sugiero que debemos estar predispuestos a aceptar nuevas ideas *justamente* a causa de su novedad. Pero sí que nos debería preocupar la eliminación de una nueva idea, incluso aunque no nos parezca demasiado buena.

Son numerosos los ejemplos de ideas olvidadas; tal ocurre con la idea de evolución anteriormente a Darwin, o a la teoría de Mendel. Puede aprenderse mucho sobre los obstáculos al progreso de la ciencia a partir de la historia de estas ideas olvidadas. Un caso interesante es el del físico vienes Arthur Haas, quien en 1910 se anticipó en parte a Niels Bohr. Haas publicó una teoría del espectro del hidrógeno basada en una cuantización del modelo atómico de J.J. Thomson: El modelo de Rutherford no existía aún. Haas parece haber sido el primero en introducir el cuanto de acción de Planck en la teoría atómica con el propósito de derivar las constantes espectrales. A pesar de su uso del modelo atómico de Thomson, Haas estuvo muy cerca del éxito en su derivación; y como Max Jammer explica con detalle, parece bastante posible que la teoría de Haas (que fue tomada en serio por Sommerfeld) influyese indirectamente en Niels Bohr.³⁴ En Viena, sin embargo, se rechazó rápidamente esta teoría; fue ridiculizada y desacreditada como broma estúpida por Ernst Lecher (cuyos primeros experimentos habían impresionado a Heinrich Hertz),³⁵ uno de los profesores de física de la Universidad de Viena, a cuyas mediocres y no muy inspiradas clases asistí ocho o nueve años más tarde.

Un lejano y más sorprendente caso, descrito también por Jammer,³⁶ es el rechazo en 1913 de la teoría del fotón de Einstein, publicada por vez primera en 1905, y por la cual recibiría el premio Nobel en 1921. Este rechazo de la teoría del fotón aparecía en un párrafo de un escrito de petición en el que se recomendaba a Einstein para que ingresara como miem-

³⁴ Véase Max Jammer, *The conceptual development of quantum mechanics*, pp. 40-2, Mc Graw-Hill, New York (1966).

³⁵ Véase Heinrich Hertz, *Electric waves*, Macmillan and Co., London (1894); Dover edn, New York (1962), pp. 12, 187 s., 273.

³⁶ Véase Jammer, *op. cit.*, pp. 435, y Théo Kahan, Un document historique de l'académie des sciences de Berlin sur l'activité scientifique d'Albert Einstein (1913), *Archs. int. Hist. Sci.* 15, 337-42 (1962); véase esp. p. 340.

bro de la Academia de Ciencia prusiana. El documento, que estaba firmado por Max Planck, Walther Nernst, y otros dos famosos físicos, era muy laudatorio, y en él se rogaba que un desliz de Einstein (tal como obviamente consideraban a su teoría del fotón) no fuese utilizado como arma contra él. Esta alegre manera de rechazar una teoría que, en el mismo año, salió airosa de un severo contraste experimental emprendido por Millikan, tiene sin duda alguna un aspecto humorístico; pero debería ser considerada como un glorioso incidente en la historia de la ciencia, en el que se muestra que incluso un rechazo un tanto dogmático por parte de los más grandes especialistas entonces vivientes pudo ir mano a mano con una apreciación indicativa de la liberalidad de ánimo que los acompañaba: estos hombres no soñaron con suprimir lo que ellos creían ser erróneo. En efecto, los términos de la disculpa por el desliz de Einstein son muy interesantes e ilustrativos. El pasaje relevante de la petición dice de Einstein: 'El hecho de que a veces pueda haber ido demasiado lejos en sus especulaciones, como por ejemplo en su hipótesis de los quanta de luz, no debe esgrimirse con demasiada severidad contra él. Porque nadie puede introducir, incluso en la más exacta de las ciencias naturales, ideas que sean realmente nuevas sin tener que correr a veces ciertos riesgos'.³⁷ Uno siempre ha de correr el riesgo de equivocarse, pero también el riesgo más trivial de ser mal comprendido o erróneamente juzgado.

No obstante, este ejemplo muestra drásticamente que incluso los grandes científicos no consiguen a veces sustentar esa actitud autocrítica que les prohibiría sentirse demasiado seguros de sí mismos en el momento de emitir un juicio negativo sobre ciertas cosas.

Sin embargo, el progreso exige una cierta dosis de dogmatismo: sin una seria lucha por la supervivencia en la que sean tenazmente defendidas las antiguas teorías, ninguna de las teorías competidoras puede mostrar su brío; es decir, su poder de explicación y su contenido de verdad. Sin embargo, el dogmatismo intolerante es uno de los principales obstáculos para la ciencia. Ciertamente, no sólo debemos mantener vivas las teorías alternativas mediante la discusión de ellas, sino que también deberíamos buscar sistemáticamente alternativas nuevas; y deberíamos sentirnos preocupados siempre que echásemos en falta la presencia de nuevas teorías alternativas —siempre que una teoría dominante se tornase demasiado exclusiva. El peligro para el progreso de la ciencia incrementa considerablemente si la teoría en cuestión consigue algo parecido a un monopolio.

³⁷ Compárese con la traducción ligeramente diferente de Jammer, loc. cit.

XI

Pero hay incluso un peligro mayor: una teoría, incluso una teoría científica, puede convertirse en una moda intelectual, un sustituto de la religión, una ideología establecida. Y con esto entramos en el punto principal de esta segunda parte de mi conferencia —la parte que trata de los obstáculos al progreso en la ciencia: la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas.

Porque además del problema siempre importante del dogmatismo y el estrechamente conectado problema de la intolerancia ideológica, hay otro diferente y, a mi entender, más interesante. Me refiero al problema que surge a partir de la existencia de ciertos vínculos entre ciencia e ideología; vínculos que están ahí, pero que han llevado a algunos a mezclar ciencia e ideología, y a confundir la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas.

Pienso que éste es un problema serio en un tiempo en que los intelectuales, incluyendo a los científicos, son propensos a caer en ideologías y modas intelectuales. Ello puede muy bien ser debido al ocaso de la religión, o a las insatisfechas e inconscientes necesidades religiosas de nuestra sociedad huérfana.³⁸ A lo largo de mi vida he sido testigo, prescindiendo completamente de los diversos movimientos totalitarios, de una serie considerable de movimientos de índole intelectual y pretendidamente no-religiosos que encerraban elementos cuyo carácter religioso es inconfundible una vez se tienen abiertos los ojos.³⁹ El mejor de estos movimientos fue aquel que estaba inspirado por la patriarcal figura de Einstein. Era el mejor de ellos gracias a la actitud fuertemente autocrítica y siempre modesta del propio Einstein, a lo cual se añadían su humanidad y tolerancia. Sin embargo, más adelante volveré a insistir en lo que a mi parecer son los rasgos menos satisfactorios de la revolución ideológica einsteiniana.

No soy un esencialista, y no discutiré aquí sobre la esencia o naturaleza de las 'ideologías'. Meramente estableceré de un modo general y vago que voy a utilizar el término 'ideología' para referirme a *cualquier* teoría

³⁸ Nuestras sociedades occidentales por su estructura no satisfacen la necesidad de la figura de un padre. He discutido brevemente el problema que surge de este hecho en mis conferencias William James en Harvard (1950) (no publicadas). Mi reciente amigo, el psicoanalista Paul Federn, me mostró poco después un inicial artículo suyo dedicado a este problema.

³⁹ Un ejemplo obvio es el papel de profeta jugado, en diversos movimientos, por Sigmund Freud, Arnold Schönberg, Karl Kraus, Ludwig Wittgenstein, y Herbert Marcuse.

no-científica, credo, o concepción del mundo que resulte atractiva y que interese a la gente, incluyendo a los científicos. (Por tanto, puede que haya ideologías muy útiles y también muy destructivas partiendo ambas de, digamos, un punto de vista humanitario o racionalista).⁴⁰ No necesito insistir más sobre las ideologías para justificar la neta distinción que voy a establecer entre ciencia⁴¹ e ideología, como también entre *revoluciones científicas* y *revoluciones ideológicas*. Pero aclararé esta distinción presentando una serie de ejemplos.

Estos ejemplos mostrarán, espero, que es importante distinguir entre una revolución científica entendida como el derrocamiento racional de una teoría científica establecida y su sustitución por una nueva, y todos los procesos de “atrincheramiento social” o quizá de “aceptación social” de ideologías, sin excluir siquiera aquellas ideologías que incorporan algunos resultados científicos.

XII

Como primer ejemplo elegiré las revoluciones copernicana y darwinia-

⁴⁰ Hay muchos tipos de ‘ideologías’ en el amplio y (deliberadamente) vago sentido del término que he usado en el texto, y por consiguiente muchos aspectos para la distinción entre ciencia e ideología. Dos pueden ser mencionados aquí. Uno es que las teorías científicas pueden ser distinguidas o ‘demarcadas’ (véase nota 41) de teorías no científicas que, sin embargo, pueden influir fuertemente en los científicos, e incluso inspirar sus obras. (Esta influencia puede ser, por supuesto, buena, mala, o mixta). Un aspecto muy diferente es el de atrincheramiento: una teoría científica puede funcionar como ideología si logra estar socialmente atrincherada. Este es el motivo de que, al hablar de la distinción entre revoluciones científicas e ideológicas, incluya yo entre las revoluciones ideológicas a los cambios en las ideas no-científicas que puedan inspirar la obra de los científicos, como también a los cambios en el atrincheramiento social de lo que en otras circunstancias pudiera ser una teoría científica (debo la formulación de los puntos de esta nota a Jeremy Shearmur quien también ha contribuido a otros puntos tratados en esta conferencia).

⁴¹ Para no repetirme demasiado a menudo, no mencioné en esta conferencia mi sugerencia para un criterio del carácter empírico de una teoría (falsabilidad o refutabilidad como criterio de demarcación entre teorías empíricas y no empíricas). Puesto que en inglés “ciencia” significa “ciencia empírica”, y puesto que esta cuestión es amplia y suficientemente discutida en mis libros, he escrito cosas como la siguiente (por ejemplo, en *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*, B. Aires: Paidós, 1967, p. 50): ‘... para figurar como científicos [los enunciados] han de ser susceptibles de entrar en conflicto con observaciones posibles o concebibles’. Algunas personas reaccionaron ante esto de modo bastante violento (ya en 1932, según creo). La postura típica es preguntar: ‘¿qué puede decir de su propio evangelio?’ (He encontrado nuevamente esta objeción en un libro publicado en 1973). Mi respuesta fue publicada sin embargo en 1934 (véase mi *Lógica de la Investigación Científica*, cap. 2, sección 10 y en varias otras partes). Puedo volver a dar mi respuesta: mi evangelio no es ‘científico’, es decir, no pertenece a la ciencia empírica, sino que es más bien, una *propuesta* (normativa). Incidentalmente, mi evangelio (como también mi respuesta) es, criticable, aunque no justamente por vía de observación; y de hecho ha sido criticado.

na, porque en ambos casos una revolución científica dio lugar a una revolución ideológica. Incluso dejando de lado aquí a la ideología del “darwinismo social”,^{41a} podemos distinguir un componente científico y uno ideológico en estas dos revoluciones.

Las revoluciones copernicana y darwiniana fueron *ideológicas* en la medida en que ambas cambiaron la concepción que el hombre tenía de su lugar en el universo. Fueron claramente *científicas* en tanto que cada una de ellas derrocó a una teoría científica dominante: una teoría astronómica y una teoría biológica.

Al parecer, el impacto ideológico de las teorías copernicana y darwiniana fue tan importante porque cada una de ellas entró en conflicto con un dogma religioso. Este hecho fue altamente significativo para la historia intelectual de nuestra civilización, y tuvo repercusiones en la historia de la ciencia (por ejemplo, porque condujo a una tensión entre religión y ciencia). Y sin embargo, el hecho histórico y sociológico de que las teorías de Copérnico y Darwin chocasen con la religión es completamente irrelevante para la evaluación racional de las teorías científicas propuestas por ellos. Desde un punto de vista lógico, ese hecho no tiene absolutamente nada que ver con las revoluciones *científicas* iniciadas por cada una de las dos teorías.

Es por consiguiente importante distinguir entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas, particularmente en aquellos casos en los que las revoluciones ideológicas interactúan con las científicas.

Este ejemplo, y más especialmente el de la revolución ideológica copernicana, puede mostrar que incluso una revolución ideológica podría ser perfectamente descrita como ‘racional’. Sin embargo, mientras tenemos un criterio lógico de progreso en la ciencia —y por tanto de racionalidad— no parece que tengamos nada semejante a un criterio general de progreso o de racionalidad fuera de la ciencia (lo cual no debe interpretarse en el sentido de que fuera de la ciencia no haya cosas tales como modelos de racionalidad). Incluso una ideología intelectual que esté basada en resultados científicos aceptados puede ser irracional, como muestran los numerosos movimientos de modernismo en arte (y en ciencia), e incluso los arcaísmos en arte; movimientos que en mi opinión son intelectualmente insípidos ya que apelan a valores que no tienen nada que ver con el arte (o la

^{41a} Para una crítica del darwinismo social véase mi *Sociedad abierta*, cap. 10, nota 71.

ciencia). En efecto, muchos movimientos de este tipo no son sino modas que no deberían tomarse demasiado en serio.⁴²

Continuando con mi tarea de aclarar la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas, ofreceré ahora varios ejemplos de revoluciones científicas importantes que no llevaron a ninguna revolución ideológica.

La revolución de Faraday y Maxwell fue, desde un punto de vista científico, justamente tan grande como la de Copérnico, y posiblemente aún mayor: destronó el dogma central de Newton —el dogma de las fuerzas centrales. Sin embargo, *no* llevó a una revolución ideológica, aunque inspiró a toda una generación de físicos.

El descubrimiento (y la teoría) de J.J. Thomson del electrón fue también una revolución importante. Derrocar la venerable teoría de la indivisibilidad del átomo constituyó una revolución científica fácilmente comparable con la hazaña de Copérnico: cuando Thomson la anunció, los físicos pensaron que les estaba tomando el pelo. Pero no creó una revolución ideológica. Y sin embargo, derrocó a las dos teorías rivales que durante 2400 años habían estado luchando por el dominio en la teoría de la materia —la teoría de los átomos indivisibles y la de la continuidad de la materia. Para valorar la revolucionaria significación de esta ruptura será suficiente recordar que introdujo una estructura y también la electricidad en el interior del átomo, y por tanto en la constitución de la materia. Asimismo, la mecánica cuántica de 1925 y 1926, la de Heisenberg, la de Born, la de De Broglie, la de Schrödinger, y la de Dirac, fueron esencialmente una cuantización de la teoría del electrón de Thomson. Y sin embargo, la revolución científica de Thomson no llevó a una nueva ideología.

Otro ejemplo sorprendente es el derrocamiento realizado por Rutherford en 1911 del modelo atómico propuesto por J.J. Thomson en 1903. Rutherford había aceptado la teoría de Thomson de que la carga positiva

⁴² Con respecto a mi utilización del vago término 'ideología' (que incluye todo tipo de teorías, creencias, y actitudes, incluyendo algunas que pueden influir en los científicos) debería quedar claro que con este término pretendo abarcar no sólo modas historicistas como el 'modernismo', sino también ideas metafísicas y éticas serias y racionalmente discutibles. Tal vez deba citar a Jim Erikson, un antiguo alumno mío en Christchurch, Nueva Zelanda, quien una vez dijo en una discusión: 'No sugerimos que la ciencia haya inventado la honestidad intelectual, sino que la honestidad intelectual inventó la ciencia'. Una idea muy similar puede hallarse en el cap. IX (El reino y las tinieblas) del libro de Jacques Monod, *El azar y la necesidad*, Barcelona, Barral (1970). Véase también mi *Sociedad abierta*, cap. 24 (La filosofía oracular y la rebelión contra la razón). Podría decirse, sin duda, que una ideología que ha sido aprendida desde una aproximación crítica de las ciencias es probable que sea más racional que una que choque con la ciencia.

debía estar distribuida por la totalidad del espacio ocupado por el átomo. Ello puede apreciarse por su reacción ante el famoso experimento de Geiger y Marsden. Este experimento mostró que cuando se disparaban partículas alfa contra una delgada lámina de oro, algunas de ellas —aproximadamente una partícula por cada veinte mil— eran reflejadas por la lámina en lugar de ser meramente desviadas. Rutherford quedó atónito. Como más tarde dijo:⁴³ 'Fue sin duda el acontecimiento más increíble que jamás me sucediera en la vida. Algo casi tan increíble como disparar una bala de quince pulgadas contra un trozo de papel de seda y que la bala volviese y alcanzase al que la había disparado'. Esta observación de Rutherford muestra el carácter totalmente revolucionario del descubrimiento. Rutherford se percató de que el experimento refutaba el modelo atómico propuesto por Thomson, y lo reemplazó por su modelo nuclear del átomo. Y este fue el comienzo de la ciencia nuclear. El modelo de Rutherford llegó a ser ampliamente conocido, incluso entre los no físicos. Pero no desencadenó una revolución ideológica.

Una de las revoluciones científicas más fundamentales en la historia de la teoría de la materia no ha sido siquiera reconocida como tal. Me refiero a la refutación de la teoría electromagnética de la materia que se convirtió en teoría dominante después del descubrimiento del electrón por Thomson. La mecánica cuántica surgió como parte de esta teoría, y ésta fue esencialmente la teoría cuya 'completud' fue defendida por Bohr contra Einstein en 1935, y de nuevo en 1949. Sin embargo, en 1934 Yukawa había bosquejado un nuevo enfoque teórico-cuántico para las fuerzas nucleares que acabó con el derrocamiento de la teoría electromagnética de la materia, después de cuarenta años de dominio incuestionable.⁴⁴

⁴³ Lord Rutherford, 'The development of the theory of atomic structure', en J. Needham y W. Pagel (eds), *Background of modern science*, pp. 61-74, Cambridge University Press (1938); la cita está tomada de la pág. 68.

⁴⁴ Véase mi "Quantum Mechanics without 'The Observer' ", en *Quantum Theory and Reality* (ed. Mario Bunge), esp. pp. 8-9, Springer-Verlag, New York (1967). (Formará un capítulo en mi próximo volumen *Philosophy and physics*).

La idea fundamental (que la masa inercial del electrón es en parte explicable como la inercia del campo electromagnético en movimiento) que condujo a la teoría electromagnética de la materia es debida a J.J. Thomson, 'On the electric and magnetic effects produced by the motion of electrified bodies', *Phil. Mag.* (5th Ser) 11, 229-49 (1881), y a O. Heaviside, 'On the electromagnetic effects due to the motion of electrification through a dielectric', *Phil. Mag.* (5th Ser.) 27, 324-39 (1889). Fue desarrollada por W. Kaufmann ('Die magnetische und elektrische Ablehnbarkeit der Bequerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen', *Gött. Nachr.* 143-55 (1901), 'Ueber die elektromagnetische Masse des Elektrons', 291-6 (1902), 'Ueber die "Elektromagnetische Masse" der Elektronen', 90-103 (1903)) y M. Abraham ('Dynamik des Elektrons', *Gött. Nachr.*, 20-41 (1902)

Hay un gran número de revoluciones científicas importantes que no desencadenaron ninguna revolución ideológica; por ejemplo, la revolución de Mendel (que posteriormente salvó al darwinismo de la extinción). Otras son: los rayos X, la radiactividad, el descubrimiento de los isótopos, y el descubrimiento de la superconductividad. Ninguna de ellas estuvo acompañada por una revolución ideológica. Ni tampoco veo por el momento que pueda surgir una revolución ideológica como resultado de la ruptura que ha supuesto la teoría de Crick y Watson.

XIII

De gran interés es el caso de la llamada revolución einsteiniana; me refiero a la revolución científica de Einstein, que tuvo entre los intelectuales una influencia ideológica comparable a la de las revoluciones copernicana o darwiniana.

De los muchos descubrimientos revolucionarios de Einstein en física, hay dos que son aquí relevantes.

El primero es la relatividad especial que derroca la cinemática newtoniana, reemplazando la constancia de Galileo por la constancia de Lorentz.⁴⁵

'Prinzipien der Dynamik des Elektrons', *Annln Phys.* (4th Ser.), 10, 105-79 (1903)) en la tesis de que la masa del electrón es un efecto puramente electromagnético. (Véase W. Kaufmann, 'Die elektromagnetische Masse des elektrons', *Phys. Z.* 4, 54-7 (1902-3) y M. Abraham, 'Prinzipien der Dynamik des Elektrons', *Phys. Z.* 4, pp. 57-63 (1902-3) y M. Abraham, *Theorie der Elektrizität*, Vol. ii, pp. 136-249, Leipzig (1905).) La idea fue calurosamente apoyada por H.A. Lorentz, 'Elektromagnetische verschijnenselen in een stelsel dat zich met willekeurige snelheid, kleiner dan die van het licht, beweegt', *Verst. gewone Vergad. wis- en natuurk. Afd. K. Akad. Wet. Amst.* 12, segunda parte, 986-1009 (1903-4), y por la relatividad especial de Einstein, que condujo a resultados que se desviaban de los de Kaufmann y Abraham. La teoría electromagnética de la materia tuvo una enorme influencia ideológica sobre los científicos debido a su fascinante posibilidad de *explicar la materia*. Sufrió un duro revés y fue modificada por el descubrimiento, debido a Rutherford, del núcleo (y del fotón), como también por el descubrimiento del neutrón por parte de Chadwick; esto podría explicar por qué el derrocamiento final de la teoría electromagnética de la materia en favor de la teoría de las fuerzas nucleares fuese un acontecimiento tan escasamente reconocido.

⁴⁵ El poder revolucionario de la relatividad especial descansa en un nuevo punto de vista que permite la derivación e interpretación de las transformaciones de Lorentz a partir de dos primeros principios muy simples. La magnitud de esta revolución puede ser mejor calibrada si se lee el libro de Abraham (Vol. ii, al que anteriormente he aludido en la nota 44). Esta obra, que es ligeramente anterior a los artículos sobre relatividad de Poincaré y Einstein, contiene una discusión completa de la situación del problema: de la teoría de Lorentz sobre el experimento de Michelson, e incluso del tiempo local del propio Lorentz. Abraham se aproxima bastante, por ejemplo en las pp. 143 s. y 370 s., a las ideas einsteinianas. E incluso da la impresión de que Max Abraham está mejor informado sobre la situación del problema que el mismo Einstein. Sin embargo, no hay en Abraham el menor asomo de haber comprendido las revolucionarias potencialidades encerradas en el problema

Por supuesto, esta revolución satisface nuestros criterios de racionalidad: las antiguas teorías son explicadas como aproximadamente válidas para velocidades que son pequeñas en comparación con la velocidad de la luz.

En cuanto a la revolución ideológica vinculada con esta revolución científica, uno de sus elementos se debe a Minkowski. Podemos exponer este elemento con las mismas palabras de Minkowski. 'Las concepciones del espacio y del tiempo que deseo exponer ante ustedes', escribió Minkowski, '...son radicales. De aquí en adelante, el espacio en sí mismo y el tiempo en sí mismo están condenados a desvanecerse en meras sombras, y sólo una especie de unión de los dos conservará una realidad independiente'.⁴⁶ Esta es una exposición intelectualmente aterradora. Pero es claro que no es ciencia: es ideología. Llegó a ser parte de la ideología de la revolución einsteiniana. Pero el propio Einstein jamás quedó del todo satisfecho al respecto. Dos años antes de su muerte escribió a Cornelius Lanczos: 'Uno sabe tanto y comprende tan poco. La tetradsimensionalidad con [la notación de Minkowski] + + + - pertenece a la última categoría'.

Un elemento más sospechoso de la revolución ideológica einsteiniana es la moda del operacionalismo o positivismo —una moda que Einstein rechazó más tarde, pese a que él mismo era el responsable de ella por lo que había escrito acerca de la definición operacional de la simultaneidad. Aunque, como Einstein reconoció más tarde,⁴⁷ el operacionalismo es una doctrina lógicamente insostenible, ha sido muy influyente desde entonces en física y, especialmente, en psicología conductista.

Con respecto a las transformaciones de Lorentz, no parece que se haya convertido en parte de la ideología el hecho de que limiten la vali-

del que se ocupa; muy al contrario. Pues Abraham escribe en su Prefacio, fechado en marzo de 1905: 'La teoría de la electricidad parece haber entrado ahora en un estado de desarrollo más sereno'. Lo cual muestra lo dificultoso que puede resultar, incluso para un científico de la talla de Abraham, prever el desarrollo futuro de su propia ciencia.

⁴⁶ Véase H. Minkowski, 'Space and time', en A. Einstein, H.A. Lorentz, H. Weyl, y H. Minkowski, *The principle of relativity*, Methuen, London (1923) y Dover edn., New York, p. 75. Para la cita de la carta de Einstein a Cornelius Lanczos, a la que aludo algo más adelante en el mismo párrafo de mi texto, véase C. Lanczos, 'Rationalism and the physical world', en R.S. Cohen y B. Wartofski (eds.), *Boston studies in the philosophy of science*, Vol. 3, pp. 181-98 (1967); véase p. 198.

⁴⁷ Véase mi *Desarrollo del Conocimiento Científico. Conjeturas y refutaciones*, p. 135 (con nota 30); también mi *Sociedad abierta*, p. 231, y la crítica en mi *Lógica de la Investigación científica*, pp. 413 ss. Indiqué esta crítica en 1950 a P.W. Bridgman, quien la recibió muy generosamente.

dez de la transitividad de la simultaneidad: el principio de transitividad permanece válido dentro de cada sistema inercial mientras se torna en inválido para la transición de un sistema a otro. Ni tampoco ha llegado a ser parte de la ideología el que la relatividad general, o más especialmente la cosmología de Einstein, permita la introducción de un tiempo cósmico preferido y consecuentemente de marcos espacio-temporales locales preferidos.⁴⁸

La relatividad general fue en mi opinión una de las más grandes revoluciones científicas, porque colisionó con la más grande y mejor contrastada teoría —la teoría newtoniana de la gravedad y del sistema solar. Contiene, como debía, a la teoría de Newton como una aproximación. Sin embargo, la contradice en varios puntos. Conduce a resultados diferentes para órbitas elípticas de una excentricidad apreciable. Y entraña el asombroso resultado de que una partícula física (incluidos los fotones) que se aproxime al centro de un campo gravitacional con una velocidad que exceda en seis décimas la velocidad de la luz no es acelerada por el campo gravitacional, como en la teoría de Newton, sino desacelerada: es decir, no es atraída por un cuerpo pesado, sino repelida.⁴⁹

Este resultado tan sorprendente y excitante ha salido con bien de las contrastaciones; pero no parece que haya llegado a formar parte de la ideología.

Es este derrocamiento y corrección de la teoría de Newton lo que desde un punto de vista científico (en tanto que opuesto al ideológico) sea tal vez lo más significativo en la teoría general de Einstein. Ello implica, desde luego, que la teoría de Einstein puede ser comparada punto por punto con la de Newton⁵⁰ y que preserva a la teoría de Newton como una aproximación. Sin embargo, Einstein nunca creyó que su teoría fuese verdadera. Dejó atónito a Cornelius Lanczos en 1922 al decir

⁴⁸ Véase A.D. Eddington, *Space time and gravitation*, pp. 162 s., Cambridge University Press (1935). Es interesante en este contexto que Dirac (en la p. 46 del artículo referido en la nota 29 más arriba) dice que ahora duda que el pensamiento cuatridimensional sea un requisito fundamental de los físicos (es un requisito fundamental para la conducción de un automóvil).

⁴⁹ Más precisamente, un cuerpo que cae con una velocidad $v > c/3^{1/2}$ desde el infinito hacia el centro de un campo gravitacional será constantemente desacelerado al aproximarse a ese centro.

⁵⁰ Véase la referencia a Troels Eggers Hansen citada en la nota 27 más arriba; y Peter Havas, 'Four-dimensional formulations of Newtonian mechanics and their relation to the special and the general theory of relativity', en *Revs mod. Phys.* 36, 938-65 (1964), y 'Foundation problems in general relativity', en *Delaware seminar in the foundations of physics* (ed. M. Bunge), pp. 124-48 (1967). Por supuesto, la comparación no es trivial: véase, por ejemplo, pp. 52 s. del libro de E. Wigner citado en la nota 24 anteriormente.

que su teoría era meramente una etapa pasajera: la llamó 'efímera'.⁵¹ Y dijo a Leopoldo Infeld⁵² que la parte izquierda de su ecuación de campo⁵³ (el tensor de curvatura) era tan fuerte como una roca, mientras que la derecha (el tensor del momento-energía) era tan débil como la paja.

En el caso de la relatividad general, una idea que tuvo una considerable influencia ideológica parece haber sido la del espacio curvo tetradimensional. Esta idea, ciertamente, juega un papel tanto en la revolución científica como en la ideológica. Pero esto hace todavía más importante el que se distinga la revolución científica de la revolución ideológica.

Sin embargo, los elementos ideológicos de la revolución einsteiniana influyeron en los científicos, y con ello en la historia de la ciencia; y esta influencia no fue del todo buena.

En primer lugar, el mito de que Einstein había logrado sus resultados merced a un uso esencial de métodos epistemológicos y especialmente operacionistas, tuvo en mi opinión un efecto devastador sobre la ciencia. (Es irrelevante si obtenemos nuestros resultados —especialmente los buenos resultados— soñándolos, bebiendo café solo, o incluso basándonos en una epistemología errónea).^{53a} En segundo lugar, condujo a la creencia de que la mecánica cuántica, la segunda gran teoría revolucionaria del siglo, debía superar a la revolución einsteiniana, especialmente en lo que respecta a su profundidad epistemológica. Me parece que esta creencia afectó a algunos de los grandes fundadores de la mecánica cuántica⁵⁴ y también a algunos de los grandes fundadores de la biología molecular.⁵⁵ Condujo al predominio de una interpretación subjetivista de la mecánica cuántica; una interpretación que he estado combatiendo durante casi cuarenta años. No puedo aquí describir la situación; pero aunque soy

⁵¹ Véase C. Lanczos, op. cit., p. 196.

⁵² Véase Leopold, *Quest*, p. 90. Victor Gollancz, London (1941).

⁵³ Véase Einstein, 'Die Feldgleichungen der Gravitation', *Sber. Akad. Wiss. Berlin*, parte 2, 844-7 (1915); 'Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie', en *Annln Phys.*, (4 th Ser) 49, 769-822 (1916).

^{53a} Creo que el párrafo 2 del famoso artículo de Einstein, 'Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie' (véase nota 53 más arriba; *The principle of relativity*, pp. 111-64; véase nota 46 más arriba), usa argumentos epistemológicos muy cuestionables *contra* el espacio absoluto de Newton y *a favor* de una teoría muy importante.

⁵⁴ Especialmente Heisenberg y Bohr.

⁵⁵ Al parecer afectó a Max Delbrück; véase *Perspectives in American history*, Vol. 2, Harvard University Press (1968), 'Emigré physicists and the biological revolution', por Donald Fleming, pp. 152-89, especialmente las secciones IV y V. (Debo esta referencia al Profesor Mogens Blegvad).

consciente de los fascinantes logros de la mecánica cuántica (que no nos deben ocultar el hecho de que está seriamente incompleta).⁵⁶ sugiero que la interpretación ortodoxa de tal mecánica no es una parte de la física, sino una ideología. De hecho, es parte de una ideología modernista; y se ha convertido en una moda científica, lo que es un serio obstáculo para el progreso de la ciencia.

XIV

Espero haber aclarado la distinción entre una revolución científica y la revolución ideológica que puede a veces ir vinculada con ella. La revolución ideológica puede servir a la racionalidad o socavarla. Pero a menudo no es más que una moda intelectual. Aun vinculándose a una revolución científica, puede ser de carácter altamente irracional; y puede romper conscientemente con la tradición.

Pero una revolución científica, por radical que sea, no puede romper realmente con la tradición, ya que ha de preservar el éxito de sus predecesoras. Por esto es por lo que las revoluciones científicas son racionales. Mas con ello no quiero decir, desde luego, que los grandes científicos que hacen la revolución sean, o deban ser, individuos totalmente racionales. Por el contrario: aunque aquí he estado argumentando a favor de la racionalidad de las revoluciones científicas, mi conjetura es que si los científicos hubieran de ser siempre 'objetivos y racionales' en el sentido de 'imparciales y sin compromiso', encontraríamos, ciertamente, que el progreso revolucionario de la ciencia se halla obstaculizado por una barrera insalvable.

Deseo expresar mi agradecimiento a Troels Eggers Hansen, al Rev. Michael Shar-ratt, al Dr. Herbert Spengler, y al Dr. Martin Wenham por sus comentarios críticos a esta conferencia.

Versión castellana de *Carmen García-Trevijano*

⁵⁶ Es claro que una teoría física que no explique constantes tales como el cuanto eléctrico elemental (o la constante de fina estructura) es incompleta; por no mencionar el espectro de masa de las partículas elementales. Véase mi artículo, "Quantum mechanics without 'the observer' ", citado anteriormente en la nota 44.

NOTA. El original inglés del presente ensayo es propiedad de Sir Karl R. Popper.