

quiere— a razonar "inductivamente", y el pasado éxito de la "inducción" aumenta esa propensión.

El método de comprobar ideas en la práctica y depender de aquellas que triunfen (pues es esto lo que significa "inducción") no carece de justificación. Se trata de una afirmación *empírica*. El método no tiene "justificación"... si por justificación entendemos una prueba a partir de principios internos y for- males que justifican la confianza en el método. Pero, entonces, nada lo tiene... en mi opinión, ni siquiera la lógica formal y la matemática pura.

IV. LA RACIONALIDAD DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS*

SIR KARL POPPER

El título de esta serie de Conferencias Spencer, *Progreso y obstáculos al progreso en las ciencias*, fue escogido por los organizadores de la serie. En mi opinión, el título parece implicar que el progreso en la ciencia es algo bueno, y que un obstáculo a su progreso es algo malo, posición sostenida por casi todo el mundo, hasta hace muy poco tiempo. Tal vez yo debería aclarar al punto que acepto esta posición, aunque con algunas reservas leves y bastante obvias, a las que brevemente haré alusión más adelante.

Desde luego, los obstáculos que se deben a la inherente dificultad de los problemas planteados son desafíos bien recibidos. (En realidad, muchos científicos se sintieron desilusionados cuando resultó que el problema de la energía nuclear fue comparativamente trivial, y que no implicó ningún cambio revolucionario de la teoría.) Pero el estancamiento en la ciencia sería una maldición. Empero, estoy de acuerdo con la sugerencia del profesor Bodmer

* Copyright 1975, 1981, por Sir Karl Popper y reproducido con autorización del autor. Esta fue una de las Herbert Spencer Lectures que fueron pronunciadas en la Universidad de Oxford en 1973. Impresa por primera vez en *Problems of Scientific Revolution*, pp. 72-101, presentada por Rom Harré (copyright 1975, Oxford University Press).

de que el progreso científico es sólo una ventaja *condicionada*.¹ Encaremos esto: las ventajas *sí* son condicionadas con algunas excepciones excepcionalmente raras.

Mi conferencia se dividirá en dos partes. La primera (secciones I-VIII) la tengo dedicada al progreso en la ciencia, y la segunda (secciones IX-XIV) a algunos de los obstáculos sociales puestos al progreso.

Recordando a Herbert Spencer, analizaré el progreso en la ciencia en gran parte *a partir de un punto de vista evolucionista*; más precisamente, a partir del punto de vista de la teoría de la selección natural. Sólo el final de la primera parte (es decir en la sección VIII) estará dedicado a analizar el progreso de la ciencia *a partir de un punto de vista lógico*, y a proponer *dos normas racionales* de progreso en la ciencia, que serían necesarias en la segunda parte de mi charla.

En la segunda parte analizaré unos cuantos obstáculos puestos al progreso de la ciencia, especialmente obstáculos ideológicos, y concluiré (secciones XI-XIV) analizando la distinción entre

¹ Véase, en la actual serie de Herbert Spencer Lectures, la observación final de la colaboración del profesor W. F. Bodmer (*Problems of Scientific Revolution: Progress and Obstacles to Progress in the Sciences*, Oxford, Clarendon Press, 1975). Mis propias dudas con respecto al avance y al estancamiento científico brotan principalmente del espíritu modificado de la ciencia, y el desarrollo incontentido de la Ciencia Grande, que pone en peligro la gran ciencia (véase la sección IX de esta conferencia). La biología parece haberse librado hasta hoy de ese peligro pero, desde luego, no de los peligros relacionados con los anteriores que tienen que ver con las aplicaciones en grande escala.

revoluciones científicas por una parte, que están sujetas a normas racionales de progreso y, por la otra, *revoluciones ideológicas*, que sólo rara vez se pueden defender desde un punto de vista racional. Me pareció que esta distinción tenía suficiente interés para llamar a mi conferencia "la racionalidad de las revoluciones científicas". El hincapié al respecto debe hacerse, por supuesto, en la palabra "científicas".

I

Hablaré ahora del progreso en la ciencia. Enfocaré este tema desde un punto de vista biológico o evolucionista. Estoy muy lejos de sugerir que sea este el punto de vista más importante para examinar el progreso en la ciencia. Pero el enfoque biológico ofrece una manera conveniente de introducir las dos ideas principales de la primera mitad de mi charla. Son las ideas de *instrucción* y de *selección*.

Desde un punto de vista biológico o evolucionista, la ciencia, o el progreso en la ciencia, puede considerarse como un medio empleado por la especie humana para adaptarse al medio, para invadir nuevos nichos ambientales, e incluso para inventar otros.² Esto conduce al siguiente problema.

² La formación de proteínas membranosas, de los primeros virus y de las células acaso se hayan encontrado entre las primeras invenciones (en contraste con invasiones) de nuevos nichos ambientales. Otros nichos ambientales (como una capa de enzimas inventada por genes por lo demás desnudos) acaso fuesen inventados aún antes. Algunas personas (Hegelianos, marxistas) gustan de hablar—o, más bien, de quejarse—de lo que llaman "enajena-

Podemos distinguir entre tres grados de adaptación: la adaptación genética, el aprendizaje conductista adaptativo, y el descubrimiento científico, que es un caso especial de aprendizaje conductista adaptativo. En esta parte de mi artículo, el principal problema será hacer una investigación de las similitudes y las diferencias entre las estrategias del progreso o la adaptación al nivel *científico* y esos otros dos niveles: el *genético* y el *conductista*. Compararé los tres niveles de adaptación investigando el papel que desempeña en cada uno de ellos la *instrucción* y la *selección*.

II

Para no conducir a ustedes a ciegas al resultado de esta comparación presentaré, de una vez, mi tesis principal. Es una tesis que asevera la *similitud fundamental de los tres niveles*, de la siguiente manera. En los tres niveles —adaptación genética, conducta adaptativa y descubrimiento científico— el mecanismo de adaptación es en lo fundamental el mismo. Esto puede explicarse con cierto detalle.

La adaptación comienza a partir de una *estructura* heredada que es básica para los tres niveles: *la estructura genética del organismo*. A ella corresponde, al nivel conductista, el *repertorio innato* de *ción*". No hay duda de que toda invención considerable, como una capa de enzimas o digamos un impermeable, nos enajena de nuestro medio y de nuestra "naturalidad esencial". (Algunos de estos inventos, como los cigarrillos puros, aumentan poco nuestro bienestar general.) Pero "invención" y por tanto "enajenación" parecen ser características de la vida (más que del "capitalismo"). Y prescindir de ellas puede significar el retorno al gene desnudo.

Los tipos de comportamiento de que dispone el organismo, y al nivel científico, *las conjeturas o teorías científicas dominantes*. Estas *estructuras* siempre se transmiten por *instrucción* a los tres niveles, por medio de la duplicación de la instrucción genética codificada a los niveles genético y conductual, y por tradición social e imitación a los niveles conductual y científico. En los tres niveles, la *instrucción* procede de *dentro de la estructura*. Si ocurren mutaciones, variaciones o errores, éstos son instrucciones nuevas, que también surgen *de dentro de la estructura*, y no de *fuera* del medio.

Estas estructuras heredadas están expuestas a ciertas presiones o desafíos o problemas: presiones de selección, desafíos ambientales, problemas teóricos. Como respuesta, se producen variaciones de las *instrucciones* genética o tradicionalmente heredadas,³ por métodos que al menos de manera parcial son *aleatorios*. Al nivel genético, éstas son mutaciones y recombinaciones⁴ de la instrucción codificada; al nivel conductista, son variaciones y recombinaciones tentativas dentro del repertorio innato; al nivel científico, son teorías tentativas nuevas y revolucionarias. En los tres niveles obte-

³ Es problema abierto saber si podemos hablar en estos términos ("en respuesta") acerca del nivel genético (*cf.* mi conjetura acerca de los mutágenos que responden, en la sección v). Y sin embargo, si no hubiera variaciones, no podría haber adaptación ni evolución; y así podemos decir que el surgimiento de mutaciones es, o bien parcialmente controlado por una necesidad de ellos, o funciona como si lo fuera.

⁴ Cuando en esta conferencia hablo (en gracia a la brevedad) de "mutación"; la posibilidad de recombinación, desde luego, siempre se encuentra tácitamente incluida.

nemos nuevas instrucciones de proceso tentativas; o, dicho más brevemente, pruebas tentativas.

Es importante que estas pruebas tentativas sean cambios que se originen *dentro* de la estructura individual en forma más o menos aleatoria, a los tres niveles. La idea de que *no* se deben a instrucciones desde fuera del ambiente, queda apoyada (aunque débilmente) por el hecho de que unos organismos muy similares pueden responder a veces en formas muy diversas ante un mismo desafío ambiental.

La siguiente es la etapa de *selección* entre las mutaciones y variaciones disponibles: las de los nuevos juicios tentativos que están mal adaptados quedan eliminadas. *Esta es la etapa de la eliminación del error*. Sólo las instrucciones de proceso más o menos bien adaptadas sobreviven y son heredadas a su vez. Podemos hablar así de *adaptación por el método de prueba y error* o, mejor aún, por "el método de prueba y la eliminación del error". La eliminación del error, o de las instrucciones de prueba mal adaptadas, también se llama *selección natural*: es una especie de "realimentación negativa", y opera en los tres niveles.

Debe notarse que en general no se alcanza ningún *estado de equilibrio de la adaptación* por aplicación del método de prueba y la eliminación del error ni por selección natural. En primer lugar porque no es probable que se ofrezcan soluciones de prueba perfectas u óptimas; segundo —y esto es más importante— porque el surgimiento de nuevas estructuras o de nuevas instrucciones requiere un cambio en la situación ambiental. Pueden volverse pertinentes nuevos elementos del medio y surgir en consecuencia, nuevas presiones, nuevos desafíos, nuevos problemas,

como resultado de los cambios estructurales que han surgido de dentro del organismo.

Al nivel genético, el cambio puede ser la mutación de un gene, con el consiguiente cambio de una enzima. Ahora bien, la red de enzimas constituye el medio más íntimo de la estructura genética. Por consiguiente, habrá un cambio en este medio; con él pueden surgir nuevas relaciones entre el organismo y el medio más remoto, y además nuevas presiones de selección.

Lo mismo ocurre al nivel conductista, pues la adopción de un nuevo tipo de conducta puede equipararse las más de las veces con la adopción de un nuevo nicho ecológico. Surgirán, por consiguiente, nuevas presiones de selección y nuevos cambios genéticos.

Al nivel científico, la adopción tentativa de una nueva conjetura o teoría puede resolver uno o dos problemas, pero invariabilmente abre muchos *nuevos* problemas; y es que una nueva teoría revolucionaria funciona exactamente como un nuevo y poderoso órgano sensorio. Si el progreso es considerable, entonces los nuevos problemas diferirán de los antiguos, estarán a un nivel de profundidad radicalmente distinto. Esto ocurrió, por ejemplo, con la relatividad; ocurrió con la mecánica cuántica, y ocurre ahora mismo, de la manera más espectacular, con la biología molecular. En cada uno de estos casos, nuevos horizontes de problemas inesperados quedaron al descubierto por la nueva teoría.

Ésta es, sugeriré yo, la forma en que progresa la ciencia. La mejor manera de calibrar nuestro progreso es comparando nuestros antiguos problemas con los nuevos. Si el progreso logrado es grande,

entonces los nuevos problemas serán de un carácter no soñado antes. Habrá problemas más profundos y, de paso, habrá más. Cuanto más avanzamos en conocimiento, más claramente podemos discernir la vastedad de nuestra ignorancia.⁵

Resumiré ahora mi tesis. A los tres niveles que estoy considerando, los niveles genético, conductual y científico, estamos operando con estructuras heredadas que nos han sido legadas por instrucción; sea mediante el código genético, sea por tradición. A los tres niveles, surgen nuevas estructuras y nuevas instrucciones mediante cambios de prueba *dentro de la estructura*: por pruebas tentativas que están sujetas a la natural selección o la eliminación del error.

VII

Hasta aquí he subrayado las *similitudes* en el funcionamiento del mecanismo adaptativo a los tres niveles. Esto plantea un problema obvio: ¿qué decir de las *diferencias*? La principal diferencia entre el nivel genético y el conductista es la siguiente. Las mutaciones, a nivel genético, no sólo son aleatorias sino completamente "ciegas", en dos sentidos.⁶ En

⁵ La percatación de nuestra ignorancia ha sido grande como resultado, por ejemplo, de la asombrosa revolución producida por la biología molecular.

⁶ Para el empleo del término "ciego" (especialmente en el segundo sentido), véase D. T. Campbell, "Methodological suggestions from a comparative psychology of knowledge processes", *Inquiry* 2, pp. 152-182, 1959; "Blind variation and selective retention in creative thought as in other knowledge processes", *Psychol. Rev.* 67, pp. 380-400, 1960; y "Evolutionary epistemology", en *The Philosophy*

primer lugar, no tienden, en absoluto, a un objetivo. En segundo, la supervivencia de una mutación no puede influir sobre mutaciones ulteriores, ni siquiera sobre las frecuencias de probabilidad de su aparición; aunque reconocidamente, la *supervivencia* de una mutación puede determinar a veces qué tipos de mutaciones podrían *sobrevivir* en casos futuros. Al nivel conductista, las pruebas son más o menos aleatorias, pero no son por completo "ciegas" en ninguno de los dos sentidos antes anotados. En primer lugar, van dirigidas hacia un objetivo, y en segundo, los animales pueden aprender por el resultado de una prueba: pueden aprender a evitar el tipo de comportamiento de pruebas que ha conducido a un fracaso. (Pueden evitarlo hasta en los casos en que habría podido tener éxito.) De manera similar, también pueden aprender del éxito, y un comportamiento que tuvo éxito puede repetirse aun en casos en que no es adecuado. Sin embargo, cierto grado de "ceguera" es inherente a todas las pruebas.⁷

Es habitual que la adaptación conductual sea un *of Karl Popper*, *The library of living philosophers*, P. A. Schilpp (comp.), pp. 413-463, The Open Court Publishing Co., La Salle, Illinois, 1974.

⁷ Mientras que la "ceguera" de las pruebas es relativa a lo que hemos descubierto en el pasado, la aleatoriedad es relativa a un conjunto de elementos (que forman el "espacio de muestras"). Al nivel genético, estos "elementos" son los cuatro nucleótidos de base; al nivel de la conducta son los constituyentes del repertorio del comportamiento del organismo. Estos constituyentes pueden adquirir diferentes pesos con respecto a diferentes necesidades o metas, y el peso puede cambiar por medio de la experiencia (reduciendo el grado de "ceguera").

proceso intensamente activo: el animal —en especial el animal joven, jugando— y aun la planta están investigando activamente el medio.⁸

Esta actividad, que en gran parte es genéticamente programada, me parece a mí que marca una diferencia importante entre el nivel genético y el nivel conductista. Voy a referirme aquí a la experiencia que los psicólogos *gestaltistas* llaman *insight*, una experiencia que acompaña muchos descubrimientos conductuales.⁹ Sin embargo, no debe pasarse por

⁸ Acerca de 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 pp. 872-876, 1963; cf. J. C. Eccles, *Facing reality*, pp. 66-67. La actividad es, al menos parcialmente, producir hipótesis; véase J. Krechevsky, "Hypothesis versus 'chance' in the pre-solution period in sensory discrimination-learning", *Univ. Calif. Publ. Psychol.*, 6, pp. 27-44, 1932 (reproducido en *Animal problem solving*, A. J. Riopelle (comp.), pp. 183-197), Penguin Books, Harmondsworth, 1967.

⁹ Tal vez deba yo mencionar aquí algunas de las diferencias entre mis opiniones y las de la escuela de la *Gestalt*. (Desde luego, yo acepto el hecho de la percepción *Gestalt*; sólo dudo de lo que podría llamarse filosofía de la *Gestalt*.) Conjeturaré que la unidad, o la articulación, de la percepción depende más de los sistemas de control motores y de los sistemas neurales eferentes del cerebro que de sistemas aferentes: que depende mucho del repertorio conductual del organismo. Conjeturaré que una araña o un ratón nunca tendrá *insight* (como el simio de Köhler) de la posible unidad de los dos palos que pueden unirse, porque manipular palos de tal tamaño no está dentro de su repertorio conductual. Todo esto puede interpretarse como una especie de generalización de la teoría James-Lange de las emociones (1884; véase William James, *The principles of psychology*, vol. II, pp. 449 ss., 1890, Macmillan and Co., Londres), extendiendo la teoría de nuestras emociones

alto que hasta un descubrimiento acompañado por "inside" puede ser *erróneo*: cada prueba, y hasta una prueba con "inside", tiene la naturaleza de una conjetura o una hipótesis. Los simios de Köhler, como se recordará, a veces atinan con *insight* en lo que resulta ser un intento *erróneo* por resolver su problema; y aun grandes matemáticos se ven a veces engañados por la intuición. Así, animales y hombres han de poner a prueba sus hipótesis; tienen que emplear el método de prueba y eliminación del error.

Por otra parte, convengo con Köhler y con Thorpe¹⁰ en que las pruebas de los animales que están resolviendo problemas en general no son completamente ciegos. Sólo en casos extremos, cuando el problema al que se enfrenta el animal no cede a la verificación de una hipótesis, recurrirá el animal a intentos más o menos ciegos o aleatorios para salir de una situación desconcertante. Y sin embargo,

a nuestras percepciones (especialmente las percepciones de *Gestalt*) que así no nos son "dadas" (como en la teoría de la *Gestalt*) sino antes bien "hechas" por nosotros "descifrando claves" (relativamente "dadas"). El hecho de que las claves puedan desencaminarnos (ilusiones ópticas en los hombres, ilusiones falsas en animales, etc.) puede explicarse por la necesidad biológica de imponer nuestras interpretaciones conductuales a claves sumamente simplificadas. La conjetura de nuestro desciframiento de lo que nos dicen los sentidos depende de nuestro repertorio conductual puede explicar parte de la laguna que separa a los animales de los hombres; pues por medio de la evolución del lenguaje humano, nuestro repertorio se ha vuelto ilimitado.

¹⁰ Véase W. H. Thorpe, *Learning and instinct in animals*, pp. 99 ss. Methuen, Londres, 1956, y 1963, pp. 100-147; W. Köhler, *The mentality of apes*, 1925, y Penguin Books ed., 1957, pp. 166 ss.

aun en estos intentos suele distinguirse la tendencia a un objetivo, en agudo contraste con la ciega aleatoriedad de las mutaciones y recombinaciones genéticas.

Otra diferencia entre el cambio genético y el cambio conductual adaptativo es que el primero *siempre* establece una estructura genética rígida y casi invariable. El último, reconodidamente, conduce *a veces* también a una pauta de comportamiento bastante rígida, que exige adhesión dogmática; radicalmente en el caso de la "impronta" (Konrad Lorenz); pero en otros casos conduce a una pauta flexible que permite diferenciación o modificación; por ejemplo, puede conducir a una conducta exploradora, o a lo que Pavlov llamó el "reflejo de libertad".¹¹

Al nivel científico, los descubrimientos son revolucionarios y creadores. En realidad, hay que atribuir cierta creatividad a todos los niveles, aun al genético: nuevas pruebas, que conducen a nuevos medios y así a nuevas presiones de selección, crean resultados nuevos y revolucionarios en todos los

¹¹ Véase I. P. Pavlov, *Conditioned reflexes*, esp. pp. 11-12, Oxford University Press, 1927. En vista de lo que él llama "comportamiento exploratorio" y del muy cercano "comportamiento de libertad"—ambos, obviamente basados en los genes—y de la importancia de estos para la actividad científica, me parece que el comportamiento de los conductistas que se esfuerzan por sobreeser el valor de la libertad por lo que llaman "refuerzo positivo" puede ser síntoma de una inconsciente hostilidad a la ciencia. Incidentalmente, lo que B. F. Skinner (*cf.* su *Beyond freedom and dignity*, 1972, Cape, Londres) llama "la literatura de la libertad" no surgió como resultado de un esfuerzo negativo, como él sugiere. Antes bien, surgió con Esquilo y Píndaro, como resultado de las victorias de Maratón y Salamina.

niveles, aun cuando haya poderosas tendencias conservadoras incrustadas en varios mecanismos de instrucción.

La adaptación genética sólo puede operar, desde luego, dentro del plazo de unas cuantas generaciones; digamos por lo menos una o dos generaciones. En organismos que se dupliquen muy rápidamente éste puede ser un periodo breve, y sencillamente puede no haber espacio para una adaptación conductual. Los organismos que se reproducen de manera más lenta se ven obligados a inventar una adaptación conductual para adaptarse a los rápidos cambios ambientales. Necesitan, así, un repertorio conductual con tipos de conducta de mayor o menor espacio o gama. Puede suponerse que el repertorio y el espacio de los tipos disponibles de comportamiento han sido genéticamente programados; y dado que, como lo hemos indicado, puede decirse que un nuevo tipo de conducta incluye la elección de un nuevo nicho ambiental, los nuevos tipos de conducta pueden ser, en realidad, genéticamente creadores, pues a su vez pueden determinar nuevas presiones de selección, decidiendo así, de modo indirecto, la evolución futura de la estructura genética.¹²

¹² Así, el comportamiento exploratorio y la solución de problemas crean nuevas condiciones para la evolución de sistemas genéticos; condiciones que afectan profundamente la selección natural de estos sistemas. Podemos decir que una vez que se ha alcanzado cierta latitud de comportamiento—como la han alcanzado hasta organismos unicelulares (véase especialmente la obra clásica de H. S. Jennings, *The behaviour of the lower organisms*, Columbia University Press, Nueva York, 1906)—la iniciativa del organismo al seleccionar su ecología o hábitat asume el mando, y la selección natural dentro del nuevo

Al nivel del descubrimiento científico surgen dos aspectos nuevos. El más importante es que las teorías científicas puedan formularse lingüísticamente, y que hasta puedan publicarse. Se vuelven así objetos fuera de sí mismos: objetos abiertos a la investigación. Por consiguiente, están ahora abiertos a la crítica. Podemos así deshacernos de una teoría mal montada antes de que la adopción de la teoría nos haga ineptos para sobrevivir: criticando nuestras teorías podemos dejar que las teorías mueran en lugar de nosotros. Desde luego, esto es de importancia inmensa.

El otro aspecto también está conectado con el lenguaje. Una de las novedades del lenguaje humano es que estimula el contar cuentos, y así la *imaginación creadora*. El descubrimiento científico es afín a los cuentos explicativos, a la creación de mitos y a la imaginación poética. El desarrollo de la imaginación aumenta, desde luego, la necesidad de

hábitat sigue su guía. De esta manera, el darwinismo puede simular al lamarkismo, y hasta la "evolución creadora" de Bergson. Esto ha sido reconocido por estrictos darwinistas. Para una brillante presentación y estudio de la historia, véase Sir Alistair Hardy, *The living stream*, Collins, Londres, 1965, especialmente conferencias VI, VII y VIII, donde se encontrarán muchas referencias a bibliografía anterior, desde James Hutton (que murió en 1797) hacia adelante (véanse pp. 178 ss.). Véase también Ernst Mayr, *Animal species and evolution*, The Belknap Press, Cambridge, Mass., y Oxford University Press, Londres, 1963, páginas 604 ss. y 611; 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, pp. 89-102, 1971 (con una bibliografía); y también mi primera Conferencia Herbert Spencer (1961) ahora en [45].

cierto control así como, en la ciencia, la crítica interpersonal: la cooperación amistosa-hostil de los científicos que parcialmente se basa en la competencia y parcialmente en la meta común de acercarse a la verdad. Esto y el papel desempeñado por la instrucción y la tradición me parece a mí que agotan los principales elementos sociológicos esencialmente incluidos en el progreso de la ciencia, aunque, desde luego, más podría decirse acerca de los obstáculos sociales al progreso, o de los peligros sociales inherentes al progreso mismo.

IV

Ya he sugerido que el progreso en la ciencia o en el descubrimiento científico depende de *instrucción* y de *selección*: de un elemento conservador o tradicional o histórico, y de un empleo revolucionario de la prueba y la eliminación del error mediante la empíricas; dicho en otras palabras, intentos por sondear las posibles flaquezas de las teorías e intentos por refutarlas.

Desde luego, el científico en particular puede tratar de establecer su teoría, más que refutarla. Pero desde el punto de vista del progreso en la ciencia, este deseo fácilmente podrá desencaminarlo. Además, si él mismo no examina con ojo crítico su teoría favorita, otros lo harán por él. Los únicos resultados que éstos considerarán que apoyan la teoría serán los fracasos de intentos interesantes por refutarla; el no encontrar contra-ejemplos cuando tales contra-ejemplos más podían esperarse a la luz de las mejores teorías competidoras. Así, no

necesita crear un gran obstáculo a la ciencia si el científico en particular se inclina en favor de una de sus teorías predilectas. Sin embargo, yo pienso que Claude Bernard fue muy sabio cuando escribió: "Los que tienen una fe excesiva en sus ideas no están bien capacitados para hacer descubrimientos."¹³

Todo esto forma parte del enfoque crítico a la ciencia, en contraste con el enfoque inductivista; o del enfoque darwiniano o eliminacionista o seleccionista en contraste con el enfoque lamarkiano que opera con la idea de *instrucción desde fuera*, o desde el medio, mientras que el enfoque crítico o seleccionista sólo tolera una *instrucción desde dentro*: desde dentro de la estructura misma.

De hecho, yo afirmo que *no existe cosa que pueda llamarse instrucción desde fuera de la estructura*, o recepción pasiva de una afluencia de información que se imprime en nuestros órganos sensorios. Todas las observaciones están impregnadas de teoría: no existe una información pura, desinteresada, libre de teorías. (Para ver esto podemos tratar, mediante un poco de imaginación, de comparar la observación humana con la de una hormiga o una araña.)

Francis Bacon se mostró preocupado, con razón, por el hecho de que nuestras teorías pueden prejuzgar nuestras observaciones. Esto le llevó a aconsejar a los científicos que evitaran el prejuicio purificando su mente de todas las teorías. Siguen dándose recetas similares.¹⁴ Mas para llegar a la objetividad

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

¹⁴ Los psicólogos conductistas que estudian las "tenden-

no podemos depender de una mente vacía: La objetividad descansa en la crítica, en la discusión crítica y en el examen crítico de los experimentos.¹⁵ Y debemos reconocer, en particular, que nuestros propios órganos sensorios incorporan lo que equivale a prejuicios. Ya he subrayado (en el capítulo II) que las teorías son como órganos sensorios. Deseo decir ahora que nuestros órganos sensorios son como teorías. *Incorporan* teorías adaptativas (como se ha mostrado en el caso de conejos y gatos). Y estas teorías son resultado de la selección natural.

V

A pesar de todo, ni siquiera Darwin o Wallace, para no hablar de Spencer, dieron con que no existe instrucción desde fuera. Ellos no operaron con argumentos puramente seleccionistas. De hecho, con frecuencia arguyeron de acuerdo con lineamientos del experimentador" han descubierto que algunas ratas blancas tienen un desempeño decididamente mejor que otras si el experimentador es llevado a pensar (erróneamente) que la primera pertenece a un linaje seleccionado por su alta inteligencia. Véase "The effect of experimental bias on the performance of the albino rat", *Behav. Sci.* 8, pp. 183-189, 1963. La lección que sacan los autores de estos artículos es que deben hacerse los experimentos por "ayudantes de investigación que no sepan cuál es el fin deseado" (p. 188). Como Bacon, esos autores ponen sus esperanzas en la mente vacía, olvidando que las expectativas del director de investigación pueden comunicarse, sin revelación explícita, a sus ayudantes de investigación, así como parecen comunicarse unos a otros, de cada ayudante a sus ratas.

¹⁵ Compárese mi [40], sec. 8. y mi [45].

lamarckianos.¹⁶ En esto parecen haber estado errados; y sin embargo, puede valer la pena especular sobre unos posibles límites al darwinismo, pues siempre debemos estar en busca de posibles opciones a cualquier teoría dominante.

Pienso que aquí pueden establecerse dos puntos. El primero es que el argumento contra la herencia genética de características adquiridas (como mutaciones) depende de la existencia de un mecanismo genético en que haya una distinción bastante clara entre la estructura genética y la parte restante del organismo: el soma. Pero este mecanismo genético debe ser, a su vez, producto tardío de la evolución, e indudablemente fue precedido por otros varios mecanismos de índole menos compleja. Además, sí se heredan ciertos tipos muy especiales de mutaciones; más particularmente, mutaciones de la estructura genética por obra de la radiación. Si suponemos, por tanto, que el organismo primitivo fue un gene desnudo entonces hasta podemos decir que se heredará toda mutación no letal a este organismo. Lo que no podemos decir es que este hecho contribuye en alguna forma a explicar la adaptación genética o el aprendizaje genético, salvo indirectamente por selección natural.

El segundo punto es éste. Podemos considerar la conjetura muy tentativa de que, como respuesta somática a ciertas presiones ambientales, se produce algún mutagene químico, que viene a aumentar lo

¹⁶ Es interesante recordar que Charles Darwin en sus últimos años creyó en la herencia ocasional aun de mutaciones. Véase su obra *The variation of animals and plants under domestication*, segunda edición, vol. I, pp. 466-470, 1875.

que se ha llamado la tasa de mutación espontánea. Éste sería una especie de efecto semilamarckiano, aun si la *adaptación* procediera exclusivamente de la eliminación de mutaciones; es decir, por selección natural. Desde luego, puede no haber mucho en esta conjetura, pues parece que la tasa de mutaciones espontánea basta para la evolución adaptativa.¹⁷

Establezcamos aquí estos dos puntos tan sólo como advertencia contra una adherencia demasiado dogmática al darwinismo. Desde luego, yo conjeturo que el darwinismo tiene razón, aun al nivel del descubrimiento científico, y que tiene razón aun más allá de este nivel: que hasta tiene razón al nivel de la creación artística. No descubrimos nuevos hechos o nuevos efectos copiándolos, ni infririéndolos inductivamente por observación, o por ningún otro método de instrucción del ambiente. Antes bien, nosotros valemos del método de prueba y eliminación del error. Como lo expresa Ernst Gombrich, "hacer es antes que comparar";¹⁸ la producción activa de una nueva estructura de prueba viene antes que su exposición a pruebas eliminatorias.

¹⁷ Tengo entendido que no se conocen mutagenes específicos (que actúen selectivamente, tal vez de acuerdo con una secuencia particular de codones en lugar de otros). Y sin embargo, su existencia no resultaría sorprendente en este campo de sorpresas; y pueden explicar los "puntos calientes" mutacionales. Sea como fuere, parece existir una verdadera dificultad para concluir, basándose en la ausencia de específicos mutagenes conocidos, que no existen los mutagenes específicos. Así, me parece a mí que sigue en pie el problema sugerido en el texto (la posibilidad de una reacción a ciertas corrientes por la producción de mutagenes).

¹⁸ Cf. Ernst Gombrich, *Art and illusion*, 1960, y ediciones posteriores; véase en el Índice "hacer y emparejar".

VI

Sugeriré, por lo tanto, que concibamos la forma en que la ciencia progresa un tanto sobre los lineamientos de las teorías de Niels Jerne y de Sir Macfarlane Burnet sobre la formación de anticuerpos.¹⁹ Las anteriores teorías sobre formación de anticuerpos supusieron que el antígeno funciona como modelo negativo para la formación del anticuerpo. Esto significaría que sí hay *instrucción desde fuera*, desde el antígeno invasor. La idea fundamental de Jerne fue que la instrucción o información que capacita al anticuerpo a reconocer el antígeno es, literalmente, innata: que es parte de la estructura genética, aunque posiblemente sujeta a un repertorio de variaciones mutacionales. Es transmitida por el código genético, por los cromosomas de las células especializadas que producen los anticuerpos; y la reacción inmunizadora es resultado de una estimulación del crecimiento dada a estas células por el complejo antígeno-anticuerpo. Así, estas células son *seleccionadas* con ayuda del medio invasor (es decir, con ayuda del antígeno), y no instruidas. (La analogía con la selec-

¹⁹ Véase Niels Kai Jerne, "The natural selection theory of antibody formation; ten years later", en *Phage and the origin of molecular biology*, ed. J. Cairns et al. (comp.), pp. 301-312, 1966; también "The natural selection theory of antibody formation", *Proc. natn. Acad. Sci.* 41, pp. 849-857, 1955, "Immunological speculations", *A. Rev. Microbiol.* 14, pp. 341-358, 1960; "The immune system", *Scient. Am.*, 229, p. 52-60, julio de 1973. Véase también Sir Macfarlane Burnet, "A modification of Jerne's theory of antibody production, using the concept of clonal selection", *Aust. J. Sci.* 20, pp. 67-69, 1957; *The clonal selection theory of acquired immunity*, Cambridge University Press, 1959.

ción —y la modificación— de teorías científicas fue claramente vista por Jerne, que en esta conexión se remite a Kierkegaard y a Sócrates en el *Menon*.) Con esta observación concluyo mi análisis de los aspectos biológicos del progreso en la ciencia.

VII

Sin arredrarme ante las teorías cosmológicas de la evolución, debidas a Herbert Spencer, trataré de delinear ahora la significación cosmológica del contraste entre *instrucción desde dentro de la estructura*, y *selección desde fuera, por eliminación de pruebas*.

Con este fin observaré primero la presencia, en la célula, de la estructura genética, la instrucción codificada, y de varias subestructuras químicas,²⁰ estas últimas, en aleatorio movimiento browniano. El proceso de instrucción por el cual el gene se duplica procede de esta manera. Las diversas estructuras son llevadas (por movimiento browniano) al gene, en forma aleatoria, y las que no embonan no logran adherirse a la estructura del ADN; mientras que las que embonan sí se adhieren (con ayuda de las enzimas). Por este proceso de prueba y selección²¹

²⁰ Las que yo llamo "estructuras" y "subestructuras" son llamadas "integriones" por François Jacob, *The logic of living systems: a history of heredity*, pp. 299-324, Allen Lane, Londres, 1974.

²¹ Algo cabe decir aquí acerca de la íntima relación entre "el método de prueba y de eliminación del error" y "selección": toda selección es eliminación de error; y lo que queda —después de la eliminación— como "seleccionado" no son, simplemente, más que aquellos juicios que no han sido eliminados *hasta allí*.

se forma una especie de negativo fotográfico o complemento de la instrucción genética. Después, este complemento se separa de la instrucción original, y por un proceso análogo forma, una vez más, su negativo. Este negativo del negativo se convierte en copia idéntica de la instrucción positiva original.²²

Este proceso selectivo subyacente en la duplicación es un mecanismo de acción rápida. Es en esencia el mismo mecanismo que actúa en los más de los ejemplos de la síntesis química y también, especialmente, en procesos como la cristalización. Sin embargo, aunque el mecanismo subyacente es selec-

²² La principal diferencia de un proceso de reproducción fotográfica es que la molécula de ADN no es bidimensional sino lineal: una larga hilera de cuatro tipos de subestructuras ("bases"). Éstas pueden representarse por puntos coloreados de rojo o de verde; o de azul o amarillo. Los cuatro colores básicos son negativos por parejas (o complementos) de cada uno. Así el negativo o complemento de una hilera consistiría en una hilera en que el rojo fuese remplazado por el verde, el azul por el amarillo, y viceversa. Aquí, los colores representan las cuatro letras (bases) que constituyen el alfabeto del código genético. Así, el complemento de la hilera original contiene una especie de traducción de la información original en otro código, íntimamente cercano, y la negativa de esta negativa contiene a su vez la información original, planteada en términos del código original (el genético).

Esta situación se utiliza en la duplicación, cuando, primero, un par de hileras complementarias se separa y, después, cuando se forman dos pares, cuando cada una de las hileras escoge selectivamente un nuevo complemento. El resultado es la duplicación de la estructura original, *a manera de instrucción*. Se utiliza un método muy similar en la segunda de las dos principales funciones del gene (ADN): el control, por vía de instrucción, de la síntesis de proteínas. Aunque el mecanismo subyacente de este segundo proceso es más complicado que el de la duplicación, el principio es similar.

tivo y opera por pruebas aleatorias y por la eliminación de errores, funciona como parte de lo que es, claramente, un proceso de instrucción, no de selección. Reconozco que, debido al carácter aleatorio de los movimientos que participan, los procesos correspondientes surgirán cada vez de manera ligeramente distinta. Pese a esto, los resultados son precisos y conservadores; los resultados quedan esencialmente determinados por la estructura original.

Si ahora buscamos procesos similares en la escala cósmica, surgirá un extraño cuadro del mundo, que dará paso a muchos problemas. Es un mundo dualista: un mundo de estructuras en movimiento caóticamente distribuidas. Las estructuras pequeñas (como las llamadas partículas elementales) forman estructuras más grandes; y esto es causado por un movimiento caótico o aleatorio de las estructuras pequeñas, en condiciones especiales de presión y temperatura. Las estructuras mayores pueden ser átomos, moléculas, cristales, galaxias y cúmulos gácticos. Muchas de estas estructuras parecen tener un efecto seminal, como gotas de agua en una nube, o cristales en una solución; es decir, pueden crecer y multiplicarse por instrucción; y pueden persistir o desaparecer por selección. Algunas de ellas, como los aperiódicos cristales del ADN²³ que constituyen la estructura genética de organismos y, con ellos, sus instrucciones de construcción, son infinitamente raras y, podemos decir, tal vez, sumamente preciosas.

²³ El término "cristal aperiódico" (a veces también "sólido aperiódico") es de Schrödinger; véase su *What is life?*, Cambridge University Press, 1944; cf. *What is life? y Mind and matter*, Cambridge University Press, pp. 64 y 91, 1967.

Este dualismo me parece fascinador: quiero decir, el extraño cuadro dualista de un mundo físico consistente en estructuras —o, antes bien, en procesos estructurales— comparativamente estables a todos los niveles macro y micro, y en subestructuras a todos los niveles, en movimiento distribuido aparentemente en forma caótica o aleatoria: un movimiento aleatorio que ofrece una parte del mecanismo por el que se sostienen estas estructuras y subestructuras, y por el cual pueden sembrar, por vía de instrucción; y crecer y multiplicarse, por vía de selección e instrucción. Este fascinador cuadro doble es compatible con el conocido cuadro dualista del mundo —sin embargo, totalmente distinto de él— como indeterminista en lo pequeño, debido al indeterminismo mecánico cuántico, y determinista en lo grande, debido al determinismo macrofísico. En realidad, diríase que la existencia de estructuras que se encargan de la instrucción y que introducen algo similar a estabilidad en el mundo, depende notablemente de efectos cuánticos.²⁴ Esto también parece

²⁴ Resulta casi trivial decir que las estructuras atómicas y moleculares tengan algo que ver con la teoría cuántica, considerando que las peculiaridades de la mecánica cuántica (como *eigenstates* y *eigenvalues*) fueron introducidas en la física para explicar la estabilidad estructural de los átomos.

La idea de que la "plenitud" estructural de los sistemas biológicos también tiene algo que ver con la teoría cuántica fue estudiada por primera vez, supongo, en el pequeño pero gran libro de Schrödinger, *What is life?* (1944) que, debe decirse, se anticipó a la vez al surgimiento de la biología molecular y a la influencia de Max Delbrück sobre su desarrollo. En este libro Schrödinger adopta una actitud conscientemente ambivalente hacia el problema de si la biología resultará o no reducible a física. En el

cierto para estructuras a los niveles atómicos molecular, de cristales, orgánico y aun estelar (pues la estabilidad de las estrellas depende de reacciones nucleares) mientras que para movimientos aleatorios que apoyen esto podemos apelar al clásico movimiento browniano y a la hipótesis clásica del caos molecular. Así, en este cuadro dualista de orden apoyado por el desorden, o de la estructura apoyada por la aleatoriedad, la función desempeñada por los efectos cuánticos y por los efectos clásicos parece ser casi la opuesta de la que podía verse en cuadros más tradicionales.

capítulo 7, "¿Está la vida basada en las leyes de la física?" dice (acerca de la materia viva), primero, que "debemos estar listos para encontrarla trabajando de una manera que no pueda reducirse a las leyes ordinarias de la física (*What is life?* y *Mind and matter*, p. 81). Pero poco después dice que "el nuevo principio" (es decir, "orden a partir del orden") "no es ajeno a la física": "no es más que el principio de la física cuántica, una vez más" (en forma del principio de Nernst) (*What is life?* y *Mind and matter*, p. 88). Mi actitud también es ambivalente; por una parte no creo en una reducibilidad completa; por la otra, pienso que *se debe intentar la reducción*, pues aun cuando sea probable que el éxito no pase de parcial, hasta un éxito muy parcial sería un gran éxito.

Así, mis observaciones en el texto al que se encuentra añadida esta nota (y que he dejado básicamente intacto) no pretendieron ser una afirmación del reduccionismo: todo lo que quise decir fue que la teoría cuántica parece participar en el fenómeno de "estructura a partir de la estructura" o bien "orden a partir del orden".

Sin embargo, mis observaciones no fueron bastante claras, pues en la discusión, después de la conferencia, el profesor Hanz Motz desafió lo que creyó que era mi reduccionismo refiriéndose a uno de los escritos de Eugene Wigner ("The probability of the existence of a self-reproducing unit", cap. 15 de su *Symmetries and reflections*:

VIII

Hasta aquí, he considerado el progreso en la ciencia básicamente desde un punto de vista biológico; sin embargo, me parece que los dos puntos lógicos siguientes son de importancia decisiva.

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

scientific essays, pp. 200-208, MIT Press, 1970). En este escrito, Wigner hace una especie de prueba de la tesis de que la probabilidad es cero de que un sistema teórico cuántico contenga un subsistema que se reproduzca a sí mismo (o, más precisamente, la probabilidad es cero de que un sistema cambie de tal manera que en un momento contenga algún subsistema y después un segundo subsistema que sea una copia del primero). Me he sentido intrigado por este argumento de Wigner desde que fue publicado en 1961, y en mi réplica a Motz indiqué que la prueba de Wigner me parecía refutada por la existencia de máquinas xerox (o por el crecimiento de los cristales) que debe considerarse como mecánica cuántica, antes que como sistemas "biológicos". (Puede afirmarse que una copia xerox o un cristal no se reproduce con precisión suficiente; sin embargo, lo más desconcertante del escrito de Wigner es que no se refiere a grados de precisión, y que la absoluta exactitud o la "confiabilidad virtualmente absoluta, en apariencia", como dice en la p. 208 —que no es requerida— parece excluida de una vez por el principio de Pauli.) No creo yo que ni la reduciibilidad de la biología a la física ni su reduciibilidad puedan probarse; al menos, no en la actualidad.

²⁵ Así, la teoría de Einstein *contradice* a la teoría de Newton (aunque contenga la teoría de Newton como aproximación): en contradistinción con la teoría de Newton,

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

Mi segundo punto es que el progreso en la ciencia, aunque revolucionario y no sólo acumulativo,²⁶ en cierto sentido es siempre conservador: una nueva teoría, por revolucionaria que sea, siempre debe ser capaz de explicar plenamente el triunfo de su predecesora. En todos los casos en que la predecesora triunfó debe producir resultados al menos tan buenos como los de aquélla y, de ser posible, mejores. Así, en estos casos la teoría predecesora debe parecer una buena aproximación a la nueva teoría; aunque debe haber, de preferencia, otros casos en que la nueva teoría rinda resultados diferentes y mejores que la antigua teoría.²⁷

la teoría de Einstein muestra, por ejemplo que, en campos gravitacionales fuertes no puede haber una órbita elíptica kepleriana con apreciable excentricidad pero sin la correspondiente precesión del perihelio (como se observó en Mercurio).

²⁶ Hasta coleccionar mariposas es algo impregnado por una teoría ("mariposa" es un término teórico, como lo es "agua": incluye un conjunto de expectativas). La reciente acumulación de pruebas concernientes a las partículas elementales puede interpretarse como una acumulación de falsaciones de la antigua teoría electromagnética de la materia.

²⁷ Puede hacerse una demanda aún más radical, pues podemos exigir que si las leyes aparentes de la naturaleza cambiarán, entonces la nueva teoría, inventada para explicar las nuevas leyes, podría explicar el estado de cosas antes y después del cambio, y también el cambio mismo, a partir de leyes y condiciones iniciales (cambiantes) (cf. mi [40] sección 79, esp. p. 253).

Al plantear estas normas lógicas para el progreso, estoy rechazando implícitamente la sugerencia de moda (antirracionalista) de que dos teorías distintas, como la de New-

El punto importante en las dos normas lógicas que he planteado es que nos permiten decidir de cualquier nueva teoría, desde antes de someterla a prueba, que será mejor que la anterior si pasa las pruebas. Pero esto significa que, en el terreno de la ciencia, contamos con algo que podría llamarse una norma para juzgar la calidad de una teoría en comparación con su predecesora y, por tanto, una norma de progreso. Significa, así, que el progreso en ciencia puede evaluarse racionalmente.²⁸ Esta posibilidad ex-

ton y la de Einstein, son incommensurables. Puede ser verdad que dos científicos con una actitud verificacionista hacia sus teorías predilectas (por ejemplo, la física newtoniana y la einsteiniana) no lleguen a entenderse entre sí; pero si su actitud es crítica (como lo fue la de Newton y la de Einstein), comprenderán ambas teorías y verán cómo se relacionan. Para este problema, véase el excelente análisis de la comparabilidad de las teorías de Newton y de Einstein de Troels Eggers Hansen en su escrito, "Confronación y objetividad", *Danish Yb. Phil.* 7, pp. 13-72, 1972.

²⁸ Las exigencias lógicas analizadas aquí (cf. cap. 10 de mi [44] y cap. 5 de [45]), aunque me parecen de importancia fundamental, desde luego no agotan lo que se puede decir del método racional de la ciencia. Por ejemplo en mi *Prostata* (que ha estado en galeras desde 1957, pero que espero que aún se publicará algún día) he desarrollado una teoría de lo que llamo programas de investigación metafísica. Debe mencionarse que esta teoría de ninguna manera choca con la teoría de la prueba y del avance revolucionario de la ciencia, que he esbozado aquí. Un ejemplo que he dado allí de un programa de investigación metafísica es el uso de la teoría de la propensión de la probabilidad, que parece tener una vasta gama de aplicaciones.

Lo que digo en el texto no debe interpretarse en el sentido de que la racionalidad depende de tener una norma de racionalidad. Comparese mi crítica de las filosofías de

plica por qué en la ciencia sólo se consideran interesantes las teorías progresistas; y explica así por qué, en cuestión histórica, la historia de la ciencia es en términos generales una historia del progreso. (La ciencia parece ser el único campo del esfuerzo humano del que puede decirse esto.)

Como ya lo he dicho antes, el progreso científico es revolucionario. En realidad su lema podría ser de Karl Marx: "La revolución permanente." Las revoluciones científicas son sin embargo, racionales en el sentido de que, en principio, se puede decidir racionalmente si una nueva teoría es mejor o no que su predecesora. Desde luego, esto no significa que no podamos equivocarnos. Podemos cometer errores de muchas maneras.

Un ejemplo de un error sumamente interesante nos lo ofrece Dirac.²⁹ Schrödinger descubrió, pero no publicó, una ecuación relativista del electrón, después llamada la ecuación Klein-Gordon, antes de descubrir y publicar la célebre ecuación no relativista que hoy lleva su nombre. No publicó la ecuación relativista porque no le parecía que encajara con los resultados experimentales interpretados por la teoría precedente. Sin embargo, la discrepancia se debió a una interpretación errónea de resultados empíricos, no a una falta de la ecuación relativista. Si Schrödinger la hubiese publicado, no habría surgido el problema de la equivalencia entre su mecánica ondulatoria y la mecánica de las matrices, de

la norma en el Addendum I, Hechos, normas y verdad, al vol. II de mi [42].

²⁹ Esto se encuentra narrado por Paul A. M. Dirac, "The evolution of the physicist's picture of nature", *Scient. Am.* 208, núm. 5, pp. 45-53, 1963; véase esp. p. 47.

Heisenberg y Born; y la historia de la física moderna habría sido muy distinta.

Ya debe ser obvio que la objetividad y la racionalidad del progreso en la ciencia no se dan por la objetividad y la racionalidad personales de los hombres de ciencia.³⁰ La gran ciencia y los grandes científicos, como los grandes poetas, a menudo son inspirados por intuiciones no racionales. Y también los grandes matemáticos. Como lo han señalado Poincaré y Hadamard,³¹ una prueba matemática puede ser descubierta por pruebas inconscientes, guiadas por una inspiración de carácter decididamente esotérico, y no por un pensamiento racional. Esto es verdadero e importante. Pero, obviamente, no hace que el resultado, la prueba matemática, sea irracional. Sea como fuere, una prueba propuesta debe soportar una discusión crítica: Su examen, por matemáticos en competencia. Y esto bien puede inducir al inventor matemático a comprobar de manera racional los resultados a los que llegó inconsciente o intuitivamente. De modo similar, los bellos sueños pitagóricos que Kepler tuvo sobre la armonía del sistema universal no invalidan la objetividad, la *verdad*, la racionalidad de sus tres leyes; ni la racionalidad del problema que estas leyes plantaron a 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 ciertas

³⁰ Cf. de mi crítica de la llamada "sociología del conocimiento" en el cap. 23 de mi [42], y pp. 155 ss. de mi [43].

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

observaciones que pueden describirse como parcialmente sociológicas, y que tratan de los *obstáculos* puestos al progreso en la ciencia.

IX

Creo yo que los principales obstáculos al progreso en la ciencia son de naturaleza social, y que se pueden dividir en dos grupos: obstáculos económicos y obstáculos ideológicos. Del lado económico, la pobreza puede ser, trivialmente, un obstáculo (aunque se han logrado grandes descubrimientos teóricos y experimentales a pesar de la pobreza). Sin embargo, en años recientes se ha vuelto bastante claro que también la riqueza puede ser un obstáculo: demasiados dólares pueden ahuyentar demasiado pocas ideas. Reconocidamente, aun en tan adversas circunstancias *puede* lograrse algún progreso. Pero el espíritu de la ciencia está en peligro. La Ciencia Grande puede destruir la gran ciencia, y la explosión de las publicaciones puede matar las ideas: las ideas, demasiado escasas, pueden quedar sumergidas en la corriente. Este peligro es muy real, y casi no es necesario explayarse al respecto, pero tal vez deba yo citar a Eugene Wigner, uno de los primeros héroes de la mecánica cuántica, que tristemente observó:³² "El espíritu de la ciencia ha cambiado."

Éste es en realidad un capítulo triste. Pero como es demasiado obvio, no diré más acerca de los obstáculos económicos al progreso en la ciencia; en cam-

³² "A conversation with Eugene Wigner", *Science* 181, pp. 527-533, 1973; véase p. 533.

bio, me dedicaré a discutir algunos de los obstáculos ideológicos.

X

En general el más reconocido de los obstáculos ideológicos es la intolerancia ideológica o religiosa, habitualmente combinada con dogmatismo y falta de imaginación. Los ejemplos históricos son tan conocidos que no necesito explayarme al respecto; sin embargo, cabe notar que aun la supresión puede conducir al progreso. El martirio de Giordano Bruno y el juicio de Galileo tal vez hicieron más, a la postre, por el progreso de la ciencia, de lo que la Inquisición pudo hacer contra él.

El extraño caso de Aristarco y la teoría heliocéntrica original tal vez plantea un problema distinto. Por causa de su teoría heliocéntrica, Aristarco fue acusado de impiedad por el estoico Cleantes. Pero esto no explica la supresión de la teoría; tampoco puede decirse que la teoría fuese demasiado audaz. Sabemos que la teoría de Aristarco fue apoyada, un siglo después de su formulación, al menos por un respetado astrónomo (Seleuco).³³ Sin embargo, por alguna razón oscura, sólo han sobrevivido unos pocos informes de la teoría. He aquí un ejemplo patente de los casos, demasiado frecuentes, en que no se han mantenido vivas las ideas alternativas.

Cualesquiera que sean los detalles de la explicación, esta falla probablemente se debió a dogmatismo e intolerancia. Pero las nuevas ideas deben considerarse.

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

rarse inapreciables y ser cuidadosamente alimentadas, en especial si parecen un poco excesivas. No estoy sugiriendo que debamos estar ávidos por aceptar nuevas ideas sólo por su novedad misma, pero sí debemos tener cuidado de no suprimir una idea nueva aunque no nos parezca muy buena.

Existen muchos ejemplos de ideas desdenadas, como la idea de la evolución antes de Darwin, o la teoría de Mendel. Mucho debe aprenderse de los obstáculos puestos al progreso en la historia de estas ideas desdenadas. Un caso interesante es el del físico vienés Arthur Haas, quien en 1910 se anticipó parcialmente a Niels Bohr. Haas publicó una teoría del espectro de hidrógeno basada en una cuantización del modelo atómico de J. J. Thomson; aún no existía el modelo de Rutherford. Al parecer Haas fue el primero en introducir el *quantum* de acción de Planck en la teoría atómica, con la intención de derivar las constantes espectrales. Pese a que empleó el modelo atómico de Thomson, Haas casi logró su derivación; y como lo ha explicado en detalle Max Jammer, parece muy posible que la teoría de Haas (que fue tomada muy en serio por Sommerfeld) influyera indirectamente sobre Niels Bohr.³⁴ Sin embargo, en Viena la teoría fue rechazada inmediatamente; fue ridiculizada como broma estúpida por Ernst Lecher (cuyos tempranos experimentos habían impresionado a Heinrich Hertz);³⁵ uno de los profe-

³⁴ Véase Max Jammer, *The conceptual development of quantum mechanics*, pp. 40-42, McGraw-Hill, Nueva York, 1966.

³⁵ Véase Heinrich Hertz, *Electric waves*, Macmillan and Co., Londres, 1894; Dover ed., Nueva York, 1962, pp. 12, 187 ss., 273.

sores de física de la Universidad de Viena, a cuyas conferencias, un tanto pedestres y no muy inspiradoras, yo asistí ocho o nueve años después.

Un caso mucho más sorprendente, también descrito por Jammer,³⁶ fue el rechazo, en 1913, de la teoría del fotón de Einstein, publicada por primera vez en 1905, por la cual recibiría el Premio Nobel en 1921.

Este rechazo de la teoría del fotón era un pasaje dentro de una petición en que se recomendaba a Einstein para ser miembro de la Academia Prusiana de Ciencias. El documento, firmado por Max Planck, Walther Nernst y otros dos célebres físicos, era sumamente elogioso, y los signatarios pedían que no se tuviese en cuenta, contra Einstein, cierto deslíz (como obviamente creían que lo era su teoría del fotón). Esta confiada manera de rechazar una teoría, que, el mismo año, pasó una severa prueba experimental emprendida por Millikan, tiene, sin duda su lado humorístico, y sin embargo debe ser considerada como un incidente glorioso en la historia de la ciencia, que muestra que hasta un rechazo un tanto dogmático de los más grandes expertos de la época puede ir de la mano con una apreciación sumamente liberal: estos hombres ni siquiera soñaron en suprimir lo que creían que era un error. En realidad, la redacción de la disculpa por el deslíz de Einstein resulta muy interesante y reveladora. El pasaje pertinente de la petición dice de Einstein:

³⁶ Véase Jammer, *op. cit.*, pp. 43 s. y Théo Kahan, "Un document historique de l'académie des sciences de Berlin sur l'activité scientifique d'Albert Einstein (1913)", *Archiv. int. Hist. Sci.* 15, pp. 337-342, 1962; véase esp. p. 340.

"El que a veces tal vez fuera demasiado lejos en sus especulaciones, como por ejemplo en su hipótesis de los *quanta* de luz (es decir, fotones), no debe pesar demasiado contra él, pues nadie puede introducir, ni aun en la más exacta de las ciencias naturales, ideas que sean realmente nuevas sin correr a veces un riesgo."³⁷ Esto está bien dicho, pero resulta un eufemismo. Siempre hay que correr el riesgo de ser mal interpretado, y también el riesgo menos importante de ser mal comprendido o mal juzgado.

Sin embargo, este ejemplo pone de relieve que aun los grandes científicos a veces no alcanzan esa actitud autocrítica que los salvaría de sentirse muy seguros de sí mismos mientras erraban gravemente al juzgar las cosas.

Sin embargo, una dosis limitada de dogmatismo sí es necesaria para el progreso: sin una seria lucha por la supervivencia en que las antiguas teorías se defienden tenazmente, ninguna de las teorías en competencia podrá mostrar su temple; es decir, su poder explicativo y su contenido de verdad. Empero, el dogmatismo intolerante es uno de los principales obstáculos para la ciencia. En realidad, no sólo debemos mantener vivas las teorías opuestas discutiéndolas sino que debemos buscar sistemáticamente otras nuevas, y debemos preocuparnos cuando éstas no se presentan: cada vez que una teoría predominante se vuelve demasiado exclusiva. El peligro para el progreso en la ciencia aumenta sobremanera si la teoría en cuestión logra establecer algo parecido a un monopolio.

³⁷ Compárese la traducción ligeramente distinta de Jammer, *loc. cit.*

XI

Pero existe un peligro aún mayor: una teoría, hasta una teoría científica, puede convertirse en una moda intelectual, un sustituto de la religión, una ideología atincherada. Y con esto llego al punto principal de esta segunda parte de mi conferencia: la parte que trata de los obstáculos al progreso en la ciencia; a la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas.

Pues, además del problema siempre importante del dogmatismo y del problema, íntimamente relacionado con el anterior, de la intolerancia ideológica, existe un problema distinto y, a mi parecer, más interesante. Me refiero al problema que surge de ciertos vínculos entre ciencia e ideología, vínculos que existen pero que han conducido a algunas personas a combinar ciencia con ideología, y a confundir la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas.

Creo que éste es un problema realmente grave en una época en que los intelectuales, incluso los hombres de ciencia, tienden a aceptar ideologías y modas intelectuales. Esto bien puede deberse a la decadencia de la religión, a las necesidades religiosas no satisfechas e inconscientes de nuestra sociedad sin padre.³⁸ Durante mi vida he presenciado, aparte de los

³⁸ Por su estructura, nuestras sociedades occidentales no satisfacen la necesidad de una figura paterna. He estudiado los problemas que surgieron de este hecho, brevemente en mis Conferencias William James en Harvard (1950) (índices).

Mi difunto amigo, el psicoanalista Paul Federn, me mostró poco después un temprano escrito suyo, dedicado a este problema.

diversos movimientos totalitarios, un número considerable de movimientos con grandes pretensiones intelectuales, y declaradamente no religiosos, con aspectos cuyo carácter religioso es inconfundible una vez que nos fijamos en él.³⁹ El mejor de estos movimientos fue aquel inspirado por la figura paterna de Einstein. El mejor, por causa de la actitud siempre modesta y autocrítica de Einstein, así como por su humanidad y tolerancia. Sin embargo, más adelante tendré unas palabras que decir acerca de los que me parecieron los aspectos menos satisfactorios de la revolución ideológica einsteiniana.

No soy esencialista, y no analizaré la esencia ni la naturaleza de las "ideologías". Tan sólo diré, vagamente, que aplicaré el término "ideología" a cualquier teoría o credo o cosmovisión *no científica* que demuestre ser atractiva y que interese a la gente, inclusive los hombres de ciencia. (Así, puede haber ideologías muy útiles y también muy destructivas, digamos, desde un punto de vista humanitario o racionalista.)⁴⁰ No necesito decir más acerca de las

³⁹ Ejemplos obvios son las funciones de profeta desempañadas, en varios movimientos, por Sigmund Freud, Arnold Schönberg, Karl Kraus, Ludwig Wittgenstein y Herbert Marcuse.

⁴⁰ Hay muchos tipos de "ideologías" en el sentido general y (deliberadamente) vago del término que yo he empleado en el texto y, por tanto, muchos aspectos de la distinción entre ciencia e ideología. Cabe mencionar dos aquí. Uno es que a las teorías científicas se les puede distinguir o "denotar" (véase nota 41), en contradistinción con las teorías no científicas que, sin embargo, pueden influir poderosamente sobre los hombres de ciencia y aun inspirar su trabajo. (Esta influencia, desde luego, puede ser buena o mala o mixta.) Un aspecto muy distinto es el atincheramiento: una teoría científica puede funcionar

ideologías para justificar la clara distinción que voy a trazar entre la ciencia⁴¹ y la "ideología" y, además, entre *revoluciones científicas* y *revoluciones ideológicas*. Pero elucidaré esta distinción con ayuda de un buen número de ejemplos.

Espero que estos ejemplos mostrarán que es importante distinguir entre una revolución científica en el sentido de un derrocamiento racional de una

como ideología si llega a atrincherarse socialmente. Por ello, al hablar de la distinción entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas, he incluido entre las revoluciones ideológicas los cambios en las ideas no científicas que pueden inspirar la labor de científicos, y también los cambios en el atrincheramiento social de lo que de otra manera puede ser una teoría científica. (Debo la formulación de los puntos de esta nota a Jeremy Shearmur quien también aportó otros puntos de que se trata en esta conferencia.)

⁴¹ Para no repetirme demasiado a menudo, no mencioné en esta conferencia mi sugerencia de una norma del carácter empírico de una teoría (falsabilidad o refutabilidad como la norma de demarcación entre teorías empíricas). Como [en inglés] "ciencia" significa "ciencia empírica", y como la cuestión no ha sido suficientemente analizada en mi libro, he escrito cosas como la siguiente (por ejemplo, [44, p. 391]: "... para ser admitidos como científicos [los postulados] deben ser capaces de entrar en conflictos con observaciones posibles o concebibles". Algunas personas saltaron sobre esto como un tiro (desde 1932, creo yo). "¿Qué me dice de su propio evangelio?", es la pregunta típica. (Volví a encontrar esta objeción en un libro publicado en 1973.) Sin embargo, mi respuesta a la objeción fue publicada en 1934 (véase [40], cap. 2, sección 10 y otras partes). Puede replantear mi respuesta: mi evangelio no es "científico", es decir, no pertenece a la ciencia empírica sino que es, antes bien, una *proposición* (normativa). Incidentalmente, mi evangelio (y también mi respuesta), es criticable, aunque no justamente por observación, y ha sido criticado.

teoría científica establecida, por otra nueva, y todos los procesos del "atrincheramiento social" o tal vez "aceptación social" de ideologías, incluyendo hasta las ideologías que incorporaron algunos resultados científicos.

XII

Como primer ejemplo he escogido las revoluciones copernicana y darwiniana, porque en estos dos casos, una revolución científica hizo surgir una revolución ideológica. Aun si olvidamos aquí la ideología del "darwinismo social",⁴² podemos distinguir un componente científico y uno ideológico en ambas revoluciones.

Las revoluciones copernicana y darwiniana fueron *ideológicas* hasta el punto en que ambas cambiaron la visión del hombre sobre su lugar en el universo. Claramente fueron *científicas* hasta el punto en que cada una de ellas derrocó una teoría científica dominante: una teoría astronómica dominante y una teoría biológica dominante.

Tal parece que la repercusión ideológica de la teoría copernicana y también de la darwiniana fue tan grande porque cada una de ellas chocó con un dogma religioso. Esto fue de enorme importancia para la historia intelectual de nuestra civilización, y tuvo repercusiones sobre la historia de la ciencia (condujo por ejemplo, a una tensión entre religión y ciencia). Y sin embargo, el hecho histórico y sociológico de que las teorías de Copérnico y Darwin chocaran con la religión debe ser completamente

⁴² Para una crítica del darwinismo social, véase mi [42], cap. 10, nota 71.

ajeno a toda evaluación racional de las teorías científicas propuestas por ellos. Lógicamente, no tiene nada que ver con la revolución *científica* iniciada por cada una de las dos teorías.

Por ello, importa distinguir entre revoluciones científicas y revoluciones ideológicas, particularmente en los casos en que las revoluciones ideológicas interactúan con las revoluciones en la ciencia.

El ejemplo, especialmente, de la revolución ideológica copernicana, puede mostrar que hasta una revolución ideológica bien puede ser descrita como "racional". Sin embargo, aunque tenemos una norma lógica del progreso en la ciencia —y, por tanto, de la racionalidad— no parecemos tener nada similar a normas generales de progreso o de racionalidad fuera de la ciencia (aunque no debe interpretarse esto en el sentido de que fuera de la ciencia no existe nada que pueda llamarse normas de racionalidad). Hasta una ideología de alto grado intelectual que se base en resultados científicos aceptados puede ser irracional, como lo muestran los muchos movimientos del modernismo en el arte (y en la ciencia), y también de arcaísmo en el arte, movimientos que, a mi parecer, son intelectualmente insípidos, pues apelan a valores que no tienen nada que ver con el arte (o con la ciencia). En realidad, muchos movimientos de esta índole no son más que modas que no se deben tomar demasiado en serio.⁴³

⁴³ Abundando en el empleo del vago término "ideología" (que incluye todo tipo de teorías, creencias y actitudes, incluyendo algunas que pueden influir sobre los científicos) debe quedar en claro que pretendo cubrir con este término no sólo las modas historicistas como el "modernismo" sino también ideas metafísicas y éticas serias y racional-

Procediendo con mi tarea de elucidar la distinción entre revoluciones científicas e ideológicas, presentaré ahora varios ejemplos de grandes revoluciones científicas que no condujeron a ninguna revolución ideológica.

La revolución de Faraday y de Maxwell fue, desde un punto de vista científico, tan grande como la de Copérnico, y tal vez mayor, destronó el dogma central de Newton: el dogma de las fuerzas centrales. Y sin embargo *no* condujo a una revolución ideológica, aunque sí inspiró a toda una generación de físicos.

El descubrimiento (y la teoría) de J. J. Thomson acerca del electrón también constituyó una revolución importante. Destronar la antiquísima teoría de la indivisibilidad del átomo constituyó una revolución científica fácilmente comparable a la realización de Copérnico; cuando Thomson la anunció, los físicos pensaron que estaba haciéndoles una broma. Pero no creó una revolución ideológica. Y sin embargo derrocó las dos teorías rivales que durante 2 400 años habían estado luchando por el predominio en la teoría de la materia: la teoría de los átomos indivisibles y de la continuidad de la materia discutibles. Tal vez deba referirme a Jim Erikson, ex estudiante mío en Christchurch, Nueva Zelanda, quien una vez dijo en una discusión: "No sugerimos que la ciencia inventó la probabilidad intelectual; sugerimos que la ciencia intelectual inventó la ciencia." Una idea muy similar se encuentra en el cap. ix ("El reino y las tinieblas") del libro de Jacques Monod, *Chance and necessity*, Knopf, Nueva York, 1971. Véase también mi [42], vol. II, cap. 24 ("La revuelta contra la razón"). Desde luego, podríamos decir que una ideología que ha aprendido de este enfoque crítico de las ciencias probablemente será más racional que otra que choque con la ciencia.

teria. Para evaluar la importancia revolucionaria de este avance, baste recordar al lector que introdujo la estructura así como la electricidad en el átomo y, así, en la constitución de la materia. También la mecánica cuántica de 1925-1926, de Heisenberg y de Born, de De Broglie, de Schrödinger y de Dirac fue esencialmente una teoría del electrón de Thomson. La revolución científica de Thomson condujo a la revolución científica en la tecnología, y a la mecánica cuántica; más especialmente condujo a la fase de estado sólido de esta revolución tecnológica. Pero ninguna de estas grandes revoluciones científicas y tecnológicas estimuló (como lo hizo la revolución copernicana, o la darwiniana) una nueva ideología semipopular.

Otro ejemplo asombroso fue la abolición, hecho por Rutherford en 1911, del modelo del átomo propuesto por J. J. Thomson en 1903. Rutherford había aceptado la teoría de Thomson según la cual la carga positiva debe distribuirse por todo el espacio ocupado por el átomo. Esto puede verse en su reacción al célebre experimento de Geiger y Marsden. Éstos encontraron que cuando lanzaban partículas *alfa* contra una delgada placa de chapa de oro, unas pocas de las partículas *alfa*—cerca de una en veintemil—eran devueltas por la chapa, en lugar de ser simplemente desviadas. Rutherford se mostró increíble. Como después diría:⁴⁴ “Fue el hecho más increíble que me ha ocurrido en mi vida. Fue casi tan increíble como si disparásemos un proyectil de quin-

⁴⁴ Lord Rutherford, “The development of the theory of atomic structure”, en J. Needham y W. Pagel (comps.), *Background of modern science*, pp. 61-74, Cambridge University Press, 1938; la cita es de la p. 68.

ce pulgadas contra una pieza de tejido de papel, y regresara contra uno.” Esta observación de Rutherford muestra el carácter absolutamente revolucionario del descubrimiento. Rutherford comprendió que el experimento refutaba el modelo del átomo de Thomson, y lo reemplazó por el modelo nuclear del átomo. Éste fue el principio de la ciencia nuclear. El modelo de Rutherford llegó a ser sumamente conocido, aun entre los legos. Pero no desencadenó una revolución ideológica.

Una de las revoluciones científicas fundamentales de la historia de la teoría de la materia nunca ha sido reconocida como tal. Me refiero a la refutación de la teoría electromagnética de la materia, que ha alcanzado el predominio tras el descubrimiento del electrón por Thomson. La mecánica cuántica surgió como parte de esta teoría, y fue lo “completo” de esta teoría lo que fue defendido por Bohr contra Einstein en 1935, y otra vez en 1949. Y sin embargo, en 1934 Yukawa había esbozado un nuevo enfoque teórico-cuántico de las fuerzas nucleares, que dio por resultado la abolición de la teoría electromagnética de la materia, tras cuarenta años de dominio indiscutido.⁴⁵

⁴⁵ Véase mi “Mecánica cuántica sin ‘el observador’”, en *Quantum theory and reality* (ed. Mario Bunge), esp. pp. 8-9, Springer-Verlag, Nueva York, 1967. (Formará un capítulo de mi volumen, de próxima aparición, *Philosophy and physics*.)

La idea fundamental (que la masa inercial del electrón es explicable en parte como la inercia del móvil campo electromagnético) que condujo a la teoría electromagnética de la materia se debe a J. J. Thomson. Sobre los efectos eléctricos y magnéticos producidos por el movimiento de los cuerpos electrificados, *Phil. Mag.* (5ª Ser.) 11, pp. 229-

Hay muchas otras revoluciones científicas que no desencadenaron ninguna revolución ideológica; por ejemplo, la revolución de Mendel (que después salvaría de extinción al darwinismo). Otras son los rayos X, la radiactividad, el descubrimiento de los isótopos y el descubrimiento de la superconduc-

249, 1881, y a O. Heaviside; sobre el efecto electromagnético debido al movimiento de la electrificación a través de un dieléctrico. *Phil. Mag.* (5ª Ser.) 27, pp. 324-339, 1889. Fue desarrollada por W. Kaufmann ("Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Bequerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen", *Göttinger Nachr.*, pp. 143-155, 1901; "Ueber die elektromagnetische Masse des Elektrons", pp. 291-296, 1902; "Ueber die 'Elektromagnetische Masse' der Elektronen", pp. 90-103, 1903 y M. Abraham ("Dynamik der Elektronen", *Göttinger Nachr.*, pp. 20-41, 1902; "Prinzipien der Dynamik des Elektrons", *Annln Phys.* (4ª Ser.) 10, pp. 105-179, 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, pp. 54-57 [102-103], y M. Abraham, "Prinzipien der Dynamik des Elektrons", *Phys. Z.*, 4, pp. 57-63 [1902-1903], y M. Abraham, *Theorie der Elektrizität*, vol II, pp. 136-249, Leipzig, 1905.) La idea recibió el poderoso apoyo de H. A. Lorentz, "Elektromagnetische verschijnnselen in een stelsel dat zich met willekeurige snelheid, kleiner dan die van het licht, beweegt", *Versl. gewone Vergad. wis— en natuurk. Afd. K. Akad. Wet-Amst.*, 12, segunda parte, pp. 986-1009, 1903-1904, y por la relatividad especial de Einstein, conducente a resultados que se desviaban de los de Kaufmann y Abraham. La teoría electromagnética de la materia tuvo una gran influencia ideológica sobre los hombres de ciencia por causa de la fascinadora posibilidad de explicar la materia. Se tambaleó y fue modificada por el descubrimiento del núcleo (y del protón) por Rutherford y por el descubrimiento del neutrón por Chadwick, lo que puede ayudar a explicar por qué casi pasó inadvertido su derrocamiento final por la teoría de las fuerzas nucleares.

tividad. Ninguna de éstas tuvo una correspondiente revolución ideológica. Y tampoco veo, hasta ahora, una revolución ideológica resultante del gran avance de Chick y Watson.

XIII

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

De los muchos descubrimientos revolucionarios logrados por Einstein en la física, hay dos que nos interesan aquí.

El primero es la relatividad especial, que derrocó la cinemática newtoniana, remplazando la invariancia de Galileo por la invariancia de Lorentz.⁴⁶ Desde

⁴⁶ La potencia revolucionaria de la relatividad especial se encuentra en un nuevo punto de vista que permite la derivación e interpretación de las transformaciones de Lorentz a partir de dos simples primeros principios. La mejor manera de apreciar la grandeza de esta revolución es leer el libro de Abraham (vol. II, al que nos referimos en la nota 45, *supra*). Este libro, ligeramente anterior a los escritos de Poincaré y de Einstein sobre la relatividad, contiene un análisis completo de la situación del problema: de la teoría de Lorentz sobre el experimento de Michelson y aun del tiempo local de Lorentz. Abraham, por ejemplo en las pp. 143 s. y 370 s., se acerca mucho a las ideas einsteinianas. Hasta parece como si Max Abraham estuviese mejor informado de la situación del problema que el propio Einstein. Sin embargo, no hay una percatación de las potencialidades revolucionarias de la situación del problema; todo lo contrario, pues Abraham escribe en su Prólogo, fechado en marzo de 1905: "La teoría de la elec-

luego, esta revolución satisface nuestras normas de racionalidad: las antiguas teorías quedan explicadas como aproximadamente válidas para velocidades que son bajas comparadas con la velocidad de la luz.

Por cuanto a la revolución ideológica vinculada a esta revolución científica, uno de cuyos elementos se debe a Minkowski, bien podemos plantear este elemento con palabras del propio Minkowski: "Las visiones del espacio y el tiempo que deseo poner ante vosotros... son radicales. En adelante, el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo están condenados a desvanecerse hasta ser simples sombras, y sólo una especie de unión de los dos conservará una realidad independiente."⁴⁷ Ésta es una afirmación intelectual-mente estremecedora, pero es claro que no es ciencia: es ideología. Llegó a formar parte de la ideología de la revolución einsteiniana. Pero el propio Einstein nunca se sintió completamente satisfecho con ella. Dos años antes de su muerte escribió a Cornelius Lanczos: "¡Sabemos tanto y comprendemos tan poco! La cuatridimensional con la [firma de Minkowski]... pertenece a esta última categoría."

El elemento más sospechoso de la revolución ideológica parece haber entrado hoy en un estado de desarrollo más apacible." Esto muestra cuán difícil es, aun para un gran científico como Abraham, prever el desarrollo futuro de su ciencia.

⁴⁷ Véase H. Minkowski, "Space and time", en A. Einstein, H. A. Lorentz, H. Weyl, y H. Minkowski, *The principle of relativity*, Methuen, Londres, 1923, y Dover ed., Nueva York, p. 75. Para la cita de la carta de Einstein a Cornelius Lanczos, más avanzada en el mismo párrafo de mi texto, véase C. Lanczos, "Rationalism and the physical world", en R. S. Cohen y M. Wartofsky (comps.), *Boston studies in the philosophy of science*, vol. 3, pp. 181-198, 1967; véase p. 198.

lógica einsteiniana es la moda del operacionalismo o positivismo, moda que Einstein después rechazó, aunque él mismo fue responsable de ella, debido a lo que había escrito acerca de la definición operacional de la simultaneidad. Aunque, como después Einstein lo comprendió,⁴⁸ el operacionalismo es lógicamente una doctrina insostenible, desde entonces ha sido muy influyente en la física y en especial en la psicología conductista.

Con respecto a las transformaciones de Lorentz, no parece haber formado parte de la ideología el que limiten la validez de la transitividad de la simultaneidad; el principio de transitividad sigue siendo válido dentro de cada sistema inercial, aunque se vuelva inválido para la transición de un sistema a otro; tampoco ha llegado a formar parte de la ideología el hecho de que la relatividad general, o más especialmente la cosmología de Einstein, permita la introducción de un tiempo cósmico preferido y, por consiguiente, de marcos espacio-temporales locales preferidos.⁴⁹

A mi parecer, la relatividad general fue una de las más grandes revoluciones científicas de todos los tiempos, porque chocó con la teoría más grande y

⁴⁸ Véase mi [44], p. 114 (con la nota 30 de pie de página); también mi [42], vol. II, p. 20, y la crítica en mi [40], p. 440. Señalé esta crítica en 1950 a P. W. Bridgman, quien la recibió con suma generosidad.

⁴⁹ 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 escrito al que nos hemos referido en la nota 29, *supra*) diga que hoy duda de que el pensamiento cuatridimensional sea una exigencia fundamental de la física. (Es un requerimiento fundamental para conducir un auto.)

mejor probada de todos los tiempos: la teoría de la gravedad de Newton y del sistema solar. Contiene, como tenía que contener, la teoría de Newton como aproximación, y sin embargo la contradice en diversos puntos. Arroja resultados distintos para órbitas elípticas de apreciable excentricidad, y entraña el resultado asombroso de que cualquier partícula física (incluso fotones) que enfoque el centro de un campo gravitacional con una velocidad que exceda seis décimos de la velocidad de la luz no es acelerada por el campo gravitacional, como en la teoría de Newton, sino desacelerada; es decir, no atraída por un cuerpo pesado sino repelida.⁵⁰ Este resultado, por un cuerpo sorprendente y de enorme interés, ha resistido las pruebas; pero no parece haberse convertido en parte de la ideología.

Es esta abolición y corrección de la teoría de Newton el que, desde un punto de vista científico (en contraste con el ideológico) tal vez sea lo más importante de la teoría general de Einstein. Esto implica, desde luego, que la teoría de Einstein puede compararse punto por punto con la de Newton⁵¹ y

⁵⁰ Más precisamente, un cuerpo que cayera del infinito con una velocidad $v > c/3\frac{1}{2}$ hacia el centro de un campo gravitacional constantemente irá desacelerando al aproximarse a este centro.

⁵¹ Véase la referencia a Troels Eggers Hansen citada en la nota 27, y Peter Havas, "Four-dimensional formulations of Newtonian mechanics and their relation to the special and the general theory of relativity", *Rev's mod. Phys.* 36, pp. 938-965, 1964, y "Foundation problems in general relativity", en *Delaware seminar in the foundations of physics*, M. Bunge (comp.), pp. 124-148, 1967. Por supuesto, la comparación no es trivial. Véase, por ejemplo, pp. 52 s. del libro de E. Wigner al que nos hemos referido en la nota 24, *supra*.

que conserva la teoría de Newton como aproximación. Sin embargo, Einstein nunca creyó que su teoría fuera cierta. Escandalizó a Cornelius Lanczos en 1922 diciendo que su teoría no era sino una etapa pasajera; la llamó "efímera".⁵² Y dijo a Leopold Infeld⁵³ que el lado izquierdo de su ecuación de campo⁵⁴ (el tensor de la curvatura) era sólido como una roca, mientras que el lado derecho (el tensor de energía del impulso) era tan endeble como la paja.

En el caso de la relatividad general, una idea que tuvo considerable influencia ideológica parece haber sido la del espacio curvo cuatridimensional. Esta idea ciertamente desempeña una función en la revolución científica y en la ideológica, pero esto hace aún más importante distinguir la revolución científica de la ideológica.

A pesar de todo, los elementos ideológicos de la revolución einsteiniana influyeron sobre los científicos y, por tanto, sobre la historia de la ciencia; y esta influencia no siempre fue buena.

Ante todo, el mito de que Einstein había llegado a su resultado mediante un uso esencial de métodos epistemológicos y especialmente operacionalistas ejerció, en mi opinión, un efecto devastador sobre la ciencia (no importa si se llega a unos resultados—en especial buenos resultados—soñándolos o bebiendo café negro, o aun por una epistemología

⁵² Véase C. Lanczos, *op. cit.*, p. 196.

⁵³ Véase Leopold Infeld, *Quest*, p. 90. Victor Gollancz, Londres, 1941.

⁵⁴ Véase A. Einstein, "Die Feldgleichungen der Gravitation", *Sber. Akad. Wiss. Berlin*, parte 2, pp. 844-847, 1915; "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie", *Annln Phys.* (4^a Ser.), 49, pp. 769-822, 1916.

errónea).⁵⁵ En segundo lugar, condujo a la creencia de que la mecánica cuántica, segunda gran teoría revolucionaria del siglo, había de superar a la revolución einsteiniana, especialmente con respecto a su profundidad epistemológica. Me parece que esta creencia afectó a algunos de los grandes fundadores de la mecánica cuántica,⁵⁶ y también a algunos de los grandes fundadores de la biología molecular.⁵⁷ Condujo al predominio de una interpretación subjetivista de la mecánica cuántica; interpretación que yo he estado combatiendo durante casi cuarenta años. No puedo describir aquí la situación, pero aunque estoy consciente del deslumbrante logro de la mecánica cuántica (que no debe cegarnos ante el hecho de que está gravemente incompleta),⁵⁸ sugiero yo que la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica no es parte de la física sino que es una

⁵⁵ Creo que el párrafo 2 del célebre escrito de Einstein, "Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie" (véase nota 54, *supra*): El fundamento de la teoría general de la relatividad, *The principle of relativity*, pp. 111-164; véase nota 47, *supra*) emplea argumentos epistemológicos sumamente dudosos *contra* el espacio absoluto newtoniano y *en pro* de una teoría muy importante.

⁵⁶ Especialmente Heisenberg y Bohr.

⁵⁷ 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, p. 152-189, especialmente las secciones IV y V. (Debo esta referencia al profesor Mogens Blegvad.)

⁵⁸ Es claro que una teoría física que no explique constantes como el cuanto elemental eléctrico (o la constante de estructura fina) es incompleta, para no decir nada de los espectros de masas de las partículas elementales. Véase mi escrito, "Quantum mechanics without the 'observer'" al que nos hemos referido en la nota 45, *supra*.

ideología. En realidad es parte de una ideología modernista, y se ha convertido en una moda científica que constituye un grave obstáculo al progreso de la ciencia.

XIV

Espero haber puesto en claro la distinción entre una revolución científica y la revolución ideológica que a veces puede ir aunada a ella. La revolución ideológica puede servirla racionalmente o puede socavarla. Pero a menudo no es más que una moda intelectual. Aun si va vinculada a una revolución científica, puede ser de un carácter sumamente irracional, y puede conscientemente romper con la tradición.

Pero una revolución científica, por muy radical que sea, no puede en realidad romper con la tradición, pues debe conservar el triunfo de sus predecesoras. Por ello, las revoluciones científicas son racionales. Con esto no quiero decir, desde luego, que los grandes científicos que hacen las revoluciones son o deben ser seres totalmente racionales. Por lo contrario, aunque he estado defendiendo aquí la racionalidad de las revoluciones científicas, mi conjetura es que si los científicos individuales un día se volvieran "objetivos y racionales" en el sentido de "imparciales y desapegados", entonces en realidad encontraríamos el progreso revolucionario de la ciencia ante un obstáculo insuperable.

Desco agradecer a Troels Eggers Hansen, al Rev. Michael Sharratt, al Dr. Herbert Spengler, y al Dr. Martin Wenham, sus comentarios críticos sobre esta conferencia.