

¿QUÉ ES ESA COSA LLAMADA CIENCIA?

Por

ALAN F. CHALMERS

Tercera edición
Corregida y aumentada

siglo veintiuno de españa editores, sa
PRINCIPE DE VERGARA, 78. 25006 MADRID. ESPAÑA

siglo veintiuno editores, sa
CERRO DEL AGUA, 248, 04203 MÉXICO D.F.

Todos los derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier procedimiento (ya sea gráfico, electrónico, óptico, químico, mecánico, fotocopia, etc.) y el almacenamiento o transmisión de sus contenidos en soportes magnéticos, sonoros, visuales o de cualquier otro tipo sin permiso expreso del editor.

Primera edición en España, enero de 1982
Segunda edición en España, enero de 1984 (revisada y ampliada)
Tercera edición en España (14ª reimp.), mayo de 2000 (revisada y ampliada)
© SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES, S. A.

Príncipe de Vergara, 78., 28006 Madrid
© A. E Chalmers 1976, 1982, 1999
Primera edición en inglés, 1976
Segunda edición en inglés, 1982
Tercera edición en inglés, 1999
© University of Queensland Press
Título original: *What is this thing called science?*

DERECHOS RESERVADOS CONFORME A LA LEY

Impreso y hecho en España
Printed and made in Spain

Diseño de la cubierta: El Cubrí
ISBN: 84-323-0426-3
Depósito legal: M-18.890-2000
Fotocomposición: EFCA, S.A.
Parque Industrial «Las Monjas»
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)
Impreso en Closas-Orcóyen, S.L. Polígono Igarsa
Paracuellos de Jarama (Madrid)

ÍNDICE GENERAL

PREFACIO A LA PRIMERA EDICIÓN
PREFACIO A LA SEGUNDA EDICIÓN
PREFACIO A LA TERCERA EDICIÓN

INTRODUCCIÓN

1. LA CIENCIA COMO CONOCIMIENTO DERIVADO DE
LOS HECHOS DE LA EXPERIENCIA
UNA OPINIÓN DE SENTIDO COMÚN AMPLIAMENTE COMPARTIDA
SOBRE LA CIENCIA
VER ES CREER
EXPERIENCIAS VISUALES QUE NO ESTÁN DETERMINADAS SÓLO
POR EL OBJETO VISTO
LOS HECHOS OBSERVABLES EXPRESADOS COMO ENUNCIADOS
¿POR QUÉ DEBERÍAN LOS HECHOS PRECEDER A LA TEORÍA?
LA FALIBILIDAD DE LOS ENUNCIADOS OBSERVACIONALES
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

2. LA OBSERVACIÓN COMO INTERVENCIÓN PRÁCTICA....
LA OBSERVACIÓN: PASIVA Y PRIVADA O ACTIVA Y PÚBLICA
GALILEO Y LAS LUNAS DE JUPITER
LOS HECHOS OBSERVABLES SON OBJETIVOS PERO FALIBLES
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

3. EL EXPERIMENTO
NO SÓLO HECHOS, SINO LOS HECHOS PERTINENTES
LA PRODUCCIÓN Y PUESTA AL DÍA DE LOS RESULTADOS EXPERI-
MENTALES
LA TRANSFORMACIÓN DEL FUNDAMENTO EXPERIMENTAL DE LA
CIENCIA: EJEMPLOS HISTÓRICOS
EL EXPERIMENTO COMO BASE ADECUADA DE LA CIENCIA
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

4. LA INFERENCIA DE TEORÍAS A PARTIR DE LOS HECHOS:
LA INDUCCIÓN
LÓGICA PARA BEBÉS
¿PUEDEN DERIVARSE LAS LEYES CIENTÍFICAS A PARTIR DE LOS
HECHOS
¿QUÉ CONSTITUYE UN BUEN ARGUMENTO INDUCTIVO?
OTROS PROBLEMAS QUE PRESENTA EL INDUCTIVISMO
EL ATRACTIVO DEL INDUCTIVISMO
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

5. INTRODUCCIÓN DEL FALSACIONISMO
INTRODUCCIÓN
UNA CUESTIÓN LÓGICA FAVORABLE AL FALSACIONISMO
LA FALSABILIDAD COMO CRITERIO DE TEORÍAS
GRADO DE FALSABILIDAD, CLARIDAD Y PRECISIÓN
FALSACIONISMO Y PROGRESO
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

6. EL FALSACIONISMO SOFISTICADO, LAS NUEVAS
PREDICCIONES Y EL DESARROLLO DE LA CIENCIA
GRADOS DE FALSABILIDAD RELATIVOS EN VEZ DE ABSOLUTOS
EL AUMENTO DE LA FALSABILIDAD Y LAS MODIFICACIONES
AD HOC

LA CONFIRMACIÓN EN LA CONCEPCIÓN FALSACIONISTA
DE LA CIENCIA
AUDACIA, NOVEDAD Y CONOCIMIENTO BÁSICO
COMPARACIÓN DE LAS CONCEPCIONES INDUCTIVISTA Y
FALSACIONISTA DE LA CONFIRMACIÓN
VENTAJAS DEL FALSACIONISMO SOBRE EL INDUCTIVISMO
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

7. LAS LIMITACIONES DEL FALSACIONISMO
PROBLEMAS RESULTANTES DE LA SITUACIÓN LÓGICA
SOBRE LA BASE DE LOS ARGUMENTOS HISTÓRICOS, EL
FALSACIONISMO ES INSUFICIENTE
LA REVOLUCIÓN COPERNICANA
INSUFICIENCIAS DEL CRITERIO FALSACIONISTA DE DEMARCACIÓN
Y RESPUESTA DE POPPER
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

8. LAS TEORIAS COMO ESTRUCTURAS.
1: LOS PARADIGMAS DE KUHN
LAS TEORÍAS COMO ESTRUCTURAS
INTRODUCCIÓN A THOMAS KUHN
LOS PARADIGMAS Y LA CIENCIA NORMAL
CRISIS Y REVOLUCION
LA FUNCIÓN DE LA CIENCIA NORMAL Y LAS REVOLUCIONES
MÉRITOS DE LA CONCEPCIÓN DE KUHN DE LA CIENCIA
AMBIVALENCIA DE KUHN ACERCA DEL PROGRESO POR MEDIO DE
REVOLUCIONES
EL CONOCIMIENTO OBJETIVO
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

9.LAS TEORÍAS COMO ESTRUCTURAS.
2: LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACION
INTRODUCCIÓN A IMRE LARATOS
LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN DE LAKATOS
LA METODOLOGÍA DENTRO DE UN PROGRAMA Y LA
COMPARACIÓN DE LOS PROGRAMAS
NUEVAS PREDICCIONES
PRUEBA DE LA METODOLOGÍA FRENTE A LA HISTORIA
PROBLEMAS QUE PRESENTA LA METODOLOGÍA DE LAKATOS
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

10.LA TEORÍA ANARQUISTA DE LA CIENCIA DE
FEYERABEND
RECAPITULACIÓN
ARGUMENTACIÓN DE FEYERABEND CONTRA EL MÉTODO
DEFENSA DE FEYERABEND DE LA LIBERTAD
CRÍTICA DEL INDIVIDUALISMO DE FEYERABEND
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

11.CAMBIOS METÓDICOS DEL MÉTODO
EN CONTRA DEL MÉTODO UNIVERSAL
DATOS OBSERVADOS CON EL TELESCOPIO EN LUGAR DE LOS
OBSERVADOS A SIMPLE VISTA: UN CAMBIO DE NORMAS
CAMBIO A TROZOS DE TEORÍA, MÉTODO Y MODELO
UN INTERLUDIO DESENFADADO
LECTURAS COMPLEMENTARIAS

12. EL PUNTO DE VISTA BAYESIANO

INTRODUCCION

EL TEOREMA DE BAYES

BAYESIANISMO SUBJETIVO

APLICACIONES DE LA FÓRMULA DE BAYES

CRÍTICA DEL BAYESIANISMO SUBJETIVO

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

13. EL NUEVO EXPERIMENTALISMO

INTRODUCCIÓN

EL EXPERIMENTO CON VIDA PROPIA

DEBORAH MAYO SOBRE LA PRUEBA EXPERIMENTAL RIGUROSA

APRENDIZAJE POR EL ERROR Y REVOLUCIONES

DESENCADENANTES

EL NUEVO EXPERIMENTALISMO EN PERSPECTIVA

APÉNDICE.. ENCUENTROS FELICES ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTO.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

14. ¿POR QUÉ EL MUNDO HABRÍA DE OBEDECER LEYES?

INTRODUCCIÓN

LAS LEYES COMO REGULARIDADES

LAS LEYES COMO REPRESENTACIONES DE POTENCIAS

O DISPOSICIONES

LA TERMODINÁMICA Y LAS LEYES DE CONSERVACIÓN

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

15. REALISMO Y ANTIRREALISMO

INTRODUCCIÓN

ANTIRREALISMO GLOBAL: LENGUAJE, VERDAD Y REALIDAD

ANTIRREALISMO

ALGUNAS OBJECIONES TÍPICAS Y LA RESPUESTA ANTIRREALISTA

REALISMO CIENTÍFICO Y REALISMO CONJETURAL

IDEALIZACIÓN

REALISMO NO REPRESENTATIVO O REALISMO ESTRUCTURAL

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

16. EPILOGO

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

BIBLIOGRAFÍA

INDICE DE NOMBRES

«Al igual que todos los jóvenes, me proponía ser un genio,
pero afortunadamente intervino la risa.»

Clea, LAWRENCE DURRELL

PREFACIO A LA PRIMERA EDICIÓN

Este libro pretende ser una introducción simple, clara y elemental a los modernos puntos de vista sobre la naturaleza de la ciencia. Al enseñar filosofía de la ciencia, bien a estudiantes de filosofía o a científicos que desean familiarizarse con las recientes teorías sobre la ciencia, me he dado cuenta cada vez más de que no se dispone de un solo libro, ni siquiera de un número pequeño de libros que se puedan recomendar al principiante. Las únicas fuentes de que se dispone sobre las opiniones modernas son las originales. Muchas de estas fuentes son demasiado difíciles para los principiantes, y de todos modos son demasiado numerosas como para que un amplio número de estudiantes pueda acceder con facilidad a ellas. Este libro no sustituirá a las fuentes originales para quien desee dedicarse al tema en serio, por supuesto, pero espero que proporcione un punto de partida útil y fácilmente accesible que por lo demás no existe.

Mi intención de presentar las discusiones de una manera simple resultó ser razonablemente realista en unos dos tercios del libro. En la época en que había llegado a esa etapa y había comenzado a criticar los modernos puntos de vista, me encontré, con sorpresa, con que, en primer lugar, discrepaba de aquellas opiniones más de lo que había pensado y, en segundo lugar, con que a partir de mi crítica estaba surgiendo una alternativa bastante coherente. Esa alternativa aparece bosquejada en los últimos capítulos del libro. Sería muy agradable pensar que la segunda mitad de este libro no sólo contiene resúmenes de las opiniones actuales sobre la naturaleza de la ciencia, sino también un resumen de la futura.

Mi interés profesional por la historia y la filosofía de la ciencia comenzó en Londres, en un clima que estaba dominado por las ideas del profesor Karl Popper. Mi deuda para con él, sus escritos, sus lecciones y sus seminarios, y también para con el difunto profesor Imre Lakatos, debe resultar evidente en el contenido de este libro. La forma que tiene la primera mitad debe mucho al brillante artículo de Lakatos sobre la metodología de los programas de investigación. Un rasgo notable de la escuela popperiana era la insistencia que hacía en que se tuviera una idea clara del problema en el que se estuviera interesado y en que se expresaran las propias opiniones sobre él de una manera simple y sencilla. Aunque debo mucho al ejemplo de Popper y Lakatos a este respecto, cualquier habilidad que tenga para expresarme de un modo simple y claro procede en su mayor parte de mi contacto con el profesor Heinz Post, que fue mi supervisor en el Chelsea College mientras trabajaba allí en mi tesis doctoral, en el Departamento de Historia y Filosofía de la Ciencia. No me puedo librar de la incómoda sensación de que me devolverá su ejemplar de este libro con la petición de que redacte de nuevo los pasajes que no entiende. Entre mis colegas de Londres - tengo una deuda especial con ellos -, la mayoría de los cuales eran estudiantes en esa época, Noretta Koertge, que ahora se encuentra en la Universidad de Indiana, me ayudó considerablemente.

Antes me referí a la escuela popperiana como a una *escuela*, pero, no obstante, hasta que no llegué a Sidney procedente de Londres no me di cuenta de en qué medida había estado en una escuela. Para mi sorpresa, descubrí que había filósofos influidos por Wittgenstein, Quine o Marx que pensaban que Popper se había equivocado en muchas cuestiones y algunos que incluso pensaban que sus opiniones eran positivamente peligrosas. Creo que aprendí mucho de esa experiencia. Una de las cosas que aprendí fue que en realidad Popper se equivoca en un número de problemas importante, como se argumenta en las últimas partes de este libro. Sin embargo, esto no altera el hecho de que el enfoque popperiano sea infinitamente mejor que el enfoque adoptado en la mayor parte de los departamentos de filosofía que he conocido.

Debo mucho a mis amigos de Sidney que me ayudaron a despertar de mi sueño. No quiero sugerir con esto que acepte sus opiniones en vez de las popperianas. Ellos saben bien que no. Pero puesto que no me gusta perder el tiempo con absurdos oscurantistas sobre la inconmensurabilidad de los marcos conceptuales (aquí los popperianos aguzarán el oído), la medida en que me he visto obligado a reconocer y contraatacar las opiniones de mis colegas y adversarios de Sidney me ha llevado a comprender la fuerza de sus opiniones y la debilidad de las mías. Espero que no desconcertaré a nadie haciendo una mención especial a Jean Curthoys y Wal Suchting.

Los lectores afortunados y atentos detectarán en este libro la singular metáfora procedente de Vladimir Nabokov y advertirán que le debo algún reconocimiento (o disculpas).

Concluyo con un cálido saludo a aquellos amigos que no se han preocupado del libro, que no quieren leer el libro y que me han aguantado mientras lo escribía.

Alan Chalmers
Sidney, 1976

PREFACIO A LA SEGUNDA EDICIÓN

A juzgar por las respuestas a la primera edición de este libro, parece que los ocho primeros capítulos del mismo cumplen muy bien la función de ser "una introducción simple, clara y elemental a los modernos puntos de vista sobre la naturaleza de la ciencia". También parece ser bastante universalmente aceptado que los cuatro últimos no la cumplen. Por consiguiente, en esta edición revisada y ampliada he dejado los capítulos 1-8 prácticamente intactos y he reemplazado los cuatro últimos por seis totalmente nuevos. Uno de los problemas de la última parte de la primera edición es que había dejado de ser simple y elemental. He tratado de conseguir que mis nuevos capítulos sigan siendo simples, aunque temo que no lo haya conseguido del todo al tratar de las difíciles cuestiones de los dos últimos capítulos. Pero aunque haya tratado de conseguir que el análisis sea simple, espero no haber dejado por ello de ser polémico.

Otro problema de la última parte de la primera edición es la falta de claridad. Aunque sigo convencido de que la mayor parte de lo que me proponía allí iba por buen camino, ciertamente no fui capaz de expresar una postura coherente y bien argumentada, como han dejado claro mis críticos. No todo esto puede ser atribuido a Louis Althusser, cuyas tesis estaban muy de moda en el momento en que escribí este libro y cuya influencia puede todavía ser discernida en cierta medida en esta nueva edición. He aprendido la lección y en el futuro tendré buen cuidado de no dejarme influir excesivamente por la última moda de París.

Mis amigos Terry Blake y Denise Russell me han convencido de que los escritos de Paul Feyerabend son más importantes de lo que previamente estaba dispuesto a admitir. Le he concedido más atención en esta nueva edición y he tratado de separar el grano de la paja, el antimetodismo del dadaísmo. También me he visto obligado a separar su sentido importante del "sinsentido oscurantista de la inconmensurabilidad de los marcos".

La revisión de este libro está en deuda con las críticas de numerosos colegas, críticos y corresponsales. No intentaré nombrarlos a todos, pero reconozco mi deuda y expreso mi agradecimiento.

Dado que la revisión de este libro ha desembocado en un nuevo final, el sentido original del gato de la cubierta se ha perdido. Sin embargo, el gato parece tener bastantes partidarios, a pesar de su falta de bigotes, por lo que lo he conservado y simplemente pido a los lectores que reinterpreten su sonrisa.

Alan Chalmers

Sidney, 1981

PREFACIO A LA TERCERA EDICIÓN

Esta edición representa una reelaboración importante de la edición anterior. Muy pocos de los capítulos originales han quedado indemnes y muchos han sido reemplazados. Hay también varios capítulos nuevos. Los cambios eran necesarios por dos razones. En primer lugar, el curso introductorio de filosofía de la ciencia, que he tenido a mi cargo durante los veinte años siguientes a la escritura primera de este libro, me ha enseñado a hacer mejor mi trabajo. En segundo lugar, los desarrollos importantes ocurridos en la última década, o dos últimas décadas, en la filosofía de la ciencia deben encontrar su lugar en todo texto introductorio.

Una corriente actualmente influyente dentro de la filosofía de la ciencia comprende el intento de erigir una concepción de la ciencia basada en el teorema de Bayes, un teorema del cálculo de probabilidades. Una segunda tendencia, el "nuevo experimentalismo", implica dedicar más atención que la prestada hasta hoy a la naturaleza del experimento y al papel que representa en la ciencia. Los capítulos 12 y 13, respectivamente, contienen una descripción y una valoración de estas escuelas. Trabajos recientes, en especial el de Nancy Cartwright, han destacado cuestiones acerca de la naturaleza de las leyes que aparecen en ciencia, y por ello se incluye un capítulo sobre este tópico en esta nueva edición. Igualmente aparece otro capítulo con el fin de presentar el estado actual del debate entre las interpretaciones realista y antirrealista de la ciencia.

Sin pretender haber llegado a una respuesta definitiva a la pregunta que formula el título de este libro, he tratado de estar al día en el debate contemporáneo y de presentárselo al lector de un modo no demasiado técnico. Al final de cada capítulo se pueden encontrar sugerencias sobre lecturas complementarias que serán un punto de partida útil y al día para aquellos que deseen estudiar estas materias con mayor profundidad.

No haré el intento de nombrar a todos los colegas y estudiantes que me han enseñado cómo mejorar este libro. Aprendí mucho en el congreso internacional que tuvo lugar en Sidney en junio de 1997, "What is this thing called science? Twenty Years On" (¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Veinte años después). Doy las gracias a los patrocinadores del congreso, The British Council, la University of Queensland Press, la Open University Press, Hackett Publishing Company y Uitgeverij Boom, y a los colegas y viejos amigos que acudieron a las sesiones y participaron en ellas. La ocasión sirvió de mucho para elevar mi moral y estimularme a emprender la considerable tarea que suponía reescribir el texto. Una gran parte del trabajo fue realizada durante mi estancia como investigador en el Instituto Dibner de Historia de la ciencia y la tecnología del MIT, por lo cual estoy muy agradecido. No podía desear un

mejor ambiente de apoyo ni más adecuado a un trabajo que exigía concentración. Agradezco también a Hasok Chang la cuidadosa lectura del manuscrito y sus provechosos comentarios.

Ya no tengo idea clara de qué es lo que hace sonreír al gato, pero creo detectar que persiste una cierta señal de aprobación, lo cual me tranquiliza.

Alan Chalmers
Cambridge, Mass., 1998

INTRODUCCIÓN

La ciencia goza de una alta valoración. Aparentemente existe la creencia generalizada de que hay algo especial en la ciencia y en los métodos que utiliza. Cuando a alguna afirmación, razonamiento o investigación se le da el calificativo de "científico", se pretende dar a entender que tiene algún tipo de mérito o una clase especial de fiabilidad. Pero, ¿qué hay de especial en la ciencia, si es que hay algo? ¿Cuál es este "método científico" que, según se afirma, conduce a resultados especialmente meritorios o fiables? Este libro constituye un intento de elucidar y contestar preguntas de este tipo.

Tenemos muchísimas pruebas procedentes de la vida cotidiana de que se tiene en gran consideración a la ciencia, a pesar de que haya cierto desencanto con respecto a ella debido a las consecuencias de las que se le hace responsable, tales como las bombas de hidrógeno y la contaminación. Los anuncios publicitarios afirman con frecuencia que se ha mostrado científicamente que determinado producto es más blanco, más potente, más atractivo sexualmente o de alguna manera preferible a los productos rivales. Con esto esperan dar a entender que su afirmación está especialmente fundamentada e incluso puede que más allá de toda discusión. De manera similar, un anuncio de la Ciencia Cristiana aparecido recientemente en un periódico se titulaba: "La ciencia habla y asevera que se ha demostrado que la Biblia cristiana es verdadera", y luego seguía contando que "incluso los propios científicos lo creen hoy en día". Aquí tenemos una apelación directa a la autoridad de la ciencia y de los científicos. Bien podríamos preguntar: "¿en que se basa esa autoridad?". El gran respeto que se tiene por la ciencia no se limita a la vida cotidiana y a los medios de comunicación populares. Resulta evidente también en el mundo académico y universitario. Muchos campos de estudio son descritos por quienes los practican como ciencias, presumiblemente en un intento de hacer creer que los métodos que usan están tan firmemente basados y son potencialmente tan fructíferos como una ciencia tradicional como la física o la biología. La ciencia política y la ciencia social son ya tópicos. Los marxistas insisten con entusiasmo en que el materialismo histórico es una ciencia. Además, han aparecido en los programas universitarios Ciencia de la Biblioteca, Ciencia Administrativa, Ciencia del Habla, Ciencia Forestal, Ciencia Láctea, Ciencia de los productos cárnicos y animales e incluso Ciencia Mortuoria* [La cita esta tomada de un informe hecho por C. Trusedell, citado en J. R. Ravetz (1971, p. 387n)]. Todavía está activo el debate acerca del rango de la "ciencia de la creación" y es de señalar en este contexto que los participantes en ambos lados del debate suponen que existe una cierta categoría especial de ciencia. En lo que no están de acuerdo es en la cuestión de si la ciencia de la creación llena o no los requisitos de una ciencia.

Muchas de las llamadas ciencias sociales o humanas subscriben un razonamiento que reza aproximadamente como sigue: "Se puede atribuir el éxito indiscutible de la física en los últimos tres siglos a la aplicación de un método especial, el 'método científico'. Por consiguiente, para que las ciencias sociales y humanas puedan emular el éxito de la física será preciso primero comprender y formular este método y aplicarlo después a ellas." Este razonamiento suscita las dos preguntas fundamentales siguientes: ¿qué es este método científico que se supone sea la clave de este éxito de la física? y ¿es lícito transferir este método de la física y aplicarlo en otros campos?

Todo esto hace resaltar el hecho de que las cuestiones concernientes a la especificidad del conocimiento científico, en cuanto opuesto a otros tipos de conocimiento, y a la identificación exacta del método científico, aparecen como fundamentalmente importantes y cargadas de consecuencias. Sin embargo, como veremos, no es en absoluto sencillo dar respuesta a las preguntas suscitadas. Un buen intento por resumir las intuiciones que por lo general se tienen respecto de las respuestas a estas preguntas es, quizás, la idea de que lo específico de la ciencia es que se deriva de hechos, en vez de basarse en opiniones personales. Puede ser que así se recoja la idea de que, mientras que pueden darse opiniones personales distintas sobre los méritos relativos de las novelas de Charles Dickens y D. H. Lawrence, no hay lugar a diferencias similares acerca de los méritos relativos de las teorías de la relatividad de Galileo y de Einstein. Se supone que los hechos determinan la superioridad de la innovación de Einstein sobre visiones anteriores de la relatividad y que, sencillamente, está en un error quien no lo aprecie así.

Como veremos, la idea de que el rasgo específico del conocimiento científico es que se deriva de los hechos de la experiencia puede sostenerse sólo en una forma muy cuidadosamente matizada, si es que en verdad puede sostenerse. Tropezaremos con razones para dudar de que los hechos obtenidos en la observación y en la experimentación sean tan directos y seguros como se ha supuesto tradicionalmente. Encontraremos también que hay fuertes argumentos favorables a la afirmación de que el conocimiento científico no puede ser probado ni rechazado de forma concluyente por una referencia a hechos, aun en el caso de que se disponga de esos hechos. Algunos de los argumentos que apoyan este escepticismo se basan en un análisis de la naturaleza de la observación y en la del razonamiento lógico y sus capacidades. Otros tienen su origen en una mirada detenida a la historia de la ciencia y a la práctica científica contemporánea. Un rasgo característico de los desarrollos modernos en las teorías de la ciencia es que se ha ido prestando una atención creciente a la historia de la ciencia. Para muchos filósofos de la ciencia, uno de los embarazosos resultados de este hecho es que los episodios de la historia de la ciencia que, por lo general, se consideran más característicos de los principales adelantos, ya sean las innovaciones de Galileo, Newton, Darwin o Einstein, no se corresponden con lo que las típicas concepciones filosóficas de la ciencia dicen que debieran ser.

Una reacción ante la constatación de que las teorías científicas no pueden ser probadas o refutadas de manera concluyente, y de que las reconstrucciones de los filósofos tienen poco que ver con lo que en realidad hace progresar a la ciencia, consiste en renunciar completamente a la idea de que la ciencia es una actividad racional que actúa de acuerdo con un método especial. Una reacción en cierto modo parecida llevó al filósofo Paul Feyerabend (1975) a escribir un libro titulado *Against method: Outline of*

an anarchistic theory of knowledge (En contra del método: Esbozo de una teoría anarquista del conocimiento). De acuerdo con la tesis más radical que se puede leer en los escritos más recientes de Feyerabend, la ciencia no posee rasgos especiales que la hagan intrínsecamente superior a otras ramas del conocimiento tales como los antiguos mitos o el vudú. El elevado respeto por la ciencia es considerado como la religión moderna, que desempeña un papel similar al que desempeñó el cristianismo en Europa en épocas anteriores. Se insinúa que la elección entre distintas teorías se reduce a una elección determinada por los valores y deseos subjetivos de los individuos.

El escepticismo de Feyerabend respecto de los intentos de racionalizar la ciencia es compartido por otros autores de tiempos más recientes que escriben desde un punto de vista sociológico o desde la perspectiva llamada "posmoderna".

Este libro se resiste ante este tipo de respuesta a las dificultades que encuentran las concepciones tradicionales de la ciencia y del método científico. Intenta aceptar lo que hay de válido en los desafíos de Feyerabend y muchos otros, pero dando una justificación de la ciencia que recoja sus rasgos específicos y característicos a la vez que responda a dichos desafíos.

1. LA CIENCIA COMO CONOCIMIENTO DERIVADO DE LOS HECHOS DE LA EXPERIENCIA

UNA OPINIÓN DE SENTIDO COMÚN AMPLIAMENTE COMPARTIDA SOBRE LA CIENCIA

Me aventuré a sugerir en la Introducción que la concepción popular del rasgo distintivo del conocimiento científico es captada por el lema “la ciencia se deriva de los hechos”. Esta idea es sometida a un escrutinio crítico en los cuatro primeros capítulos de este libro. Encontraremos que no se puede sostener gran parte de lo que comúnmente se supone que está implicado en dicho lema; no obstante, veremos que no está del todo descaminado e intentaré formular una versión defendible de él.

Cuando se afirma que la ciencia es especial porque se basa en los hechos, se supone que los hechos son afirmaciones acerca del mundo que pueden ser verificadas directamente por un uso cuidadoso y desprejuiciado de los sentidos. La ciencia ha de basarse en lo que podemos ver, oír y tocar y no en opiniones personales o en la imaginación especulativa. Si se lleva a cabo la observación del mundo de un modo cuidadoso y desprejuiciado, los hechos establecidos de tal manera constituirán una base segura y objetiva de la ciencia. Si, además, es correcto el razonamiento que nos conduce desde esta base fáctica a las leyes y teorías que forman el conocimiento científico, podrá suponerse que el propio conocimiento científico resultante está establecido con seguridad y es objetivo.

Las observaciones anteriores son la esencia de un relato bien conocido y que se refleja en gran parte de la literatura que versa sobre la ciencia. “La ciencia es una estructura asentada sobre hechos”, escribe J. J. Davies (1968, p. 8) en su obra sobre el método científico, tema que ha sido elaborado por H. D. Anthony (1948, p. 145):

No fue tanto las observaciones y experimentos realizados por Galileo lo que originó la ruptura con la tradición, como su *actitud* hacia ellos. Para él, los hechos extraídos de ellos habían de ser tratados como hechos y no relacionados con una idea preconcebida... Los hechos observacionales podían encajar o no en un esquema admitido del universo, pero lo importante, en opinión de Galileo, era aceptar los hechos y construir una teoría que se ajustara a ellos.

Aquí, Anthony no sólo da expresión clara a la opinión de que el conocimiento científico se basa en los hechos establecidos por la observación y el experimento, sino que da un sesgo histórico a la idea, algo en lo que no es en absoluto el único. Un aseveración extendida dice que es un hecho histórico que la ciencia moderna nació a comienzos del siglo XVII al adoptarse, por primera vez, la estrategia de tomar en serio los hechos observacionales como base de la ciencia. Quienes aprueban y explotan esta historia mantienen que los hechos observables no habían sido tomados en serio como fundamento del conocer antes del siglo XVII. En vez de esto, así reza el conocido recuento, el conocimiento se basaba en la autoridad del filósofo Aristóteles y en la de la Biblia. La ciencia moderna se hizo posible sólo cuando esta autoridad fue desafiada con una llamada a la experiencia por precursores de la nueva ciencia como Galileo. Capta bellamente esta idea la siguiente versión de las muchas veces contada historia de Galileo y la torre inclinada de Pisa, debida a Rowbotham (1918, pp. 27-9),

La primera prueba de fuerza entre Galileo y los profesores de la Universidad estaba relacionada con sus investigaciones sobre las leyes del movimiento ilustradas por la caída de los cuerpos. Un axioma aceptado de Aristóteles decía que la velocidad de los cuerpos en caída era regulada por sus pesos respectivos: así, una piedra que pesara dos libras caería dos veces más rápida que una que sólo pesara una libra, etc. Nadie parece haberse cuestionado lo correcto de esta regla hasta que Galileo la negó. Declaró que el peso no tenía nada que ver en el fenómeno, y que... dos cuerpos de pesos distintos... alcanzarían el suelo en el mismo momento. Cuando los profesores se mofaron de la declaración de Galileo, éste decidió someterla a una prueba pública. Invitó como testigos del experimento que iba a efectuar desde la torre inclinada a toda la Universidad. La mañana del día fijado, Galileo, en presencia de las gentes de la Universidad y de la ciudad subió a la cima de la torre llevando consigo dos bolas, una que pesaba cien libras y la otra sólo una. Balanceando cuidadosamente las bolas en el borde del parapeto, las rodó hasta que

estuvieron juntas; se las vio caer por igual, y al instante siguiente, con un fuerte ruido, golpearon juntas el suelo. La vieja tradición era falsa, y la ciencia moderna, en la persona del joven descubridor, había reivindicado su posición.

Empiristas y positivistas forman las dos escuelas que han intentado formalizar lo que he llamado visión común de la ciencia, la que afirma que el conocimiento científico se deriva de los hechos. Los empiristas ingleses de los siglos XVII y XVIII, en particular John Locke, George Berkeley y David Hume, sostenían que todo el conocimiento debía derivarse de ideas implantadas en la mente por medio de la percepción sensorial. Los positivistas tenían una visión algo más amplia y menos orientada hacia lo psicológico de lo que significan los hechos, pero compartían la opinión de los empiristas de que el conocimiento debía derivarse de los hechos de la experiencia. Los positivistas lógicos, una escuela filosófica que se originó en Viena en los años veinte de este siglo, retomó el positivismo introducido por Auguste Comte en el siglo XIX e intentó formalizarlo, prestando mucha atención a la forma lógica de la relación entre conocimiento científico y los hechos. Empirismo y positivismo comparten el punto de vista de que el conocimiento científico debe de alguna manera derivarse de los hechos alcanzados por la observación.

Hay dos aspectos bastantes distintos involucrados en la afirmación de que la ciencia se deriva de los hechos. Uno concierne a la naturaleza de esos "hechos" y cómo los científicos creen tener acceso a ellos. El segundo atañe a cómo se derivan de los hechos, una vez que han sido obtenidos, las leyes y teorías que constituyen el conocimiento. Investigaremos estos dos aspectos por separado, dedicando éste y los dos capítulos siguientes a una discusión de la naturaleza de los hechos sobre los que, se alega, se basa la ciencia, y el capítulo 4 a la cuestión de cómo pudiera pensarse que el conocimiento científico se deriva de ellos.

Se pueden distinguir tres componentes en la postura adoptada por el punto de vista común respecto de los hechos que se supone son la base de la ciencia. Estos son:

- (a) Los hechos se dan directamente a observadores cuidadosos y desprejuiciados por medio de los sentidos.
- (b) Los hechos son anteriores a la teoría e independientes de ella.

(c) Los hechos constituyen un fundamento firme y confiable para el conocimiento científico.

Como veremos, cada una de estas afirmaciones se enfrenta con dificultades y, en el mejor de los casos, sólo puede ser aceptada de forma muy matizada.

VER ES CREER

En parte porque el sentido de la vista es el que se usa de un modo más extenso en la práctica de la ciencia, y en parte por conveniencia, restringiré mi análisis de la observación al dominio de la visión. En la mayoría de los casos no será difícil ver cómo se podría reformular el argumento presentado de manera que fuera aplicable a la observación mediante los otros sentidos. Una simple concepción popular de la vista podría ser la siguiente. Los seres humanos ven utilizando sus ojos. Los componentes más importantes del ojo humano son una lente y la retina, la cual actúa como pantalla en la que se forman las imágenes de los objetos externos al ojo. Los rayos de luz procedentes de un objeto visto van del objeto a la lente a través del medio que hay entre ellos. Estos rayos son refractados por el material de la lente de tal manera que llegan a un punto de la retina, formando de este modo una imagen del objeto visto. Hasta aquí, el funcionamiento del ojo es muy parecido al de una cámara. Hay una gran diferencia, que es el modo en que se registra la imagen final. Los nervios ópticos pasan de la retina al córtex central del cerebro. Éstos llevan información sobre la luz que llega a las diversas zonas de la retina. El registro de esta información por parte del cerebro humano es lo que corresponde a la visión del objeto por el observador. Por supuesto, se podrían añadir muchos detalles a esta sencilla descripción, pero la explicación que se acaba de ofrecer capta la idea general.

El anterior esquema de la observación mediante el sentido de la vista sugiere dos cuestiones que forman parte de la visión común o empirista de la ciencia. La primera es que un observador humano tiene un acceso más o menos directo a algunas propiedades del mundo exterior en la medida en que el cerebro registra esas propiedades en el

acto de ver. La segunda es que dos observadores que vean el mismo objeto o escena desde el mismo lugar "verán" lo mismo. Una combinación idéntica de rayos de luz alcanzará el ojo de cada observador, será enfocada en sus retinas normales por sus lentes oculares normales y dará lugar a imágenes similares. Así pues, una información similar viajará al cerebro de cada observador a través de sus nervios ópticos normales, dando como resultado que los dos observadores "vean" lo mismo. En secciones subsiguientes veremos por qué este tipo de representación es seriamente engañoso.

EXPERIENCIAS VISUALES QUE NO ESTÁN DETERMINADAS SÓLO POR EL OBJETO VISTO

En su expresión más fuerte, la opinión común mantiene que los hechos del mundo exterior nos son dados directamente a través del sentido de la vista. Sólo tenemos que ponernos frente al mundo y registrar lo que hay en él para ver. Puedo constatar que hay una lámpara sobre mi escritorio o que mi lápiz es amarillo con simplemente mirar lo que hay delante de mis ojos. Como hemos visto, una opinión tal puede apoyarse en la descripción de cómo funciona el ojo. Si esto fuera todo, lo que se ve estaría determinado por la naturaleza de lo que se mira, y todos los observadores tendrían la misma experiencia visual al enfrentarse a la misma escena. Sin embargo, hay muchas pruebas que indican que, sencillamente. Esto no es así. Dos observadores normales que vean el mismo objeto desde el mismo lugar en las mismas circunstancias físicas no tienen necesariamente idénticas experiencias visuales, aunque las imágenes que se produzcan en sus respectivas retinas sean prácticamente idénticas. Hay un sentido importante en el que no es necesario que los dos observadores "vean" lo mismo. Como dice N. R. Hanson (1958), "hay más en lo que se ve que lo que describe el globo ocular". Algunos ejemplos sencillos ilustrarán la cuestión.

La mayoría de nosotros, cuando miramos por primera vez la figura 1, vemos el dibujo de una escalera en la que resulta visible la superficie superior de los escalones. Pero no es éste el único modo de poderlo ver. También se puede ver sin dificultad como una escalera en la

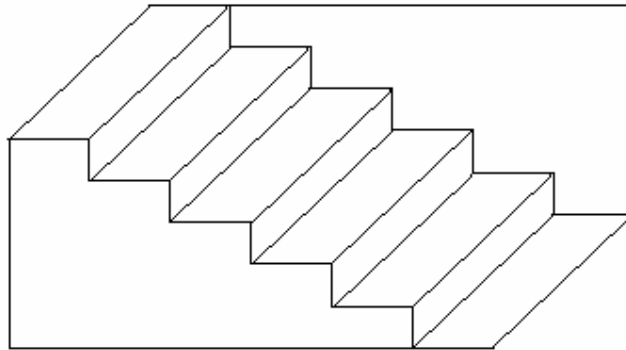


FIGURA 1

que resulta visible la parte inferior de los escalones. Además, si se mira el dibujo durante algún tiempo, por lo general se encuentra, involuntariamente, que cambia la visión frecuentemente de una escalera vista desde arriba a una escalera vista desde abajo y viceversa. Y, no obstante, parece razonable suponer que, puesto que el objeto que contempla el observador sigue siendo el mismo, las imágenes de la retina no varían. El hecho de que el dibujo se vea como una escalera vista desde arriba o como una escalera vista desde abajo parece depender de algo más que de la imagen que hay en la retina del observador. Sospecho que ningún lector de este libro ha puesto en duda mi afirmación de que la figura 1 parece una escalera de algún tipo. Sin embargo, los resultados de los experimentos realizados con miembros de varias tribus africanas, cuyas culturas no incluyen la costumbre de dibujar objetos tridimensionales mediante dibujos bidimensionales con perspectiva, indican que los miembros de estas tribus no habrían considerado que la figura 1 es una escalera sino una disposición bidimensional de líneas. Presumo que la naturaleza de las imágenes formadas en las retinas de los observadores es relativamente independiente de su cultura. Además, parece seguirse que las experiencias perceptuales que los observadores tienen en el acto de ver no están especialmente determinadas por las imágenes de las retinas. Hanson (1958, capítulo 1) contiene otros ejemplos fascinantes que ilustran sobre este aspecto.

Un rompecabezas infantil nos proporciona otro ejemplo; el problema consiste en encontrar el dibujo de una cara humana entre el follaje en el dibujo de un árbol. Aquí, lo que se ve, esto es, la impresión experimentada por una persona que ve el dibujo corresponde en principio al árbol, con su tronco, sus hojas y sus ramas. Pero una vez que se ha encontrado la cara humana, esto cambia. Lo que antes se veía como follaje y partes de las ramas se ve ahora como una cara humana. De nuevo, se ha visto el mismo objeto físico antes y después de la solución del problema, y presumiblemente la imagen que hay en la retina del observador no cambia en el momento en que se encuentra la solución y se descubre la cara. Y si se ve el dibujo un poco después, un observador que ya haya resuelto el problema podrá ver rápidamente y con facilidad la cara. Pareciera como si, en cierto sentido, lo que ve un observador resulta afectado por su conocimiento y su experiencia.

Se puede sugerir la siguiente pregunta: "¿Qué tienen que ver estos ejemplos artificiales con la ciencia?". La respuesta es que no resulta difícil proporcionar ejemplos procedentes de la práctica científica que ilustren la misma cuestión, a saber, que lo que ven los observadores, las experiencias subjetivas que tienen cuando ven un objeto o una escena, no está determinado únicamente por las imágenes formadas en sus retinas sino que depende también de la experiencia, el conocimiento y las expectativas del observador. Este aspecto está implícito en la constatación indiscutible de que uno tiene que aprender para llegar a ser un observador competente en ciencia. Cualquiera que haya vivido la experiencia de tener que aprender a mirar a través de un microscopio no necesitará que nadie le convenza de este hecho. Es raro que el principiante discierna las estructuras celulares apropiadas al mirar al microscopio el portaobjeto preparado por el instructor, mientras que éste no encuentra ninguna dificultad en distinguirlas cuando mira el mismo portaobjeto en el mismo microscopio. Es significativo, en este contexto, que los microscopistas no tropezaban con grandes impedimentos a la hora de observar cómo se dividen las células bajo circunstancias adecuadamente preparadas, una vez que sabían qué tenían que buscar, mientras que, antes de este descubrimiento, la división celular permaneció no observada, aunque sabemos ahora que ha tenido que estar allí en muchas de las muestras examinadas al microscopio, con la posibilidad de ser observada. Michael Polanyi (1973, p. 101) describe los cambios efectuados en la experiencia perceptual de

un estudiante de medicina cuando se le enseña a diagnosticar mediante el examen por rayos X.

Pensemos en un estudiante de medicina que sigue un curso de diagnóstico de enfermedades pulmonares por rayos X. Mira, en una habitación oscura, trazos indefinidos en una pantalla fluorescente colocada contra el pecho del paciente y oye el comentario que hace el radiólogo a sus ayudantes, en un lenguaje técnico, sobre los rasgos significativos de esas sombras. En un principio, el estudiante está completamente confundido, ya que, en la imagen de rayos X del pecho sólo puede ver las sombras del corazón y de las costillas, que tienen entre sí unas cuantas manchas como patas de araña. Los expertos parecen estar imaginando quimeras; él no puede ver nada de lo que están diciendo. Luego, según vaya escuchando durante unas cuantas semanas, mirando cuidadosamente las imágenes siempre nuevas de los diferentes casos, empezará a comprender; poco a poco se olvidará de las costillas y comenzará a ver los pulmones. Y, finalmente, si persevera inteligentemente, se le revelará un rico panorama de detalles significativos: de variaciones fisiológicas y cambios patológicos, cicatrices, infecciones crónicas y signos de enfermedades agudas. Ha entrado en un mundo nuevo. Todavía ve sólo una parte de lo que pueden ver los expertos, pero ahora las imágenes tienen por fin sentido, así como la mayoría de los comentarios que se hacen sobre ellas.

Frente a una misma situación, un observador versado y experimentado no tiene experiencias perceptuales idénticas a las de un novato. Esto choca con una comprensión literal de la afirmación de que las percepciones se dan directamente a través de los sentidos.

Una respuesta usual a lo que estoy diciendo acerca de la observación, apoyado por la clase de ejemplos que he utilizado, es que los observadores que ven la misma escena desde el mismo lugar ven la misma cosa, pero interpretan de diferente modo lo que ven. Deseo discutir este punto. En cuanto a lo que se refiere a la percepción, con lo único que el observador está en inmediato y directo contacto es con sus experiencias. Estas experiencias no están dadas de modo unívoco ni son invariantes, sino que cambian con las expectativas y el conocimiento. Lo que viene unívocamente dado por la situación física, y estoy dispuesto a admitir esto, es la imagen formada en la retina del observador, pero el observador no tiene contacto perceptual directo con la imagen. Cuando los defensores de la opinión común suponen que hay algo unívocamente dado en la percepción, que puede

interpretarse de diversas maneras, están suponiendo, sin argumentarlo y a pesar de las muchas pruebas en contra, que las imágenes en la retina determinan por si solas nuestras experiencias perceptuales. Están llevando demasiado lejos la analogía de la cámara.

Una vez dicho esto, trataré de aclarar lo que *no* pretendo afirmar en esta sección, para que no se piense que estoy defendiendo algo diferente de lo que pretendo defender. En primer lugar, no afirmo en absoluto que las causas físicas de las imágenes en nuestras retinas no tengan ninguna relación con lo que vemos. No podemos ver precisamente lo que queremos. Sin embargo, mientras que las imágenes de nuestras retinas forman parte de la causa de lo que vemos, otra parte muy importante de esa causa está constituida por el estado interno de nuestras mentes o cerebros, el cual dependerá a su vez de nuestra educación cultural, nuestro conocimiento y nuestras expectativas. y no estará determinado únicamente por las propiedades físicas de nuestros ojos y de la escena observada. En segundo lugar, en una gran diversidad de circunstancias, lo que vemos en diversas situaciones sigue siendo bastante estable. La dependencia entre lo que vemos y el estado de nuestras mentes o cerebros no es tan sensible como para hacer imposible la comunicación y la ciencia. En tercer lugar, en todos los ejemplos que se han citado aquí, los observadores ven en cierto sentido la misma cosa. Yo acepto, y presupongo a través de todo este libro, que existe un solo y único mundo independiente de los observadores. De ahí que, cuando unos cuantos observadores miran un dibujo, un trozo de un aparato, una platina de microscopio o cualquier otra cosa, en cierto sentido todos ellos se enfrentan y miran la misma cosa y, por tanto, ven la misma cosa. Pero de esto no se sigue que tengan experiencias perceptuales idénticas. Hay un sentido muy importante según el cual no ven la misma cosa y en él se basan algunas de mis reservas respecto de la opinión de que los hechos se dan, directamente y sin problemas, al observador a través de los sentidos. Queda por ver en qué medida esto socava la idea de que los hechos adecuados para la ciencia puedan ser establecidos por los sentidos.

LOS HECHOS OBSERVABLES EXPRESADOS COMO ENUNCIADOS

El significado del término "hechos" es ambiguo en el uso normal del lenguaje. Se puede referir tanto al enunciado que expresa el hecho como al estado de cosas al que alude el enunciado. Por ejemplo, es un hecho que hay montañas y cráteres en la Luna. Aquí, el hecho puede tomarse como refiriéndose a las montañas y cráteres mismos; alternativamente, el enunciado "hay montañas y cráteres en la Luna" puede admitirse como lo que constituye el hecho. La segunda acepción es claramente la apropiada cuando se dice que la ciencia se basa en los hechos y se deriva de ellos. El conocimiento acerca de la superficie lunar no se basa en las montañas y cráteres de la superficie lunar, ni se deriva de ellos, sino que parte de los enunciados fácticos sobre montañas y cráteres.

Además de distinguir los hechos, entendidos como enunciados de los estados de cosas descritos por dichos enunciados, es claramente necesario diferenciar los enunciados de hechos de las percepciones que puedan dar lugar a la aceptación de esos enunciados de hechos. Por ejemplo, no hay duda de que Darwin encontró muchas especies nuevas de plantas y animales durante su famoso viaje en el *Beagle*, y fue por tanto sujeto de experiencias perceptuales nuevas. Sin embargo, de haberse limitado a esto, no habría hecho ninguna contribución significativa a la ciencia. Sólo al formular enunciados que describían las novedades y ponerlos a disposición de otros científicos contribuyó de manera importante al desarrollo de la biología. En la medida en que el viaje del *Beagle* proporcionó hechos nuevos a partir de los cuales se podía derivar una teoría de la evolución, o a los que una teoría de la evolución podía referirse, eran enunciados los que constituían los hechos. Quienes pretenden aseverar que el conocimiento se deriva de hechos deben tener enunciados en la mente, y no percepciones ni objetos como montañas y cráteres.

Hecha esta aclaración, volvamos a las afirmaciones (a), (b) y (c) acerca de la naturaleza de los hechos, con las cuales terminaba la primera sección de este capítulo. Tal como están, aparecen inmediatamente como muy problemáticas. Dado que los hechos que podrían constituir una base adecuada para la ciencia deben ser en forma de enunciados, comienza a aparecer bastante equivocada la afirmación

de que los hechos se dan directamente por medio de los sentidos. Pues aunque pasemos por alto las dificultades destacadas en la sección anterior y supongamos que las percepciones se dan directamente en el acto de ver, no es claramente verdad que los enunciados que describen estados de cosas observables (los llamaré enunciados observacionales) sean dados al observador por medio de los sentidos. Es absurdo pensar que los *enunciados* de hechos entran en el cerebro por medio de los sentidos.

Antes de que un observador pueda formular y hacer valer un enunciado observacional, debe estar en posesión del entramado conceptual apropiado y debe saber cómo aplicarlo adecuadamente. Queda claro que esto es así cuando contemplamos la manera como un niño aprende a describir el mundo (esto es, a hacer enunciados fácticos sobre el mundo). Piénsese en uno de los padres enseñando a un niño a reconocer y describir manzanas; muestra una manzana al niño, la señala y pronuncia la palabra "manzana". El niño aprende enseguida a repetir, imitándola, la palabra "manzana". Dueño ya de esta habilidad particular, quizás algún día después se encuentra con la pelota de tenis de un hermano, la señala, y dice "manzana". El padre interviene entonces para explicarle que la pelota no es una manzana, mostrándole, por ejemplo, que uno no puede morderla como una manzana. Nuevos errores del niño, como tomar un bombón por una manzana, requerirán explicaciones algo más complicadas de su padre. Para cuando el niño pueda decir con éxito que algo es una manzana si en efecto lo es, habrá aprendido mucho sobre las manzanas. Parecería, por tanto, que es un error suponer que debemos observar hechos acerca de las manzanas antes de derivar conocimiento de esos hechos, puesto que los hechos apropiados, formulados como enunciados, presuponen una buena cantidad de conocimiento sobre las manzanas.

Pasemos del habla de los niños a algunos ejemplos más relevantes para nuestra tarea de comprender la ciencia. Imaginemos a un experto en botánica, acompañado de alguien, como yo mismo, bastante ignorante de la botánica, en un viaje de campo por el sotobosque australiano, con el fin de recoger hechos observables acerca de la flora nativa. No hay duda de que el botánico será capaz de recoger hechos mucho más numerosos y con más discernimiento que los que yo pueda observar y formular. La razón es clara; el botánico puede utilizar un esquema conceptual más elaborado que el mío, y ello es debido a que

sabe más de botánica que yo. Conocimientos de botánica son un prerrequisito para la formulación de enunciados observacionales capaces de constituir una base de hechos.

Así pues, el registro de hechos observables requiere algo más que la recepción de estímulos en forma de rayos de luz que inciden en el ojo; requiere el conocimiento del entramado conceptual apropiado y de cómo aplicarlo. En este sentido, los supuestos (a) y (b) no pueden ser aceptados tal y como están. Los enunciados de hechos no se determinan directamente por estímulos sensoriales y los enunciados de la observación presuponen un conocimiento, de manera que no puede ser verdad que establezcamos primero los hechos y derivemos después de ellos el conocimiento.

¿POR QUÉ DEBERÍAN LOS HECHOS PRECEDER A LA TEORÍA?

He tomado como punto de partida una interpretación bastante extrema de la afirmación que dice que la ciencia se deriva de hechos. He supuesto que implica que los hechos deben establecerse previamente a la derivación a partir de ellos del conocimiento científico. Primero establecer los hechos y después edificar la teoría que se ajuste a ellos. Tanto el hecho de que nuestras percepciones dependen en cierta medida de nuestros conocimientos previos, y por tanto de nuestra preparación y nuestras expectativas (discutido antes en este capítulo), como el hecho de que los enunciados observacionales presuponen el entramado conceptual adecuado (discutido en la sección anterior) indican que es ésta una exigencia que no se puede satisfacer. En verdad, si se la somete a una inspección cuidadosa, es una idea bastante tonta, tan tonta que dudo que haya algún filósofo de la ciencia dispuesto a defenderla. ¿Cómo podremos establecer hechos significativos acerca del mundo por medio de la observación si no contamos con alguna guía respecto de qué clase de conocimiento estamos buscando o qué problemas estamos tratando de resolver? Para hacer observaciones que supongan alguna contribución significativa a la botánica, necesitaré, para empezar, saber mucho de botánica. Aún más, no tendría sentido la mera idea de que la adecuación del conocimiento científico tendría que ser probada por los hechos observables si, en sentido estricto, los

hechos relevantes deben preceder siempre al conocimiento que pudiera apoyarse en ellos. Nuestra búsqueda de hechos relevantes necesita ser guiada por el estado actual del conocimiento, que nos dice, por ejemplo, que se consiguen hechos relevantes midiendo la concentración de ozono en varios lugares, mientras que no se logra nada midiendo la longitud de los cabellos de 105 jóvenes de Sidney. Así pues, abandonemos la exigencia de que la adquisición de datos deba venir antes que la formulación de leyes y teorías que constituyen el conocimiento científico y, una vez que lo hayamos hecho, veamos qué podemos salvar de la idea de que la ciencia se basa en los hechos.

Según nuestra nueva posición, reconocemos francamente que la formulación de enunciados observacionales presupone un conocimiento significativo, y que la búsqueda de hechos observables relevantes se guía por ese conocimiento. Ninguna de las dos declaraciones socava necesariamente la afirmación de que el conocimiento tiene una base fáctica establecida por la observación. Consideremos primero la cuestión de que la formulación de enunciados observacionales significativos presupone el conocimiento del entramado conceptual apropiado. Advertimos que una cosa es la disponibilidad de los recursos conceptuales necesarios para la formulación de enunciados observacionales, y otra la verdad o falsedad de esos enunciados. Al mirar mi libro de texto de física del estado sólido puedo ver dos enunciados observacionales, "la estructura cristalina del diamante tiene simetría de inversión" y "hay cuatro moléculas por celda en un cristal de sulfuro de zinc". Es necesario un cierto grado de conocimiento acerca de la estructura de los cristales y cómo se caracterizan para la formulación y comprensión de estos enunciados. Pero aunque uno no cuente con ese conocimiento, podrá ser capaz de reconocer que hay otros enunciados similares que pueden ser formulados usando los mismos términos, tales como "la estructura cristalina del diamante no tiene simetría de inversión" o "la estructura cristalina del diamante tiene cuatro moléculas por celda". Todos estos enunciados son observacionales en el sentido de que su verdad o falsedad puede ser establecida por la observación, una vez que se dominan las técnicas apropiadas de observación. Cuando se hace así, sólo los enunciados que extraje de mi libro de texto se ven confirmados por la observación, mientras que las alternativas construidas a partir de ellos resultan refutadas. Esto sirve para ilustrar que el hecho de que el conocimiento sea necesario para la

formulación de enunciados observacionales significativos deja abierta la cuestión de cuáles enunciados están soportados por la observación y cuáles no. Por consiguiente, la idea de que el conocimiento debe basarse en los hechos que resultan confirmados por la observación no resulta dañada al reconocer que la formulación de los enunciados que describen dichos hechos dependen del conocimiento. Sólo hay problemas si uno persiste en la tonta exigencia de que la confirmación de hechos relevantes para un campo del saber deba preceder a la adquisición de todo conocimiento.

Por lo tanto, la idea de que el conocimiento científico debe basarse en los hechos establecidos por la observación no tiene por qué resultar perjudicada por el reconocimiento de que la búsqueda y la formulación de esos hechos depende del conocimiento. Si la verdad o falsedad de los enunciados observacionales puede establecerse directamente en la observación, entonces, independientemente de la manera como se llegue a formular esos enunciados, pareciera que los enunciados observacionales confirmados de este modo proporcionan una base fáctica significativa para el conocimiento científico.

LA FALIBILIDAD DE LOS ENUNCIADOS OBSERVACIONALES

Hemos hecho algunos progresos en nuestra búsqueda de una caracterización de la base observacional de la ciencia, pero no estamos todavía libres de problemas. En la sección anterior, nuestro análisis presuponía que los enunciados observacionales se pueden establecer con seguridad por la observación de un modo no problemático. Pero ¿es lícito tal supuesto? Hemos visto que pueden surgir problemas debido a que observadores diferentes no tienen necesariamente las mismas percepciones al ver la misma escena, y ello puede conducir a desacuerdos acerca de los estados de cosas observables. La importancia para la ciencia que tiene este punto se apoya en casos bien documentados de la historia de la ciencia, tal como la disputa sobre si los efectos de los llamados rayos N, descritos por Nye (1980), son observables o no, y el desacuerdo entre astrónomos de Sidney y de Cambridge, descrito por Edge y Mulkay (1976), sobre cuáles eran los efectos observables en los primeros años de la radioastronomía. Hasta ahora

hemos dicho poco que muestre cómo en vistas de tales dificultades, se puede establecer una base observacional segura para la ciencia. Otras dificultades, en relación con la fiabilidad de la base observacional de la ciencia, surgen de algunas de las maneras en que se recurre al conocimiento presupuesto para estimar la idoneidad de los enunciados observacionales y que pueden hacer que éstos sean falibles. Ilustraré este punto con ejemplos.

Aristóteles incluyó el fuego entre los cuatro elementos de los que están hechos todos los objetos terrestres. La suposición de que el fuego es una sustancia distinta, si bien ligera, persistió durante cientos de años y sólo la química moderna fue capaz de derribarla. Quienes trabajaban con este supuesto creían observar el fuego directamente cuando veían ascender las llamas en el aire, de modo que, para ellos, "el fuego se elevaba" era un enunciado observacional soportado frecuentemente por la observación directa. Hoy desechamos tales enunciados observacionales. La cuestión es que si es defectuoso el conocimiento que proporciona las categorías que usamos para describir las observaciones, también lo serán los enunciados observacionales que dan por supuestas estas categorías.

Mi segundo ejemplo se refiere al reconocimiento, establecido en los siglos XVI y XVII, de que la Tierra se mueve describiendo una órbita alrededor del Sol y girando sobre su eje. Se puede decir que el enunciado "la Tierra es estacionaria" era un hecho confirmado por la observación antes de que las circunstancias hicieran posible dicho reconocimiento. Después de todo, uno no la ve moverse, ni siente que se mueva; si damos un salto en el aire, la Tierra no gira separándose de nosotros. Sabemos, desde una perspectiva moderna, que el enunciado observacional en cuestión es falso, a pesar de las apariencias. Comprendemos la inercia, y sabemos que, si bien nos movemos en dirección horizontal a más de cien metros por segundo porque la Tierra gira, no hay razón alguna por la que esto debiera cambiar si damos un salto en el aire. Se necesita una fuerza para modificar la velocidad y no hay ninguna fuerza horizontal actuando en nuestro ejemplo, de modo que mantenemos la velocidad que compartimos con la superficie de la Tierra y aterrizamos donde despegamos. "La Tierra es estacionaria" no queda establecido por la evidencia observable en la forma en que en un tiempo se pensó, pero para entender esto en su plenitud necesitamos comprender la inercia y esta comprensión fue una innovación

del siglo XVII. Tenemos aquí un ejemplo que ilustra la manera como el juicio acerca de la verdad o falsedad de un enunciado observacional depende del conocimiento que forma el trasfondo que hay detrás del juicio. Parecería como si la revolución científica llevara consigo no sólo una transformación progresiva de la teoría científica, sino también ¡una transformación en lo que se pensaba que eran los hechos observables!

Un tercer ejemplo ilustrará de nuevo este último punto. Se refiere a los tamaños de los planetas Venus y Marte, tal y como se ven desde la Tierra en el curso del año. Los tamaños aparentes de Venus y Marte deberían cambiar apreciablemente en el transcurso de un año, como consecuencia de la sugerencia de Copérnico de que la Tierra gira alrededor del Sol en una órbita exterior a la de Venus e interior a la de Marte. Esto es debido a que la Tierra está relativamente próxima a uno de los planetas cuando se encuentra del mismo lado respecto del Sol, mientras que está relativamente lejana cuando se encuentra del lado opuesto del Sol. Si se considera el asunto cuantitativamente, tal como puede hacerse con la propia versión de Copérnico de su teoría, el efecto es apreciable, con un cambio predecible en el diámetro aparente de un factor de aproximadamente ocho en el caso de Marte y de más o menos seis en el de Venus. Sin embargo, al observar cuidadosamente los planetas, a simple vista no se aprecia ningún cambio de tamaño en Venus y no más de un factor de dos en Marte. Por lo tanto, el enunciado observacional "el tamaño aparente de Venus no se modifica en el curso del año" estaba confirmado directamente, y a ello se refería el prefacio del tratado de Copérnico *Sobre las revoluciones de las esferas celestes*, como a un hecho confirmado "por la experiencia de todas las épocas" (Duncan, 1976, p. 22). Osiander, autor del prefacio en cuestión, estaba tan impresionado por el choque entre las consecuencias de la teoría copernicana y los "hechos observables", que lo utilizó para argüir que la teoría de Copérnico no debería tomarse literalmente. Ahora sabemos que son engañosas las observaciones a simple vista de los tamaños de los planetas, y que el ojo es un aparato muy poco confiable para estimar el tamaño de unas fuentes pequeñas de luz contra un fondo oscuro. Pero fue preciso que Galileo lo hiciera notar y mostrara cómo se puede distinguir claramente el cambio de tamaño predicho si se miran Venus y Marte a través del telescopio. Tenemos aquí un ejemplo claro de corrección de un error sobre hechos

observables, posibilitada por los adelantos en el conocimiento y la tecnología. El ejemplo es en sí mismo poco notable y nada misterioso, pero sí indica que toda opinión al efecto de que el conocimiento científico se basa en los hechos adquiridos por la observación debe reconocer que los hechos, al igual que el conocimiento, son falibles y están sujetos a corrección, y también que son interdependientes el conocimiento científico y los hechos sobre los que se pueda decir que se basa.

La intuición que traté de captar con mi lema "la ciencia se deriva de los hechos" era que el conocimiento científico tiene un carácter especial, en parte porque se funda sobre una base segura, los hechos sólidos firmemente establecidos por la observación. Algunas de las consideraciones de este capítulo suponen una amenaza a esta cómoda opinión. Una dificultad concierne a la medida en que las percepciones reciben la influencia de la preparación y las expectativas del observador; de tal manera que lo que a uno le parece un hecho observable no lo será necesariamente a otro. La segunda fuente de dificultades se origina en la dependencia que los juicios acerca de la verdad de los enunciados observacionales tienen en lo ya conocido o supuesto, haciendo así que los hechos observables sean tan falibles como los supuestos que les sirven de base. Ambos tipos de dificultad sugieren que la base observable de la ciencia no es tan directa y segura como se ha supuesto amplia y tradicionalmente. Trataré de mitigar en alguna medida estos temores en el capítulo siguiente, al considerar la naturaleza de la observación, en particular como se usa en ciencia, de forma más discernidora que la usada hasta ahora en nuestra discusión.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Para una discusión clásica de cómo es visto el conocimiento por un empirista, esto es, como derivado de lo que la mente recibe por medio de los sentidos, véase Locke (1967), y por un positivista lógico, Ayer (1940). Hanfling (1981) es una introducción al positivismo lógico en general, e incluye un recuento de las bases observacionales de la ciencia. Un desafío a estos puntos de vista al nivel de la percepción es Hanson (1958, capítulo I). Se pueden encontrar discusiones útiles de todo el tema en Brown (1977) y Barnes, Bloor y Henry (1996, capítulos 1-3).

2. LA OBSERVACIÓN COMO INTERVENCIÓN PRÁCTICA

LA OBSERVACIÓN: PASIVA Y PRIVADA O ACTIVA Y PÚBLICA

Un cierto número de filósofos entienden la observación como un asunto pasivo y privado. Es pasivo en cuanto que se supone que al ver, por ejemplo, sencillamente abrimos los ojos y los dirigimos de manera que la información fluya adentro y registramos lo que hay que ver. La propia percepción en la mente o cerebro del observador valida directamente el hecho de que pueda haber, por ejemplo, “un tomate rojo frente a mí”. Entendido de esta manera, el establecimiento de los hechos observables es un asunto muy privado, que se logra prestando atención el individuo a lo que se le presenta en el acto de la percepción. Puesto que, de dos observadores, ninguno tiene acceso a la percepción del otro, no hay manera de que puedan dialogar acerca de la validez de los hechos que se supone que han de establecer.

Esta visión de la percepción u observación como pasiva y privada es completamente inadecuada y no da una explicación precisa de la percepción en la vida diaria. cuanto menos en la ciencia. La observación común esta lejos de ser pasiva. Hay un cierto número de cosas que se *hacen*, muchas de ellas automáticamente, para establecer la validez de una percepción. En el acto de ver escudriñamos los objetos, movemos la cabeza en busca de cambios inesperados en la escena observada, etc. Si no estamos seguros de si una escena vista a través de la ventana es algo que está fuera o es un reflejo de la ventana, movemos la cabeza a fin de verificar qué efecto tiene esto sobre la dirección según la cual la escena es visible. Por lo general, si dudamos por alguna razón de la validez de lo que parece ocurrir según nuestra percepción, podemos actuar de diversas maneras para eliminar el problema. Si, en el ejemplo anterior, tenemos alguna razón que nos haga sospechar que la imagen del tomate es una imagen óptica ingeniosamente urdida y

no un tomate real, podemos tocarlo, además de mirarlo, y, en caso necesario, podremos probarlo o diseccionarlo.

Con estas pocas observaciones un tanto elementales sólo he tocado la superficie de la historia detallada que los psicólogos podrían contarnos acerca del cúmulo de cosas que hace el individuo en el acto de percepción. Para nuestra tarea es más importante considerar la importancia que tiene este punto en el papel que desempeña la observación en la ciencia. Un ejemplo que ilustra bien este aspecto viene de los primeros usos del microscopio en la ciencia. Cuando los científicos Robert Hooke y Henry Powers usaron el microscopio para estudiar pequeños insectos tales como moscas y hormigas, a menudo estaban en desacuerdo acerca de los hechos observables, al menos en un principio. Hooke achacaba la causa de algunas de las discrepancias a los tipos distintos de iluminación. Indicó que el ojo de una mosca aparece como una red llena de agujeros bajo un tipo de luz (lo cual, dicho sea de paso, parece haber inducido a Powers a creer que en realidad era así), como una superficie cubierta de conos bajo otra luz y, bajo un tercer tipo de luz, como una superficie cubierta de pirámides. Hooke procedió a hacer algunos ajustes prácticos para solucionar el problema. Trató de eliminar la información espuria, originada en deslumbramientos y reflexiones complejas, iluminando uniformemente los especímenes; lo hizo usando como iluminación la luz de una vela hecha difusa a través de una solución de salmuera. Iluminó asimismo sus especímenes desde diversas direcciones con el fin de determinar qué características permanecían invariantes con los cambios. Tuvo que intoxicar algunos de los insectos con coñac para que permanecieran inmóviles e indemnes.

El libro de Hooke, *Micrographia* (1665), contiene muchas descripciones y dibujos detallados como resultados de sus esfuerzos y sus observaciones. Su producción era, y es, pública, no privada. Puede ser verificada, criticada y aumentada por otros. Si el ojo de una mosca parece estar cubierto de agujeros bajo cierto tipo de iluminación, es algo que no puede evaluar útilmente el observador que preste mucha atención a sus percepciones. Hooke mostró qué podía *hacerse* para verificar la autenticidad de la apariencia en tales casos, y los procedimientos que recomendó podían llevarse a cabo por cualquiera con la suficiente inclinación y destreza. Los hechos observables resultantes acerca de la estructura del ojo de una mosca suceden dentro de un proceso que es a la vez activo y público.

El hecho de que se pueda actuar con el fin de explorar lo apropiado de las afirmaciones presentadas como hechos observables tiene por consecuencia que los aspectos subjetivos de la percepción no son necesariamente un problema intratable para la ciencia. En el capítulo anterior discutimos cómo percepciones de la misma escena pueden variar de un observador a otro, dependiendo de su preparación, su cultura y sus expectativas. Los problemas que resultan de este hecho indudable pueden ser en gran medida contrarrestados ejecutando las acciones apropiadas. No debiera ser una novedad para nadie el que los juicios perceptuales de los individuos pueden no ser fiables por diversas razones. Es un reto para la ciencia preparar la situación observable de manera que sea minimizada, si no eliminada, la dependencia en dichos juicios. Uno o dos ejemplos servirán de ilustración en este punto.

La ilusión lunar es un fenómeno común. Alta en el cielo, la Luna parece mucho más pequeña que cuando está baja en el horizonte. Esto es una ilusión. La Luna no cambia de tamaño, ni tampoco se modifica su distancia a la Tierra durante las pocas horas que toma la variación de su posición relativa. No obstante, no tenemos por qué confiar en un juicio subjetivo acerca del tamaño de la Luna. Podemos, por ejemplo, montar un tubo visual, al que se le han añadido unos hilos cruzados, de tal modo que se pueda leer su orientación en una escala. Será posible determinar el ángulo subtendido por la Luna desde el lugar del punto de vista alineando los hilos primero con un lado de la Luna y después con el otro y anotando la diferencia de las lecturas correspondientes en la escala. Esto puede hacerse cuando la Luna está alta en el cielo y repetirse cuando está baja en el horizonte. El tamaño aparente permanece invariable, y esto se refleja en que no hay una variación significativa en las lecturas de la escala en ambos casos.

GALILEO Y LAS LUNAS DE JÚPITER

La importancia de la discusión del capítulo anterior se ilustra en esta sección con un ejemplo histórico. Galileo construyó un potente telescopio a fines de 1609 y lo utilizó para mirar los cielos. Muchas de las nuevas observaciones que hizo durante los tres meses siguientes fueron

objeto de controversias muy importantes para el debate de los astrónomos acerca de la validez de la teoría copernicana, de la cual era Galileo un entusiasta campeón. Galileo afirmó, por ejemplo, haber visto cuatro lunas girando en órbita alrededor de Júpiter, pero encontraba difícil convencer a otros de la validez de sus observaciones. El asunto no carecía de importancia. La teoría copernicana conllevaba la polémica afirmación de que la Tierra se mueve, girando sobre su eje una vez por día y en órbita alrededor del Sol una vez al año. La opinión recibida, que Copérnico había desafiado en la primera mitad del siglo anterior, decía que la Tierra es estacionaria, con el Sol y los planetas girando alrededor de ella. Uno de los argumentos, en absoluto trivial, en contra del movimiento de la Tierra era que si se moviera en órbita alrededor del Sol, la Luna se quedaría detrás. El argumento se desmorona tan pronto como se admite que Júpiter tiene lunas, pues hasta los oponentes de Copérnico estaban de acuerdo en que Júpiter se mueve. Por lo tanto, si tiene lunas, las arrastra consigo, mostrando así justamente el mismo fenómeno que los oponentes de Copérnico suponían imposible en el caso de la Tierra.

Así pues, las observaciones que hizo Galileo con el telescopio de las lunas rodeando Júpiter tenían su envergadura. Galileo pudo convencer a sus rivales en un periodo de dos años, a pesar del escepticismo inicial y de la aparente incapacidad de un número de sus contemporáneos de distinguir las lunas con el telescopio. Veamos cómo pudo hacerlo, cómo fue capaz de “objetivar” sus observaciones de las lunas de Júpiter.

Galileo añadió a su telescopio una escala marcada con líneas horizontales y verticales a distancias iguales. Montó la escala por medio de un anillo, de tal manera que quedara enfrentada al observador y se pudiera deslizar en ambos sentidos a lo largo del telescopio. Alguien que mirara por el telescopio con un ojo podía ver la escala con el otro; la lectura se facilitaba iluminándola con una pequeña lámpara. Con el telescopio dirigido hacia Júpiter, se deslizaba la escala a lo largo de él hasta que la imagen de Júpiter, vista con un ojo a través del telescopio, quedara en el cuadrado central de la escala vista con el otro ojo. Una vez conseguido esto, se podía leer en la escala la posición de una luna vista a través del telescopio; la lectura correspondía a su distancia a Júpiter en un múltiplo del diámetro de éste. El diámetro de Júpiter era una unidad conveniente, puesto que al emplearla como módulo se

descontaba automáticamente el hecho de que el diámetro aparente, tal como se ve desde la Tierra, varía según el planeta se aproxima o aleja de ésta.

De esta manera, Galileo pudo registrar los movimientos diarios de las cuatro "estrellitas" que acompañaban a Júpiter y mostrar que los datos eran consistentes con la hipótesis de que las estrellitas eran en realidad lunas girando en órbita alrededor de Júpiter con un periodo constante. La hipótesis quedó demostrada no sólo por las mediciones cuantitativas sino también por la observación más cualitativa de que los satélites desaparecían de vez en cuando de la vista al pasar por detrás o por delante del planeta o se desplazaban detrás de su sombra.

Galileo podía argüir con fuerza acerca de la veracidad de sus observaciones de las lunas de Júpiter, a pesar de que eran invisibles a simple vista. Pudo, y así lo hizo, argumentar contra la sugerencia de que eran una ilusión producida por el telescopio señalando que así no se explicaba que las lunas aparecieran cerca de Júpiter y en ningún otro lugar. Galileo pudo también apelar a la consistencia y repetitividad de sus mediciones y su compatibilidad con la hipótesis de que las lunas giran alrededor de Júpiter con un periodo constante. Los datos cuantitativos de Galileo fueron verificados por observadores independientes, incluidos observadores del Collegio Romano y de la corte romana del Papa, que se oponía a la teoría copernicana. Aún más, Galileo era capaz de predecir las posiciones de las lunas y la ocurrencia de fases y eclipses, lo que fue también confirmado por él mismo y por observadores independientes, según consta en Stillman Drake (1978, pp. 175-6, 236-7).

La veracidad de lo visto con el telescopio fue pronto aceptada por los observadores competentes contemporáneos de Galileo, incluso por aquellos que se le habían opuesto en un principio. Si bien es cierto que algunos observadores no consiguieron nunca distinguir las lunas, yo sugiero que esto no tiene más importancia que la incapacidad de James Thurber (1933, pp. 101-103) para distinguir al microscopio la estructura de células de plantas. La solidez de la postura de Galileo en cuanto a la veracidad de sus observaciones de las lunas de Júpiter con el telescopio se deriva del cúmulo de pruebas prácticas y objetivas que pudieron resistir sus afirmaciones. Aunque sus razones pudieran no haber llegado a ser absolutamente concluyentes, eran incomparablemente más sólidas que las de la alternativa, esto es, que lo visto eran ilusiones o artefactos producidos por el telescopio.

LOS HECHOS OBSERVABLES SON OBJETIVOS PERO FALIBLES

Las líneas siguientes podrían servir de guía a un intento de rescatar una versión fuerte de lo que constituye un hecho observable, a partir de las críticas que hemos dirigido a esta noción. Un enunciado observacional constituye un hecho digno de formar parte de la base de la ciencia si puede ser probado directamente por los sentidos y resistir las pruebas. El término "directamente" pretende captar la idea de que los enunciados observacionales que aspiren a serlo deberían ser de tal modo que su validez pueda ser probada de manera rutinaria, y por procedimientos objetivos que no requieran juicios refinados y subjetivos por parte del observador. El énfasis puesto en las pruebas destaca el carácter activo y público reivindicado por los enunciados observacionales. Quizás de esta manera podamos captar una noción de hecho establecido sin problemas por la observación. Después de todo, sólo un filósofo empedernido querrá gastar su tiempo dudando de que cosas como la lectura de un contador puedan ser hechas con certeza, dentro de un cierto margen de error, mediante el uso cuidadoso del sentido de la vista.

Hay que pagar un pequeño precio por la noción de hecho observable presentada en el párrafo anterior, y es que los hechos observables son falibles en cierto grado y están sujetos a revisión. Aunque un enunciado pueda ser calificado de hecho observable porque ha superado todas las pruebas a las que se le haya sometido hasta un cierto momento, esto no quiere decir que necesariamente superará los nuevos tipos de prueba posibles a la luz de los adelantos en el conocimiento y en la tecnología. Nos hemos encontrado ya con dos ejemplos importantes de enunciados observacionales que fueron aceptados con buen fundamento pero que en algún momento hubieron de ser rechazados debido a tales adelantos, y son "la Tierra es estacionaria" y "los tamaños aparentes de Marte y Venus no cambian apreciablemente en el transcurso del año".

Según el punto de vista presentado aquí, las observaciones capaces de constituir la base del conocimiento científico son a la vez objetivas y falibles. Son objetivas en cuanto que pueden ser probadas públicamente por procedimientos directos, y falibles porque pueden ser desechadas por tipos nuevos de pruebas debidos a los adelantos en la

ciencia y en la tecnología. Se puede ilustrar este punto con otro ejemplo de la obra de Galileo. En su *Dialogue Concerning the Two Chief Systems* (1967, pp. 361-3), Galileo describe un método objetivo para medir el diámetro de una estrella. Colgaba una cuerda en la dirección entre él mismo y la estrella a una distancia tal que la cuerda bloqueara la visión de la estrella. Galileo supuso que el ángulo subtendido por la cuerda en el ojo era el mismo que el del ojo con la estrella. Sabemos ahora que los resultados de Galileo eran espurios. El tamaño aparente de una estrella, tal y como es percibido por nosotros, se debe enteramente a efectos atmosféricos y otros tipos de "ruido", y no tiene una relación determinada con su tamaño físico. Las mediciones hechas por Galileo de tamaños de estrellas descansaban en supuestos implícitos hoy rechazados, pero este rechazo no tiene nada que ver con los aspectos subjetivos de la percepción. Las observaciones de Galileo eran objetivas en el sentido de que implicaban procedimientos rutinarios que, si fueran repetidos hoy, darían más o menos los mismos resultados que obtuvo Galileo. En el capítulo siguiente tendremos ocasión de desarrollar algo más la cuestión de que la ausencia de una base observacional infalible de la ciencia no se deriva sólo de los aspectos subjetivos de la percepción.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Para una discusión clásica de la base empírica de la ciencia como enunciados que resisten pruebas, véase Popper (1972, capítulo 5). Los aspectos activos de la observación son resaltados en la segunda parte de Hacking (1983), en Popper (1979, pp. 341-61) y en Chalmers (1990, capítulo 4). Es también pertinente Shapere (1982).

3. EL EXPERIMENTO

NO SÓLO HECHOS, SINO LOS HECHOS PERTINENTES

Supongo en este capítulo, como argumento a discutir, que se pueden establecer hechos seguros mediante la utilización cuidadosa de los sentidos. Después de todo, como he sugerido antes, existe un cúmulo de situaciones pertinentes a la ciencia en las que esta suposición está seguramente justificada. Contar los sonidos de un contador Geiger o anotar la posición de la aguja en una escala son ejemplos no problemáticos. ¿Resuelve la existencia de estos hechos nuestro problema acerca de la base fáctica de la ciencia? ¿Constituyen los enunciados que supuestamente se pueden establecer por observación los hechos de los que se puede derivar conocimiento científico? Veremos en este capítulo que la respuesta a estas preguntas es un decidido “no”.

Un punto a tomar en cuenta es que lo que se necesita en la ciencia no es simplemente hechos, sino los hechos pertinentes. La inmensa mayoría de los hechos que se pueden establecer por observación, tales como el número de libros en mi despacho, o el color del coche de mi vecino, no tienen ningún interés para la ciencia y un científico perdería su tiempo recogiendo los. Cuáles hechos son pertinentes a la ciencia y cuáles no será algo relativo al estado de desarrollo de esa ciencia en ese momento. La ciencia plantea la cuestión, y en el caso ideal la observación proporcionará una respuesta. Esto es parte de la respuesta a la pregunta de qué constituye un hecho relevante para la ciencia.

No obstante, hay una cuestión más importante a considerar y que introduciré con un relato. Cuando yo era joven, mi hermano y yo discrepábamos sobre la manera de explicar el hecho de que la hierba crece más alta entre las "huellas" que dejan las vacas en un campo, algo que con seguridad no éramos los primeros en notar. Mi hermano opinaba que el efecto fertilizante del estiércol era la causa, mientras que yo pensaba que el estiércol encerraba humedad debajo e impedía la

evaporación. Ahora tengo la fuerte sospecha de que ninguno de los dos estaba completamente en lo cierto y que la razón principal es que las vacas tienden a no comer la hierba que queda alrededor de su propio estiércol. Se puede suponer que los tres efectos desempeñan algún papel, pero no es posible estimar sus magnitudes relativas por medio de observaciones como las hechas por mi hermano y por mí. Sería necesario intervenir de algún modo; se podría, por ejemplo, dejar fuera del campo a las vacas durante una estación para ver si así se reducía o desaparecía el crecimiento mayor de la hierba entre las huellas, o bien desmenuzar el estiércol de modo que se eliminara la retención de humedad conservando el efecto fertilizante, etcétera.

La situación ejemplificada es típica. Muchas clases de procesos están ocurriendo en el mundo que nos rodea; se superponen e interaccionan unos con otros de maneras complejas. Una hoja que cae está sometida a la acción de la gravedad, a la resistencia del aire y a la fuerza del viento, y se pudrirá también en alguna medida muy pequeña mientras cae. No es posible llegar a la comprensión de los distintos procesos con sólo observar cuidadosamente los acontecimientos tal como ocurren típica y naturalmente. La observación de las hojas cayendo no producirá la ley de caída de Galileo. La lección a aprender en este caso es bastante sencilla. Con el fin de recoger hechos relevantes para la identificación y especificación de los diversos procesos que ocurren en la naturaleza, es en general necesario intervenir prácticamente para tratar de aislar los procesos que se investigan y eliminar los efectos de otros. En pocas palabras, es necesario hacer experimentos.

Nos ha llevado algún tiempo llegar a este punto, pero debiera ser quizás obvio que si hay hechos que constituyen la base de la ciencia, estos hechos se darán en forma de resultados experimentales más que en la vieja forma de hechos observables. Por muy obvio que esto pueda parecer, los filósofos de la ciencia han estudiado la naturaleza del experimento y el papel que desempeña en la ciencia sólo en aproximadamente las dos últimas décadas. En verdad, se prestó poca atención a este punto en las ediciones anteriores de este libro. Las cuestiones que hemos venido estudiando aparecen bajo una luz algo diferente, como veremos en lo que queda de este capítulo, tan pronto como enfocamos el experimento, más que la simple observación, en cuanto que proporciona la base de la ciencia.

LA PRODUCCIÓN Y PUESTA AL DÍA DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados experimentales no son en absoluto dados directamente. Como todo experimentador sabe, y de hecho todo estudiante de ciencia, no es cosa fácil hacer que un experimento funcione. Un nuevo experimento significativo puede llevar meses, e incluso años, hasta que se ejecuta con éxito. Será una buena ilustración de esto un breve relato de mi propia experiencia como físico experimental durante los años sesenta. No tiene mayor importancia que el lector siga el detalle de la historia; sólo intento dar una idea de la complejidad y el esfuerzo práctico que conlleva el logro de un resultado experimental.

El objetivo de mi experimento era dispersar de las moléculas electrones con baja energía con el fin de descubrir cuánta energía perdían en el proceso, ganando así información relativa a los niveles de energía en las moléculas. Para alcanzar este objetivo era necesario producir un rayo de electrones que se movieran todos a la misma velocidad y tuvieran por tanto la misma energía. Era preciso conseguir que colidieran con una molécula como blanco sólo antes de entrar en el detector, pues de otro modo se perdería la información; era necesario también medir la velocidad, o energía, de los electrones dispersados con un detector adecuadamente diseñado. Cada uno de estos pasos suponía un desafío técnico. El selector de velocidad constaba de dos placas conductoras dobladas en forma de círculos concéntricos con una diferencia de potencial entre ellas. Los electrones que entraran entre las placas emergerían del otro extremo del canal circular sólo si tenían una velocidad que correspondiera a la diferencia de potencial entre las placas; de otro modo se desviarían contra las placas conductoras. Para asegurar que los electrones colidieran con sólo una molécula como blanco, era necesario hacer el experimento en una región con un vacío alto, conteniendo una muestra de gas a muy baja presión; esto requería llevar a sus límites la tecnología disponible del vacío. La velocidad de los electrones dispersos tenía que medirse con un dispositivo de electrodos circulares, similar al que se usa para producir rayos monoenergéticos. La intensidad de los electrones dispersos a una velocidad particular podía ser medida poniendo la diferencia de potencial entre las placas a un valor que permitiera sólo a los electrones con esa velocidad

atravesar el círculo y emerger al otro lado del analizador. La detección de los electrones emergentes implicaba medir una corriente extremadamente pequeña, lo que de nuevo llevaba hasta sus límites la tecnología disponible.

Ésta era la idea general, pero cada paso presentaba un cúmulo de problemas prácticos del tipo que será familiar a todo el que haya trabajado en este campo. Era muy difícil liberar los aparatos de los gases no deseados emitidos por los diversos metales con los que estaban contruidos. Moléculas de estos gases que resultaran ionizadas por el rayo de electrones podían coagularse sobre los electrodos y causar potenciales eléctricos espurios. Nuestros rivales norteamericanos descubrieron que podían minimizar en gran medida estos problemas chapando los electrodos con una lámina de oro. Nosotros encontramos que era de gran ayuda revestirlos de un solvente con base de carbono llamado "aquadag", no tan efectivo como la lámina de oro, pero más a tono con nuestro presupuesto de investigación. Mi paciencia (y mi beca de investigación) se agotaron mucho antes de que el experimento produjera resultados significativos. Tengo entendido que unos cuantos estudiantes de investigación tuvieron que sufrir mucho antes de que se obtuvieran los resultados deseados. Hoy día, treinta años más tarde, la espectroscopia de electrones de baja energía es una técnica bastante normal.

No tienen importancia los detalles de mis esfuerzos ni los de mis sucesores con más éxito. Lo que he dicho debería bastar para ilustrar lo que tendría que ser algo indiscutible. Si los resultados experimentales constituyen los hechos sobre los que se basa la ciencia, ciertamente no son dados directamente a través de los sentidos. Se logran con esfuerzo y el establecerlos implica un considerable saber, mucha práctica de ensayo y error, y la explotación de la tecnología disponible.

Tampoco son sencillos los juicios acerca de la idoneidad de los resultados experimentales. Los experimentos son adecuados, y revelan o miden lo que se intenta que revelen y midan, sólo si su disposición es la apropiada y se eliminan los factores perturbadores. Esto último, a su vez, requerirá que se sepa cuáles son estos factores perturbadores y cómo se los puede eliminar. Cualquier insuficiencia en el conocimiento relevante acerca de estos factores puede conducir a mediciones experimentales inapropiadas y a conclusiones erróneas. Hay, por lo tanto, un sentido importante en cómo se relacionan hechos experimentales y

teoría. Los resultados experimentales pueden ser erróneos si el conocimiento que los sustenta es deficiente o erróneo.

Una consecuencia de estas características generales, en cierto modo ordinarias, de los experimentos es que los resultados experimentales son falibles, y pueden ser puestos al día o reemplazados por causas bastante simples. Los resultados experimentales pueden quedar anticuados debido a avances en la tecnología, pueden ser desechados por adelantos en la comprensión (que hacen que una cierta disposición experimental pueda parecer inadecuada) y pueden ser rechazados por irrelevantes por cambios en la comprensión teórica. En la sección siguiente se ilustran estos aspectos y su importancia mediante ejemplos históricos.

LA TRANSFORMACIÓN DEL FUNDAMENTO EXPERIMENTAL DE LA CIENCIA: EJEMPLOS HISTÓRICOS

El fenómeno de la descarga eléctrica en tubos mereció un gran interés científico durante la última cuarta parte del siglo XIX. Si se conecta un voltaje elevado a través de las placas metálicas insertadas en cada extremo de un tubo de vidrio cerrado, ocurre una descarga eléctrica que produce diversos tipos de luz dentro del tubo. Si la presión del gas dentro del tubo no es muy grande, se producen rayos que unen la placa negativa (cátodo) a la placa positiva (ánodo). Se les dio el nombre de rayos catódicos y su naturaleza fue asunto de un interés considerable por parte de los científicos de la época. El físico alemán Heinrich Hertz llevó a cabo una serie de experimentos en los primeros años ochenta del siglo XIX con la intención de aclarar su naturaleza. Hertz concluyó, como resultado de sus experimentos, que los rayos catódicos no son haces de partículas cargadas. Llegó a esta conclusión en parte porque los rayos no parecían curvarse cuando se les sometía a un campo eléctrico perpendicular a la dirección de su movimiento, como era de esperar en el caso de partículas cargadas. Hoy sabemos que la conclusión de Hertz era falsa y que su experimento era inadecuado. Antes de que terminara el siglo, J. J. Thomson llevó a cabo algunos experimentos que demostraron de manera convincente que los rayos catódicos eran curvados por campos eléctricos y magnéticos, de

manera consistente con su naturaleza de partículas cargadas, y pudo medir la relación entre la carga eléctrica y la masa de las partículas.

Una tecnología más avanzada y una mejor comprensión de la situación hicieron posible que Thomson superara y desechara los resultados experimentales de Hertz. Los electrones que constituyen los rayos catódicos son capaces de ionizar las moléculas del gas dentro del tubo, esto es, desplazar de ellas uno o dos electrones de manera que quedan cargadas positivamente. Estos iones pueden depositarse en las placas metálicas del aparato y producir campos eléctricos, espurios desde el punto de vista del experimento. Estos campos impidieron posiblemente que Hertz produjera las deflexiones que Thomson llegaría, en su caso, a producir y medir. Thomson pudo perfeccionar el trabajo de Hertz, fundamentalmente, aprovechando una tecnología del vacío mejorada capaz de extraer del tubo moléculas de gas. Mantuvo en funcionamiento la bomba de vacío durante varios días con el fin de sacar la mayor cantidad posible de gas. Thomson pudo producir las deflexiones que Hertz declaró no existentes mediante un vacío más estricto y una mejor disposición de los electrodos. Tampoco Thomson podía detectar ninguna deflexión cuando permitía que la presión en su aparato alcanzara el valor que había tenido con Hertz. Es importante darse cuenta de que Hertz no fue culpable de sacar sus conclusiones. Dada su comprensión de la situación y el caudal de conocimientos a los que podía recurrir, tenía buenas razones para creer que la presión en su aparato era lo suficientemente baja y que su aparato estaba adecuadamente preparado. Las deficiencias de su aparato aparecieron solamente a la luz de los adelantos teóricos y tecnológicos subsiguientes. La moraleja es, naturalmente, ésta: ¿quién sabe qué resultados experimentales contemporáneos se demostrará que son deficientes por los adelantos del futuro?

El éxito de Hertz en ser el primero en producir ondas de radio, como culminación de dos años de investigación experimental brillante, demuestra que, lejos de ser un experimentador vulgar, Hertz fue uno de los mejores. Aparte de que revelaban un nuevo fenómeno a explorar e investigar experimentalmente, las ondas hertzianas tenían una importancia teórica considerable, puesto que confirmaban la teoría electromagnética de Maxwell, formulada a mediados de los años 1860 y que implicaba que existieran dichas ondas (si bien el propio Maxwell no se dio cuenta de ello). Los resultados de Hertz

siguen siendo aceptables en cuanto a la mayoría de sus aspectos y mantienen su importancia hoy en día. No obstante, algunos de los resultados hubieron de ser reemplazados y tuvo que desecharse una de sus interpretaciones principales. Ambos puntos ilustran la manera como los resultados experimentales están sujetos a revisión y perfeccionamiento.

Hertz fue capaz de usar su aparato para generar ondas estacionarias, lo que le permitió medir su longitud de onda, a partir de la cual pudo deducir su velocidad. Sus resultados indicaban que las ondas de mayor longitud de onda viajaban en el aire a una velocidad mayor que a lo largo de alambres y que eran más rápidas que la luz, mientras que la teoría de Maxwell predecía que viajarían a la velocidad de la luz tanto en el aire como a lo largo de los alambres del aparato de Hertz. Los resultados eran inadecuados por razones que el propio Hertz sospechaba. Las ondas que volvían al aparato reflejadas por las paredes del laboratorio causaban una interferencia no deseada. El propio Hertz (1962, p. 14) reflexionó como sigue sobre los resultados:

El lector se preguntara quizás por qué no he tratado de resolver yo mismo este dudoso punto repitiendo el experimento. De hecho he repetido los experimentos pero sólo para descubrir, como se podía esperar, que una simple repetición bajo las mismas condiciones no puede despejar la duda, sino que la aumenta más bien. Sólo puede llegarse a una decisión definitiva llevando a cabo los experimentos bajo condiciones más favorables. Condiciones más favorables quiere decir aquí espacios más grandes, y éstos no estaban a mi disposición. Subrayo una vez más que el cuidado en hacer las observaciones no puede compensar la falta de espacio. Es evidente que las ondas largas no pueden ser observadas si no se pueden desarrollar.

Los resultados experimentales de Hertz fueron inadecuados porque su montaje era inapropiado para la tarea que le ocupaba. Era preciso que las longitudes de onda de las ondas investigadas fueran pequeñas en comparación con las dimensiones del laboratorio, si se quería evitar la interferencia no deseada de las ondas reflejadas. Como se pudo ver, en pocos años se llevaron a cabo experimentos "bajo condiciones más favorables" que proporcionaron velocidades ajustadas a las predicciones teóricas.

Conviene subrayar que no sólo se requiere que los resultados experimentales sean adecuados, en el sentido de que registren con precisión

lo que sucede, sino que deben ser también apropiados o significativos. Típicamente, se diseñan con el fin de esclarecer alguna pregunta importante. El juicio acerca de lo que es una pregunta importante y si una serie específica de experimentos es el modo adecuado de responderla dependerá en gran medida de cómo se entienda la situación práctica y teóricamente. La existencia de distintas teorías del electromagnetismo en competencia, y el hecho de que uno de los más importantes contendientes predijera la existencia de ondas de radio viajando a la velocidad de la luz, hicieron que el intento de Hertz de medir la velocidad de sus ondas fuera particularmente importante. La comprensión del comportamiento de las ondas reflejadas hizo ver que el montaje experimental de Hertz no era el apropiado. Los resultados particulares de Hertz fueron desechados y reemplazados pronto, por razones sencillas y no misteriosas desde el punto de vista de la física.

Este episodio de las investigaciones de Hertz y sus propias reflexiones sobre él, además de servir de ejemplo de que los experimentos deben ser apropiados o significativos, y de que los resultados experimentales se reemplazan o desechan cuando dejan de serlo, pone de relieve que el rechazo a sus mediciones de la velocidad no tienen en absoluto nada que ver con problemas de la percepción humana. No hay ninguna razón para dudar de que Hertz observara cuidadosamente sus aparatos midiendo distancias, anotando la presencia o ausencia de chispas en el hueco entre sus detectores, y registrando las lecturas en los instrumentos. Se puede suponer que sus resultados eran objetivos, en el sentido de que cualquiera que los repita obtendrá los mismos. El propio Hertz subrayó este punto. El problema de los resultados experimentales de Hertz no proviene de que sus observaciones fueran inadecuadas, ni de falta de repetibilidad, sino de lo inadecuado de su montaje experimental. Como Hertz señaló, "el cuidado en hacer las observaciones no puede compensar la falta de espacio". Aunque concedamos que Hertz era capaz de establecer hechos seguros mediante la observación cuidadosa, podemos ver que esto, por si mismo, no basta para proporcionar resultados experimentales adecuados a la tarea científica en cuestión.

La discusión anterior puede interpretarse como una ilustración de que la aceptación de los resultados experimentales depende de la teoría, y de que los juicios a este respecto están sujetos a cambio según progresa la comprensión científica. Esto se ejemplifica, en un nivel

más general, en la manera como ha cambiado el significado de la producción de ondas de radio por Hertz desde el tiempo en que las produjo. En ese momento, una de las teorías del electromagnetismo en competencia era la de James Clerk Maxwell, que había desarrollado las ideas clave de Michael Faraday y había entendido los estados eléctrico y magnético como estados mecánicos de un éter omnipresente. Esta teoría predecía la posibilidad de ondas de radio desplazándose a la velocidad de la luz, a diferencia de la de sus competidores, que suponían que corrientes eléctricas, cargas e imanes actuaban una sobre otra a distancia y no requerían la existencia del éter. Este aspecto del estado de desarrollo de la física es el que dio a los resultados de Hertz su importancia teórica. En consecuencia, Hertz y sus contemporáneos pudieron interpretar la producción de ondas de radio como, entre otras cosas, *confirmación de la existencia del éter*. Dos décadas más tarde se prescindió del éter a la luz de la teoría especial de la relatividad de Einstein. Todavía hoy se considera que los resultados de Hertz confirman la teoría de Maxwell, aunque sólo en la versión que prescinde del éter y trata los campos eléctrico y magnético como entidades reales en sí mismas.

Otro ejemplo, relacionado con las mediciones de pesos moleculares en el siglo XIX, ilustrará cómo dependen del contexto teórico la relevancia y la interpretación de los resultados experimentales. En la segunda mitad del siglo XIX, a la luz de la teoría atómica de la combinación química, los químicos consideraban que tenían una importancia fundamental las mediciones de los pesos moleculares de los elementos y compuestos que se dan en la naturaleza. Esto era especialmente así para los que eran favorables a la hipótesis de Prout de que el átomo de hidrógeno representaba el ladrillo con el que se construían los otros átomos, pues esto llevaba a confiar en que los pesos moleculares, relativos al del hidrógeno, serían números enteros. Las laboriosas mediciones de los pesos moleculares hechas por los químicos experimentales rectores en su campo se hicieron en gran medida irrelevantes, desde el punto de vista de la química teórica, tan pronto como se observó que los elementos naturales contienen una mezcla de isótopos en proporciones que no tienen una significación teórica especial. Esta situación inspiró los siguientes comentarios del químico E. Soddy (Lakatos y Musgrave, 1970, p. 140):

Hay algo similar a una tragedia, si es que no la supera, en el destino que abrumó los trabajos de la distinguida galaxia de los químicos del siglo XIX, venerados justamente por sus contemporáneos como representantes de la cumbre y perfección de las mediciones científicas precisas. Sus resultados, ganados con tanto esfuerzo, parecen, al menos por el momento, de importancia poco mayor que la determinación del peso medio de una colección de botellas, algunas de ellas llenas, y otras más o menos vacías.

Aquí vemos cómo se desechan, por irrelevantes, resultados experimentales antiguos, y por razones que no tienen origen en las características problemáticas de la percepción humana. Los químicos del siglo XIX que los hicieron fueron "reverenciados por sus contemporáneos como cumbre y perfección de las mediciones científicas precisas" y no hay razón para dudar de sus observaciones, ni tampoco de la objetividad de éstas. No dudo de que químicos contemporáneos que repitieran los mismos experimentos obtendrían los mismos resultados. Es condición necesaria que sean ejecutados adecuadamente, pero no es suficiente para que los resultados experimentales sean aceptables. Tienen también que ser relevantes y significativos.

Se pueden resumir los aspectos en lo que he venido insistiendo de un modo que considero indiscutible desde el punto de vista de la física y la química y sus prácticas. Constantemente es puesto al día el depósito de resultados experimentales que sirven de base apropiada a la ciencia. Se desechan, por inadecuados, resultados experimentales viejos para ser reemplazados por otros nuevos, más apropiados, por una serie de razones bastante simples. Pueden ser desechados porque los experimentos no contaban con las suficientes precauciones contra posibles fuentes de interferencia, porque las mediciones utilizaban métodos de detección insensibles y anticuados, porque se llegó a entender que los experimentos eran incapaces de resolver los problemas que trataban, o porque se dejó de creer en la importancia de las preguntas para cuyas respuestas fueron diseñados. Si bien estas observaciones pueden parecer comentarios bastantes obvios acerca de la actividad científica cotidiana, tienen, sin embargo, implicaciones serias para gran parte de la filosofía ortodoxa de la ciencia, puesto que socavan la noción ampliamente extendida de que la ciencia descansa sobre fundamentos seguros. Aún más, las razones por las cuales esto no es

así tienen muy poco que ver con los rasgos problemáticos de la percepción humana.

EL EXPERIMENTO COMO BASE ADECUADA DE LA CIENCIA

En las secciones anteriores de este capítulo he sometido a escrutinio crítico la idea de que los resultados experimentales nos son dados directamente y son completamente seguros. He defendido la tesis de que dependen de la teoría en ciertos aspectos y la de que son falibles y revisables. Podría interpretarse esto como una amenaza seria a la idea de que el conocimiento científico es especial por cuanto se apoya en la experiencia de manera particularmente exigente y convincente. Si, podría argüirse, la base experimental de la ciencia es tan falible y revisable como pretendo, el conocimiento fundado en ella será igualmente falible y revisable. La inquietud aumentaría si se señala la amenaza de circularidad en la forma como se supone que la teoría se apoya en el experimento. Si se apela a las teorías para juzgar la adecuación de los resultados experimentales, y esos mismos resultados son la prueba de la teoría, parecería que hemos caído en un círculo. Parecería muy posible que la ciencia no ofrezca los recursos necesarios para resolver una disputa entre proponentes de teorías opuestas apelando a resultados experimentales. Un grupo recurriría a su teoría para justificar ciertos resultados experimentales, y el campo oponente haría lo mismo con su teoría rival para justificar resultados experimentales distintos. En esta sección doy razones para resistir ante estas conclusiones extremas.

Es preciso reconocer que existe la posibilidad de que la relación entre teoría y experimento pueda encerrar un argumento circular. Esto se puede ilustrar con el relato siguiente de mis días de maestro. Se les pidió a mis alumnos que llevaran a cabo un experimento con las instrucciones siguientes. El objetivo era medir la deflexión de un resorte que conducía una corriente, colgado entre los polos de un imán de herradura y libre de girar sobre un eje perpendicular a la línea de unión entre los polos del imán. El resorte formaba parte de un circuito en el que había una pila que suministraba la corriente, un amperímetro para medirla y una resistencia variable para poder ajustar su

intensidad. La tarea consistía en anotar la deflexión del imán, en función de diversos valores de la corriente en el circuito, registrados éstos en el amperímetro. El experimento estaba diseñado de manera que los alumnos que tuvieran éxito obtendrían una gráfica con una bonita línea recta al representar la deflexión en función de la intensidad, revelando así la proporcionalidad existente entre ellas. Recuerdo haberme sentido desconcertado por el experimento, aunque, quizá sabiamente, no transmití mi preocupación a los alumnos. Mi inquietud tenía su origen en que yo sabía lo que había dentro del amperímetro. Lo que había era un resorte colgado entre los polos de un imán, de modo que se desviaba por la corriente del resorte causando que una aguja se moviera en la escala visible y calibrada del amperímetro. Lo que el experimento debía soportar estaba ya presupuesto en él, y en verdad existía la circularidad.

Mi ejemplo ilustra cómo se puede producir una circularidad en los argumentos que apelan a la experimentación. Pero el mismo ejemplo sirve para mostrar que no es así necesariamente. El experimento mencionado podía haber usado, y debía haberlo hecho, un método de medir la corriente en el circuito que no utilizara la deflexión de un resorte en un campo magnético. Todo experimento supone la verdad de alguna teoría que le ayude a juzgar que la disposición es la adecuada y que los instrumentos leen lo que se intenta que lean. Pero estas teorías presupuestas no tienen por qué ser las mismas que la teoría puesta a prueba, y parecería razonable suponer que sería un requisito para un buen diseño experimental que no lo sean.

Otro aspecto que sirve para poner en perspectiva la "dependencia del experimento respecto de la teoría" es que, por muy inspirado por una teoría que esté un experimento, existe un sentido fuerte según el cual los resultados de un experimento vienen determinados por el mundo, y no por las teorías. Una vez que se ha instalado el aparato, los circuitos completos, los interruptores pulsados, etc., habrá o no un destello en la pantalla, el rayo podrá desviarse o no, la lectura en el amperímetro podrá, o no, aumentar. No podemos hacer que el resultado se adapte a nuestras teorías. Debido a que el mundo físico es como es, el experimento llevado a cabo por Hertz no presentó ninguna desviación de los rayos catódicos, mientras que el experimento modificado de Thomson sí. Fueron las diferencias materiales en los arreglos experimentales de los dos físicos las que condujeron a resultados

distintos, no las diferencias entre sus teorías. Debido a que los resultados experimentales vienen determinados por el funcionamiento del mundo, y no por las visiones teóricas del mundo, es posible probar las teorías frente al mundo. Esto no quiere decir que sea fácil conseguir resultados significativos, ni que sean infalibles, ni que su importancia se pueda ver siempre simplemente, pero ayuda a subrayar que es una búsqueda cargada de significado la que intenta ensayar la adecuación de las teorías científicas a los resultados experimentales. Aún más, la historia de la ciencia nos da ejemplos en los que el reto fue respondido con éxito.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La segunda mitad de Hacking (1983) fue un primer paso importante en el nuevo interés que han tomado por el experimento los filósofos de la ciencia. Otras exploraciones del tema son Franklin (1986,1990), Galison (1987) y Mayo (1996), si bien estos tratamientos detallados recibirán todo su significado a la luz del capítulo 13, sobre “el nuevo experimentalismo”. Los temas suscitados en este capítulo están analizados con algo más de detalle en Chalmers (1984).

4. LA INFERENCIA DE TEORÍAS A PARTIR DE LOS HECHOS: LA INDUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En los primeros capítulos del libro hemos considerado la idea de que lo característico del conocimiento científico es que se deriva a partir de los hechos. Alcanzamos un punto en el que dedicamos atención algo detallada a la naturaleza de los hechos observacionales y experimentales, hechos que pueden ser estimados como la base de la cual se deriva el conocimiento científico, si bien vimos que estos hechos no se pueden establecer de forma tan directa y segura como por lo común se supone. Supongamos, por tanto, que se pueden establecer hechos apropiados en ciencia. Debemos encarar ahora la cuestión de cómo se puede derivar el conocimiento científico a partir de esos hechos.

La expresión “la ciencia se deriva de los hechos” puede ser interpretada como significando que el conocimiento científico se construye estableciendo primero los hechos y edificando después la teoría que se ajusta a ellos. Discutimos este punto de vista en el capítulo 1 y lo deseamos por irrazonable. El aspecto que deseo explorar comprende la interpretación de “derivar” en un cierto tipo de sentido lógico, más que temporal. Independientemente de lo que ocurra primero, los hechos o la teoría, la cuestión a estudiar es en qué medida se apoya la teoría en los hechos. La afirmación más fuerte posible sería que la teoría puede derivarse lógicamente de los hechos, esto es, que dados los hechos, se puede probar la teoría como una consecuencia de ellos. Esta afirmación fuerte no puede ser justificada. Para ver por qué esto es así, debemos considerar algunos de los rasgos característicos del razonamiento lógico.

LÓGICA PARA BEBES

La lógica se ocupa de la deducción de unos enunciados a partir de otros dados. Estudia qué se sigue de qué. No se intentará dar aquí una explicación y valoración detalladas de la lógica o razonamiento deductivo. Más bien señalaré, con la ayuda de algunos ejemplos sencillos, ciertos aspectos que serán suficientes para nuestro propósito.

He aquí un ejemplo de razonamiento lógico perfectamente adecuado o, para usar un término técnico usado por los lógicos, perfectamente válido.

Ejemplo 1

1. Todos los libros de filosofía son aburridos.
2. Este libro es un libro de filosofía.
3. Este libro es aburrido.

En este argumento, (1) y (2) son las premisas y (3) es la conclusión. Es evidente, creo, que si (1) y (2) son verdaderas, (3) ha de ser verdadera. No es posible que (3) sea falsa si (1) y (2) son verdaderas. Afirmar la verdad de (1) y (2) y negar (3) es contradecirse. Esta es la característica clave de una deducción *lógicamente válida*. Si las premisas son verdaderas, entonces la conclusión es verdadera. La lógica es la preservación de la verdad.

Una ligera modificación del ejemplo (1) nos proporcionará un caso de argumento no válido.

Ejemplo 2

1. Muchos libros de filosofía son aburridos.
2. Este libro es un libro de filosofía.
3. Este libro es aburrido.

En este ejemplo, (3) no se sigue necesariamente de (1) y (2). Aunque (1) y (2) sean verdaderas, puede suceder que este libro sea, sin embargo, uno de los pocos libros de filosofía que no son aburridos. Aceptar que (1) y (2) son verdaderas y que (3) es falsa no supone una contradicción. El argumento no es válido.

El lector se puede sentir ya aburrido. Las experiencias de este tipo tienen que ver, ciertamente, con la verdad de los enunciados (1) y (3) en los ejemplos 1 y 2. Pero una cuestión que hay que señalar aquí es que la lógica y la deducción por sí solas no pueden establecer la verdad de unos enunciados fácticos del tipo que figura en nuestros ejemplos. Lo único que la lógica puede ofrecer a este respecto es que, *si* las premisas son verdaderas, *entonces* la conclusión debe ser verdadera. Pero el hecho de que las premisas sean verdaderas o no no es una cuestión que se pueda resolver apelando a la lógica. Una argumentación puede ser una deducción perfectamente válida aunque conlleve una premisa falsa. He aquí un ejemplo.

Ejemplo 3

1. Todos los gatos tienen cinco patas.
2. Bugs Pussy es mi gato.
3. Bugs Pussy tiene cinco patas.

Esta es una deducción perfectamente válida. Sí (1) y (2) son verdaderas, entonces (3) debe ser verdadera. Sucede que en este ejemplo (1) y (3) son falsas, pero esto no afecta al hecho de que el argumento es válido.

En un sentido fuerte, la lógica por sí sola no es fuente de nuevas verdades. La verdad de los enunciados fácticos que constituyen las premisas de los argumentos no puede establecerse apelando a la lógica. La lógica sólo puede revelar qué se sigue de los enunciados que tenemos a nuestro alcance, o qué, en cierto sentido, está contenido ya en ellos. En contraposición con esta limitación, tenemos la gran fuerza de la lógica, que es su carácter preservador de la verdad. Si estamos seguros de que nuestras premisas son verdaderas, entonces todo lo que se derive lógicamente de ellas será también verdadero.

¿PUEDEN DERIVARSE LAS LEYES CIENTÍFICAS A PARTIR DE LOS HECHOS?

Después de la discusión que acabamos de hacer acerca de la naturaleza de la lógica, se puede mostrar fácilmente que el conocimiento científico

no puede derivarse de los hechos, si 'derivar' se interpreta como "deducir lógicamente".

Algunos ejemplos sencillos de conocimiento científico bastarán para ilustrar este punto básico. Consideremos algunas leyes científicas de nivel inferior, tales como "todos los metales se dilatan al ser calentados" o "los ácidos ponen rojo el papel de tornasol". Son ejemplos de lo que los filósofos califican de enunciados universales. Se refieren a todos los acontecimientos de un tipo particular, esto es, a todas las ocasiones en que se calienten metales y a todas las ocasiones en que se sumerja en ácido el papel de tornasol. El conocimiento científico contiene invariablemente enunciados generales de este tipo. La situación es completamente distinta cuando se trata de los enunciados observacionales que constituyen los hechos que sirven de prueba a las leyes científicas generales. Estos hechos observables o resultados experimentales son afirmaciones específicas acerca de un estado de cosas en un tiempo particular. Son lo que los filósofos llaman enunciados singulares e incluyen declaraciones tales como "la longitud de una barra de cobre aumenta al ser ésta calentada" o "el papel de tornasol se volvió rojo al sumergirlo en una probeta de ácido clorhídrico". Supongamos que tenemos a nuestra disposición un gran número de hechos de este tipo como base desde la que esperamos derivar algún conocimiento científico (sobre metales o ácidos, en el caso de nuestros ejemplos). ¿Qué tipo de razonamiento puede conducirnos desde estos hechos, como premisas, a las leyes científicas que intentamos derivar como conclusiones? En el caso del ejemplo relativo a la dilatación de los metales, se puede esquematizar el razonamiento de la manera siguiente:

Premisas

1. El metal x_1 se dilató al calentarlo en la ocasión t_1
2. El metal x_2 se dilató al calentarlo en la ocasión t_2
- n. El metal x_n se dilató al calentarlo en la ocasión t_n

Conclusión

Todos los metales se dilatan al ser calentados

Éste no es un razonamiento lógicamente válido. Carece de las características básicas de un razonamiento de este tipo. Sencillamente, no es cierto que si los enunciados que constituyen las premisas son

verdaderos la conclusión deba ser también verdadera. Por muchas observaciones que tengamos de metales dilatándose, esto es, por muy grande que sea n en nuestro ejemplo, no puede haber garantía *lógica* de que alguna muestra de metal no se contraiga en alguna ocasión al ser calentada. No existe contradicción alguna al afirmar simultáneamente que todos los ejemplos conocidos de calentamiento de metales han dado por resultado una dilatación y que es falso que "todos los metales se dilatan al ser calentados".

La nitidez de este punto es ilustrada por un ejemplo algo truculento atribuido a Bertrand Russell. Cuenta que un pavo descubrió en su primera mañana en la granja que le daban comida a las 9. Después de ver repetida la experiencia diariamente durante semanas, el pavo creyó que podía seguramente sacar la conclusión "Siempre como a las 9 de la mañana". Pero, ¡ay! se demostró de manera indudable que esta conclusión era falsa cuando, la víspera de la Navidad, en vez de darle la comida le cortaron el cuello. El razonamiento del pavo le condujo desde un número de observaciones verdaderas a una conclusión falsa, lo que indica claramente la invalidez del razonamiento desde el punto de vista lógico.

Los razonamientos del tipo que he ilustrado con el ejemplo de la dilatación de los metales, que proceden desde un número finito de hechos específicos hasta una conclusión general, se llaman razonamientos *inductivos*, para distinguirlos de los razonamientos lógicos, *deductivos*. Una característica de los razonamientos inductivos que los diferencia de los deductivos es que, al pasar de enunciados acerca de *algunos* acontecimientos de un tipo particular a enunciados acerca de *todos* los acontecimientos, van más allá de lo que está contenido en las premisas. Las leyes científicas generales van invariablemente más allá de la cantidad finita de la evidencia observable que puede soportarlas, y ésta es la razón por la cual no pueden nunca ser probadas en el sentido de ser deducidas lógicamente de dicha evidencia.

¿QUÉ CONSTITUYE UN BUEN ARGUMENTO INDUCTIVO?

Hemos visto que si el conocimiento científico ha de entenderse como derivado de los hechos, este "derivarse" debe comprenderse en un sentido inductivo más que deductivo. Pero, ¿cuáles son las características

de un buen razonamiento inductivo? La cuestión es de importancia fundamental, puesto que está claro que no están justificadas todas las generalizaciones que se puedan hacer a partir de los hechos observables. Algunas nos parecerán demasiado apresuradas o basadas en una evidencia insuficiente; así, quizás, cuando atribuimos injustamente cierto rasgo a todo un grupo étnico basándonos en algún tropiezo desagradable con sólo un par de vecinos. ¿Bajo qué circunstancias precisamente es lícito aseverar que una ley científica ha sido "derivada" de un número finito de pruebas observacionales y experimentales?

Un primer intento de respuesta a esta pregunta consiste en la exigencia de que, para que esté justificada la inferencia inductiva desde los hechos observables hasta las leyes, deben ser satisfechas las condiciones siguientes:

1. El número de enunciados observacionales que constituyen la base de una generalización debe ser grande.
2. Las observaciones se deben repetir en una amplia variedad de condiciones.
3. Ningún resultado observacional aceptado debe entrar en contradicción con la ley universal derivada.

La condición 1 se considera necesaria, porque evidentemente no es lícito concluir que todos los metales se dilatan al ser calentados basándose en una sola observación de la dilatación de una barra de hierro, por ejemplo, de la misma manera que no es lícito concluir que todos los australianos son unos borrachos basándose en la observación de un australiano embriagado. Serán necesarias una gran cantidad de observaciones independientes antes de que se pueda justificar cualquier generalización. Un buen razonamiento inductivo no saca conclusiones precipitadas.

Un medio de aumentar el número de observaciones en los ejemplos mencionados sería calentar repetidas veces una misma barra de metal u observar de modo continuado a un australiano que se emborracha noche tras noche, y quizás día tras día. Evidentemente, una lista de enunciados observacionales obtenidos de ese modo formarían una base muy insatisfactoria para las respectivas generalizaciones. Por eso es necesaria la condición 2. "Todos los metales se dilatan al ser

calentados" sólo será una generalización lícita si las observaciones de la dilatación en las que se basa abarcan una amplia variedad de condiciones. Habría que calentar diversos tipos de metales, barras largas, barras cortas, barras de plata, barras de cobre, etc., a alta y baja presión, a altas y bajas temperaturas, etc. Sólo si en todas las ocasiones el resultado es la dilatación, es lícito generalizar por inducción a la ley general. Además, es evidente que si se observa que una determinada muestra de metal no se dilata, entonces no estará justificada la generalización a ley. La condición 3 es esencial.

Lo anterior puede resumirse en el siguiente enunciado del principio de inducción:

Si en una amplia variedad de condiciones se observa una gran cantidad de **A** y si todos los **A** observados poseen sin excepción la propiedad **B**, entonces todos los **A** tienen la propiedad **B**.

Esta caracterización de la inducción presenta problemas serios. Consideremos la condición 1, la exigencia de un gran número de observaciones. Es un problema la vaguedad de "gran número". ¿Se requieren cien, mil o más observaciones? Seguramente se produciría una gran arbitrariedad si se tratara de introducir precisión eligiendo aquí un número. Los problemas no se detienen aquí. Muchas veces, la exigencia de un gran número de ocasiones parece inapropiada. Como ilustración, consideremos la fuerte reacción pública contra la guerra nuclear que provocó el lanzamiento de la primera bomba atómica en Hiroshima al final de la Segunda Guerra Mundial. La reacción se basaba en la constatación de la vastedad de destrucción y sufrimiento humano que causan las bombas atómicas. Y, sin embargo, esta creencia generalizada, y seguramente razonable, se basaba en una sola y dramática observación. De manera similar, muy terco tendría que ser el investigador que insistiera en poner su mano en el fuego muchas veces antes de concluir que el fuego quema. Consideremos un ejemplo menos fantástico relacionado con la práctica científica. Supongamos que reproduzco un experimento descrito recientemente en una revista científica y envío mis resultados para su publicación. Con seguridad, el editor de la revista rechazará mi artículo explicándome que el experimento ya ha sido hecho. La condición 1 está plagada de problemas.

También la condición 2 presenta problemas serios que se originan en las dificultades que rodean la cuestión de qué se debe entender por una variación significativa en las circunstancias. ¿Qué es lo que cuenta como una variación significativa en las circunstancias bajo las cuales ha de investigarse la dilatación de un metal calentado? ¿Es necesario cambiar el tipo de metal, la presión y la hora del día? La respuesta es "sí" en el primer caso y quizá en el segundo, pero "no" en el tercero. Pero, ¿en qué se basa esta respuesta? La pregunta es importante, porque, a menos que se pueda responder, puede ampliarse indefinidamente la lista de variaciones añadiendo un sinnúmero de nuevos cambios, tales como el tamaño del laboratorio, o el color de los calcetines del experimentador. Si no se pueden eliminar las variaciones "superfluas", nunca podrán ser satisfechas las condiciones bajo las cuales la inferencia inductiva pueda ser aceptada. ¿Cuáles son las bases, por tanto, para considerar superfluo un cierto rango de variaciones posibles? La respuesta desde el sentido común es bastante simple. Recurrimos al conocimiento previo de la situación para distinguir entre los factores que podrían influir en el sistema que estamos investigando y los que no. Nuestros conocimientos sobre los metales y las diversas maneras en que se puede actuar sobre ellos nos conducen a la expectativa de que su comportamiento físico dependerá del tipo de metal y de la presión sobre él y no de la hora del día ni del color de los calcetines del experimentador. Recurrimos al depósito de los conocimientos actuales para que nos ayude a juzgar cuál es una circunstancia relevante que podría ser necesario modificar a la hora de investigar la generalidad de un efecto investigado.

Esta respuesta al problema es seguramente correcta. Sin embargo, supone una dificultad en el caso de una versión suficientemente fuerte de la afirmación de que el conocimiento científico debe derivarse de los hechos por inducción. El problema surge al preguntar cómo se justifica a sí mismo el conocimiento al que se recurre cuando se juzga si cierta circunstancia es o no relevante para el fenómeno que se investiga (tal como la dilatación de los metales). Si exigimos que se llegue a ese conocimiento por inducción, nuestro problema se hace recurrente, puesto que los nuevos razonamientos inductivos requerirán ellos mismos la especificación de las circunstancias relevantes, y así sucesivamente. Cada razonamiento inductivo involucra la llamada a un conocimiento previo, que requiere un razonamiento inductivo que lo

justifique, que a su vez implica una llamada a otro conocimiento previo, y así sucesivamente en una cadena sin fin. El requisito de que todo conocimiento se justifique por inducción se convierte en algo que no puede cumplirse.

Incluso la condición 3 es problemática, pues pocos conocimientos científicos sobrevivirían a la exigencia de que no se conozca ninguna excepción. Es éste un punto que será discutido con cierto detalle en el capítulo 7.

OTROS PROBLEMAS QUE PRESENTA EL INDUCTIVISMO

Recordemos la posición según la cual el conocimiento científico se deriva de los hechos observables por algún tipo de inferencia inductiva. Esta postura se denomina inductivismo e inductivistas a quienes la subscriben. Ya hemos señalado una serie de problemas que le son inherentes, en particular el problema de establecer bajo qué condiciones, precisamente, una generalización constituye una buena inferencia inductiva. Esto es, no está claro lo que significa la inducción. Hay además otros problemas en la postura inductivista.

A poco que se reflexione sobre el conocimiento científico contemporáneo, ha de admitirse que gran parte de él se refiere a lo inobservable. Se refiere a cosas tales como protones y electrones, genes y moléculas de ADN, etc. ¿Cómo encaja un conocimiento de este tipo en la posición inductivista? En cuanto que el razonamiento inductivo implica algún tipo de generalización a partir de hechos observables, parecería que no podría proporcionar ningún conocimiento de lo inobservable. Toda generalización que parte de hechos del mundo observable no puede ofrecer otra cosa que generalizaciones que parten de hechos del mundo observable. Por consiguiente, el conocimiento científico del mundo inobservable no puede establecerse por el tipo de razonamiento inductivo que hemos discutido, lo cual pone a los inductivistas en la incómoda posición de rechazar gran parte de la ciencia contemporánea, basados en que implica ir más allá de lo que se puede justificar mediante generalización inductiva de lo observable.

Otro problema tiene su origen en el hecho de que muchas leyes científicas toman la forma de leyes exactas que se formulan matemáticamente

La ley de la gravitación, que enuncia que la fuerza entre dos masas cualesquiera es proporcional al producto de las masas dividido por el cuadrado de la distancia entre ellas, es un ejemplo sencillo. En comparación con la exactitud de estas leyes, tenemos la inexactitud de toda medición que constituya su evidencia observable. Es bien sabido que toda observación está sujeta a un cierto grado de error, tal y como se refleja en la práctica de los científicos, que escriben el resultado de una medición particular en la forma $x \pm dx$ donde dx representa el margen de error estimado. Si las leyes científicas son generalizaciones inductivas de hechos observables, es difícil ver cómo podría uno escapar a la inexactitud de las medidas que constituyen las premisas de los argumentos inductivos. Es difícil entender cómo se podría nunca justificar leyes exactas sobre la base de evidencia inexacta.

Un tercer problema para el inductivista es el viejo y consabido chasco filosófico denominado el problema de la inducción. El problema surge para todo el que subscriba la opinión de que el conocimiento científico, en todos sus aspectos, deba ser justificado bien apelando a la lógica (deductiva), bien derivándolo de la experiencia. David Hume fue un filósofo del siglo XVIII que pensaba así; fue él quien articuló claramente el problema que voy a destacar.

El problema surge cuando se suscita la cuestión de cómo la inducción ha de justificarse a sí misma. ¿Cómo se demuestra el principio de inducción? Quienes son de la opinión en discusión tienen sólo dos opciones, o bien la justifican recurriendo a la lógica, o bien a la experiencia. Ya hemos visto que la primera opción no sirve. Las inferencias inductivas no son inferencias lógicas (deductivas). Nos queda sólo la segunda opción, esto es, el intento de justificar la inducción apelando a la experiencia. ¿Cómo sería una justificación semejante? Probablemente, sería algo así. Se ha observado que la inducción funciona en un gran número de ocasiones. Por ejemplo, las leyes de la óptica, derivadas por inducción de los resultados de experimentos de laboratorio, se han utilizado en numerosas ocasiones para diseñar instrumentos ópticos, y estos instrumentos han funcionado de modo satisfactorio. Asimismo, las leyes del movimiento planetario, derivadas inductivamente de observaciones de las posiciones de los planetas, se han empleado con éxito para predecir eclipses y conjunciones. Se podría ampliar esta lista con informes de predicciones y explicaciones exitosas, que suponemos hechas sobre la base de leyes y teorías científicas derivadas

inductivamente. De este modo, así reza la argumentación, se justifica la inducción por la experiencia.

Esta justificación de la inducción es inaceptable, lo cual se puede ver tan pronto como se desmonta esquemáticamente la forma de la argumentación como sigue:

El principio de inducción funcionó con éxito en la ocasión x_1

El principio de inducción funcionó con éxito en la ocasión x_2 , etc.

El principio de inducción funciona siempre

Aquí se infiere un enunciado universal que afirma la validez del principio de inducción a partir de cierta cantidad de instancias individuales que registran aplicaciones con éxito. Por lo tanto, la argumentación es inductiva y, en consecuencia, el intento de justificar la inducción apelando a la experiencia da por supuesto lo que trata de probar. Implica justificar la inducción apelando a la inducción y es, por tanto, completamente insatisfactoria.

Un intento de evitar el problema de la inducción consiste en debilitar la exigencia de que el conocimiento científico sea verdadero, y se conforme con la afirmación de que se puede demostrar que el conocimiento científico es probablemente verdadero a la luz de la evidencia. Así, la inmensa mayoría de las observaciones que se pueden invocar en apoyo de la afirmación de que materiales más densos que el aire caen a la tierra, si bien no nos permiten probar la verdad de la afirmación, si garantizan el aserto de que ésta es probablemente verdadera. De acuerdo con esto, podemos reformular el principio de inducción de forma que diga: "Si en una amplia variedad de condiciones se ha observado un gran número de A, y si todos estos A observados poseen la propiedad B, entonces, probablemente todos los A poseen la propiedad B". Esta reformulación no supera el problema de la inducción. El principio reformulado sigue siendo un enunciado universal. Basándose en un número finito de éxitos, implica que todas las aplicaciones del principio conducirán a conclusiones probablemente verdaderas. Por consiguiente, los intentos por justificar la versión probabilística del principio de inducción apelando a la experiencia encierran un recurso a argumentos inductivos del tipo que se trata de justificar, tal y como hizo el principio en su forma original.

Existe otro problema básico con las interpretaciones según las cuales los argumentos inductivos conducen a la verdad probable, en lugar de a la verdad. El problema surge tan pronto como se trata de precisar cuán probable es una ley o teoría a la luz de una evidencia especificada. Puede parecer intuitivamente plausible que, a medida que aumenta el apoyo observacional que recibe una ley universal, aumente también la probabilidad de que sea verdadera. Pero esta intuición no resiste un examen. Según la teoría de probabilidades comúnmente aceptada, es difícil evitar la conclusión de que la probabilidad de una ley general es igual a cero, sea cual fuere la evidencia observacional. Para decirlo de una manera no técnica, cualquier evidencia observacional constará de un número finito de enunciados observacionales, mientras que una ley general hace afirmaciones acerca de un número infinito de casos posibles. La probabilidad de la ley a la luz de la evidencia es, por tanto, un número finito dividido por infinito, lo cual sigue siendo cero por mucho que aumente el número finito de pruebas. Visto de otro modo, siempre habrá un número infinito de enunciados generales compatibles con un número finito de enunciados observacionales, de la misma manera que existe una infinidad de curvas que pueden trazarse pasando por un número finito de puntos. Es decir, siempre existirá un número infinito de hipótesis compatibles con un número finito de pruebas. Por consiguiente, la probabilidad que tiene cada una de ser verdad es igual a cero. En el capítulo 12 analizaremos una posible manera de resolver el problema.

En esta sección y en la anterior hemos desvelado dos tipos de problemas con la idea de que el conocimiento científico se deriva de los hechos por algún género de inferencia inductiva. El primero se refería al asunto de especificar qué es un argumento inductivo adecuado, y el segundo a la circularidad involucrada en los intentos de justificar la inducción. Considero que el primer problema es más grave que el segundo. Todo intento de dar una explicación de la ciencia ha de tropezar con un problema similar, y ésta es la razón por la que no tomo el problema de la inducción demasiado en serio. Encontraremos necesariamente dificultades si buscamos justificaciones racionales a todos los principios que usamos, pues no podemos ofrecer un *argumento racional* al propio argumento racional sin presuponer lo que estamos tratando de probar. Ni siquiera la lógica se deja *probar* sin una petición de principio. Sin embargo, se puede especificar con un alto grado

de precisión lo que constituye un argumento deductivo válido, mientras que no ha sido puesto en claro en absoluto lo que constituye un buen argumento inductivo.

EL ATRACTIVO DEL INDUCTIVISMO

El párrafo siguiente, escrito por un economista del siglo XX, contiene una expresión concisa del punto de vista inductivista de la ciencia, esto es, la opinión, discutida en los primeros capítulos de este libro, de que el conocimiento científico se deriva de los hechos por inferencia inductiva.

Si tratamos de imaginar cómo utilizaría el método científico una mente de poder y alcance sobrehumanos, pero normal por lo que se refiere a los procesos lógicos de su pensamiento... el proceso sería el siguiente: En primer lugar, se observarían y registrarían todos los hechos *sin seleccionarlos* ni hacer conjeturas *a priori* en lo que se refiere a su importancia relativa. En segundo lugar, se analizarían, compararían y clasificarían los hechos registrados y observados, sin más *hipótesis o postulados* que los que necesariamente supone la lógica del pensamiento. En tercer lugar, se harían generalizaciones inductivas referentes a las relaciones clasificatorias o causales que hay entre los hechos, a partir de ese análisis de ellos. En cuarto lugar, la investigación posterior sería tanto deductiva como inductiva, utilizando inferencias realizadas a partir de generalizaciones previamente establecidas (la cita, debida a A.B. Wolfe, esta en Hempel (1966, p.11)).

Hemos visto que la idea de que la colección de hechos puede y debe tener lugar antes de la adquisición y aceptación de todo conocimiento no soporta el análisis. Sugerir otra cosa equivale a creer que mis observaciones acerca de la flora del sotobosque australiano serían más valiosas que las de un botánico profesional justamente porque yo sé poco de botánica. Rechacemos esta parte de la caracterización de la ciencia que hace nuestro economista; lo que queda es una concepción con un cierto atractivo y está esquematizada en la figura 2. Las leyes y teorías que constituyen el conocimiento científico se derivan por inducción a partir de una base de hechos suministrada por la observación

y la experimentación. Una vez que se cuenta con este conocimiento general, se puede recurrir a él para hacer predicciones y ofrecer explicaciones.



FIGURA 2

Consideremos el siguiente argumento:

1. El agua completamente pura se congela a unos 0° C (si se le da tiempo suficiente).
2. El radiador de mi coche contiene agua completamente pura.
3. Si la temperatura baja a 0° C , el agua del radiador de mi coche se congelará (si se le da tiempo suficiente).

Aquí tenemos un ejemplo de argumentación lógica válida para deducir la predicción 3 del conocimiento científico contenido en la premisa 1. Si 1 y 2 son verdaderas, 3 debe ser verdadera. Sin embargo, la verdad de 1, 2 y 3 no se establece gracias a ésta o a otra deducción. Para un inductivista, la fuente de la verdad no es la lógica, sino la experiencia. Desde este punto de vista, 1 se determinará por observación directa del agua congelada. Una vez que se han establecido 1 y 2 mediante la observación y la inducción, se puede *deducir* de ellas la predicción 3.

Ejemplos menos *triviales* serán más complicados, pero los papeles que desempeñan la observación, la inducción y la deducción siguen siendo en esencia los mismos. Como ejemplo final consideraremos la explicación inductivista de cómo puede la ciencia física explicar el arco iris.

La premisa simple 1 del ejemplo anterior es reemplazada en este caso por una serie de leyes que rigen el comportamiento de la luz, a saber, las leyes de la reflexión y de la refracción de la luz y afirmaciones acerca de la medida en que el grado de refracción depende del color. Estos principios generales se derivan de la experiencia por inducción. Se efectúan una gran cantidad de experimentos de laboratorio, reflejando rayos de luz de espejos y superficies de agua, midiendo los ángulos de incidencia y refracción de los rayos de luz que pasan del aire al agua, del agua al aire, etc., en una gran variedad de condiciones, repitiendo los experimentos con luz de varios colores, etc., hasta que se dan las condiciones necesarias para considerar lícita la generalización inductiva de las leyes de la óptica.

También se reemplazará la premisa 2 del ejemplo anterior por una serie más compleja de enunciados. Dichos enunciados incluirán afirmaciones en el sentido de que el Sol está situado en una posición determinada en el cielo con respecto a un observador en la Tierra, y que caen gotas de lluvia procedentes de una nube situada en una región determinada con relación al observador. Nos referiremos a este conjunto de enunciados, que describen los detalles de la situación que se está investigando, como las *condiciones iniciales*. Las descripciones de las situaciones experimentales serán ejemplos típicos de condiciones iniciales.

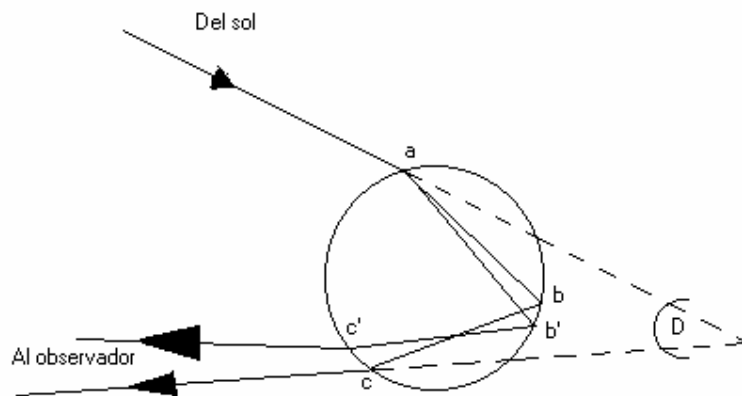


FIGURA 3

Dadas las leyes de la óptica y las condiciones iniciales, es posible entonces efectuar deducciones que proporcionen una explicación de la formación de un arco iris visible para el observador. Estas deducciones ya no serán tan evidentes como en nuestros ejemplos anteriores y supondrán tanto argumentaciones matemáticas como verbales. La argumentación será más o menos la siguiente. Si suponemos que una gota de lluvia es aproximadamente esférica, entonces el trayecto de un rayo de luz a través de una gota de agua será más o menos el dibujado en la figura 3. Si un rayo de luz blanca incide en una gota de lluvia en a , entonces, si la ley de la refracción es verdadera, el rayo rojo viajará a lo largo de la línea ab y el rayo azul a lo largo de ab' . Si las leyes que rigen la reflexión son verdaderas, entonces ab debe reflejarse a lo largo de bc y ab' a lo largo de $b'c'$. De nuevo la refracción en c y c' se determinará mediante la ley de la refracción, de modo que un observador que contemple la gota de lluvia verá los componentes rojo y azul de la luz blanca por separado (y también todos los demás colores del espectro). Nuestro observador también podrá ver la misma separación de colores en cualquier gota de lluvia que esté situada en una parte del cielo tal que la línea que une la gota de lluvia con el Sol forme un ángulo D con la línea que une la gota de lluvia con el observador. Así pues, las consideraciones geométricas proporcionan la conclusión de que el observador podrá ver un arco coloreado, siempre que la nube de lluvia esté suficientemente extendida.

En esta ocasión sólo he bosquejado la explicación del arco iris, pero lo que se ofrece debe bastar para ejemplificar la forma general del razonamiento implicado. Dado que las leyes de la óptica son verdaderas (y para el inductivista ingenuo eso se puede establecer por inducción a partir de la observación) y dado que las condiciones iniciales están descritas de modo preciso, se sigue necesariamente la explicación del arco iris. Se puede resumir de la siguiente manera la forma general de todas las explicaciones y predicciones científicas:

1. Leyes y teorías
2. Condiciones iniciales
3. Predicciones y explicaciones

Ésta es la etapa representada en el lado derecho de la figura 2.

La concepción inductivista básica de la ciencia tiene ciertos méritos aparentes. Su atractivo parece residir en el hecho de que proporciona

una explicación formalizada de algunas de las intuiciones comunes acerca de las características peculiares del conocimiento científico, esto es, de su objetividad, confiabilidad y utilidad. En esta sección hemos discutido la concepción inductivista de la ciencia en cuanto a que hace posible predicciones y explicaciones.

La objetividad de la ciencia, tal y como la interpreta el inductivista, se deriva de la medida en que la observación, la inducción y la deducción son consideradas ellas mismas objetivas. Se entiende que los hechos observables son establecidos por el uso sin prejuicios de los sentidos, de manera que no haya lugar a que se inmiscuya la opinión subjetiva. Tampoco hay lugar para la opinión subjetiva en cuanto a los razonamientos inductivo y deductivo, puesto que son adecuados en la medida en que se adaptan a los criterios de idoneidad formulados públicamente. O las inferencias satisfacen las normas objetivas o no las satisfacen.

La fiabilidad de la ciencia se sigue de las afirmaciones del inductivista acerca de la observación y de ambos razonamientos, el inductivo y el deductivo. Según el inductivista ingenuo, los enunciados observacionales que forman la base de la ciencia pueden establecerse directamente y con seguridad haciendo uso cuidadoso de los sentidos. Además, esta seguridad se transmitirá a las leyes y teorías derivadas de ellos inductivamente siempre que se respeten las condiciones para generalizaciones inductivas adecuadas. Esto está garantizado por el principio de inducción, que se supone que forma la base de la ciencia.

Hemos visto que, aunque pueda parecer atractiva, la posición inductivista necesita, en el mejor de los casos, una matización severa, y en el peor, es totalmente inadecuada. Hemos visto que los hechos apropiados para la ciencia no son de ninguna manera dados directamente sino que tienen que ser prácticamente contruidos, dependen, en aspectos importantes, del conocimiento que presuponen, con una complejidad pasada por alto en el esquematismo de la figura 2, y están sujetos a ser mejorados y reemplazados. Lo que es aún más grave, hemos sido incapaces de ofrecer una especificación precisa de la inducción de modo que pueda servir para distinguir una generalización justificada de los hechos de otra rápida o apresurada, tarea ésta formidable, dada la capacidad de sorprender que tiene la naturaleza; sirva de ejemplo el descubrimiento de que los líquidos superrefrigerados pueden fluir hacia arriba.

En el capítulo 12 discutiremos algunos intentos recientes de salvar de sus dificultades la concepción inductivista de la ciencia. Entretanto, dirigiremos la atención en los dos capítulos próximos a un filósofo que trata de esquivar los problemas proponiendo una visión de la ciencia que no incluye la inducción.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La fuente histórica del problema de la inducción en Hume es su *Treatise on Human Nature* (1939, Parte 3). Otra discusión clásica del problema se encuentra en Russell (1912, capítulo 6). Una investigación minuciosa y técnica de las consecuencias del argumento de Hume es la de Stove (1973). La pretensión de Popper de haber resuelto el problema de la inducción está en Popper (1979, capítulo 1). Exposiciones razonablemente accesibles del razonamiento inductivo pueden encontrarse en Hempel (1966) y Salmon (1966), y con tratamiento mas detallado en Glymour (1980). Véase también Lakatos (1968) para una colección de ensayos que incluyen un provocativo examen del propio Lakatos de los intentos de construir una lógica inductiva.

5. INTRODUCCIÓN DEL FALSACIONISMO

INTRODUCCIÓN

Karl Popper ha sido el defensor más vigoroso de una alternativa al inductivismo, a la cual me referiré como “falsacionismo”. Popper recibió su educación en Viena en los años veinte de este siglo, en un tiempo en que el positivismo lógico estaba siendo articulado por un grupo de filósofos que llegaron a ser conocidos como el Círculo de Viena. Rudolph Carnap era uno de los miembros más famosos; el choque y el debate entre sus seguidores y los de Popper habían de ser un rasgo característico de la filosofía de la ciencia hasta los años sesenta. El propio Popper ha contado cómo llegó a desencantarse con la idea de que la ciencia es especial porque puede derivarse de hechos; de cuantos más, mejor. Recelaba de la manera en que veía a freudianos y marxistas fundar sus teorías interpretando un amplio rango de ejemplos de la conducta humana o del cambio histórico, respectivamente, en términos de sus teorías, suponiendo que de este modo las soportaban. Al parecer de Popper, estas teorías no podían nunca equivocarse porque eran lo suficientemente flexibles como para acomodar y hacer compatible con ellas cualquier ejemplo de conducta humana o de cambio histórico. Por consiguiente, no podían de hecho explicar nada porque no eran capaces de excluir nada, a pesar de que aparentaban ser teorías poderosas confirmadas por un amplio conjunto de hechos. Popper comparó esto con el famoso experimento que hizo Eddington en 1919 para comprobar la teoría general de la relatividad de Einstein. La teoría de Einstein implicaba que los rayos de luz deberían curvarse al pasar cerca de objetos de gran masa, tales como el Sol. Por consiguiente, una estrella situada por detrás del Sol tendría que aparecer desplazada respecto de la dirección según la cual sería observada de no existir esta curvatura. Eddington buscó este desplazamiento mirando la estrella en un tiempo en el que la luz del Sol quedara bloqueada por un eclipse. Resultó que

el desplazamiento pudo ser observado y la teoría de Einstein recibió su confirmación. Pero Popper insiste en que pudo no haber sido así y en que la teoría general de la relatividad corría un riesgo al hacer una predicción específica y experimentable y eliminar toda observación que entrara en conflicto con dicha predicción. Popper concluyó que las teorías genuinamente científicas, al hacer predicciones definidas, eliminan un cúmulo de situaciones observables de un modo que escapaba, a su parecer, a las teorías freudianas y marxistas. Llegó a la idea clave de que las teorías científicas *son falsables*.

Los falsacionistas admiten francamente que la observación es guiada por la teoría y la presupone. También se congratulan de abandonar cualquier afirmación que implique que las teorías se pueden establecer como verdaderas o probablemente verdaderas a la luz de la evidencia observacional. Las teorías se construyen como conjeturas o suposiciones especulativas y provisionales que el intelecto humano crea libremente en un intento de solucionar los problemas con que tropezaron las teorías anteriores y de proporcionar una explicación adecuada del comportamiento de algunos aspectos del mundo o universo. Una vez propuestas, las teorías especulativas han de ser comprobadas rigurosa e implacablemente por la observación y la experimentación. Las teorías que no superan las pruebas observacionales y experimentales deben ser eliminadas y reemplazadas por otras conjeturas especulativas. La ciencia progresa gracias al ensayo y el error, a las conjeturas y refutaciones. Sólo sobreviven las teorías más aptas. Aunque nunca se puede decir lícitamente de una teoría que es verdadera, se puede decir con optimismo que es la mejor disponible, que es mejor que cualquiera de las que han existido antes. Para los falsacionistas, no surgen problemas acerca de la caracterización y la justificación de la inducción porque, según ellos, la ciencia no implica la inducción.

El contenido de este resumen condensado del falsacionismo se completará en los dos capítulos siguientes.

UNA CUESTIÓN LÓGICA FAVORABLE AL FALSACIONISMO

Según el falsacionismo, se puede demostrar que algunas teorías son falsas apelando a los resultados de la observación y la experimentación

En este punto hay una cuestión lógica simple que parece apoyar al falsacionista. Ya he indicado en el capítulo 4 que, aunque supongamos que disponemos de alguna manera de enunciados observacionales verdaderos, nunca es posible llegar a leyes y teorías universales basándose sólo en deducciones lógicas. Por otro lado, es posible efectuar deducciones lógicas partiendo de enunciados observacionales singulares como premisas, y llegar a la falsedad de teorías y leyes universales mediante una deducción lógica. Por ejemplo, si tenemos el enunciado "En el lugar x y en el momento t se observó un cuervo que no era negro", entonces de esto se sigue lógicamente que "Todos los cuervos son negros" es falso. Esto es, la argumentación:

Premisa:

En el lugar x y en el momento t se observó un cuervo que no era negro.

Conclusión:

No todos los cuervos son negros,

es una deducción lógicamente válida. Si se afirma la premisa y se niega la conclusión, hay una contradicción. Uno o dos ejemplos más nos ayudarán a ilustrar esta cuestión lógica bastante trivial. Si se puede establecer mediante observación en una prueba experimental que un peso de 10 libras y otro de 1 libra, en caída libre, se mueven hacia abajo aproximadamente a la misma velocidad, entonces se puede concluir que la afirmación de que todos los cuerpos caen a velocidades proporcionales a sus pesos es falsa. Si se puede demostrar más allá de toda duda que un rayo de luz que pasa cerca del sol es desviado en una línea curva, entonces no es cierto que la luz viaje necesariamente en línea recta.

La falsedad de enunciados universales se puede deducir de enunciados singulares adecuados. El falsacionista explota al máximo esta cuestión lógica.

LA FALSABILIDAD COMO CRITERIO DE TEORÍAS

El falsacionista considera que la ciencia es un conjunto de hipótesis que se proponen a modo de ensayo con el propósito de describir o explicar de un modo preciso el comportamiento de algún aspecto del

mundo o universo. Sin embargo, no todas las hipótesis lo consiguen. Hay una condición fundamental que cualquier hipótesis o sistemas de hipótesis debe cumplir si se le ha de dar el estatus de teoría o ley científica. Si ha de formar parte de la ciencia, una hipótesis ha de ser *falsable*. Antes de seguir adelante, es importante aclarar la utilización que hace el falsacionista del término "falsable".

He aquí algunos ejemplos de afirmaciones simples que son falsables en el sentido deseado:

1. Los miércoles nunca llueve.
2. Todas las sustancias se dilatan al ser calentadas.
3. Los objetos pesados, como por ejemplo un ladrillo, caen directamente hacia abajo al ser arrojados cerca de la superficie de la Tierra, si no hay algo que lo impida.
4. Cuando un rayo de luz se refleja en un espejo plano, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

La afirmación 1 es falsable porque se puede falsar al observar que llueve un miércoles. La afirmación 2 es falsable; se puede falsar mediante un enunciado observacional en el sentido de que una sustancia x no se dilató al ser calentada en el tiempo t . El agua cerca de su punto de congelación serviría para falsar 2. Tanto 1 como 2 son falsables y falsas. Por lo que sé, las afirmaciones 3 y 4 pueden ser verdaderas. Sin embargo, son falsables en el sentido deseado. Lógicamente, es posible que el siguiente ladrillo que se arroje "caiga" hacia arriba. No hay ninguna contradicción lógica en la afirmación "El ladrillo cayó hacia arriba al ser arrojado", aunque puede ser que la observación nunca justifique semejante enunciado. La afirmación 4 es falsable porque se puede concebir que un rayo de luz que incida en un espejo formando un ángulo oblicuo pueda ser reflejado en dirección perpendicular al espejo. Esto no sucederá nunca si la ley de reflexión resulta ser verdadera, pero si no fuera así, no habría ninguna contradicción lógica. Tanto 3 como 4 son falsables, aunque puedan ser verdaderas.

Una hipótesis es falsable si existe un enunciado observacional o un conjunto de enunciados observacionales lógicamente posibles que sean incompatibles con ella, esto es, que en caso de ser establecidos como verdaderos, falsarían la hipótesis.

He aquí algunos ejemplos de enunciados que no cumplen este requisito y que, por consiguiente, no son falsables.

5. O llueve o no llueve,
6. Todos los puntos de un círculo euclídeo equidistan del centro.
7. Es posible tener suerte en la especulación deportiva.

Ningún enunciado observacional lógicamente posible puede refutar 5. Es verdadero sea cual fuere el tiempo que haga. La afirmación 6 es necesariamente verdadera a causa de la definición de círculo euclídeo. Si los puntos de un círculo no equidistarán de un punto fijo, entonces esa figura ya no sería un círculo euclídeo. "Todos los solteros no están casados" no es falsable por la misma razón. La afirmación 7 es una cita de un horóscopo aparecido en un periódico. Tipifica la taimada estrategia del adivino. La afirmación no es falsable. Equivale a decirle al lector que si hace una apuesta hoy podría ganar, lo cual es cierto apueste o no y, si apuesta, gane o no.

El falsacionista exige que las hipótesis científicas sean falsables en el sentido aquí analizado. Insiste en ello porque una ley o teoría es informativa solamente en el caso de que excluya un conjunto de enunciados observacionales lógicamente posibles. Si un enunciado no es falsable, entonces el mundo puede tener cualquier propiedad y comportarse de cualquier manera sin entrar en conflicto con el enunciado. Los enunciados 5, 6 y 7, a diferencia de los enunciados 1, 2, 3 y 4, no nos dicen nada acerca del mundo. Desde un punto de vista ideal, una teoría o ley científica debería proporcionarnos alguna información acerca de cómo se comporta en realidad el mundo, excluyendo por esta razón las maneras en las que podría posiblemente (lógicamente) comportarse, aunque de hecho no se comporta. La ley "Todos los planetas se mueven en elipses alrededor del Sol" es científica porque afirma que los planetas se mueven de hecho en elipses, y excluye que las órbitas sean cuadradas u ovals. La ley tiene contenido informativo y es falsable justamente porque hace afirmaciones definidas acerca de las órbitas planetarias.

Una rápida ojeada a algunas leyes que se podrían considerar componentes típicos de las teorías científicas indica que satisfacen el criterio de falsabilidad. "Los polos magnéticos diferentes se atraen entre sí", y "Un ácido añadido a una base produce sal más agua" y leyes similares se pueden construir fácilmente como enunciados falsables. Sin embargo, el falsacionista mantiene que algunas teorías pasan de hecho como teorías científicas sólo porque no son falsables y deberían

ser rechazadas, aunque superficialmente pueda parecer que poseen las características de las buenas teorías científicas. Popper ha afirmado que al menos algunas versiones de la teoría de la historia de Marx, el psicoanálisis freudiano y la psicología adleriana adolecen de este fallo. Se puede ilustrar esta cuestión mediante la siguiente caricatura de la psicología adleriana.

Un principio fundamental de la teoría de Adler es que las acciones humanas están motivadas por sentimientos de inferioridad de algún tipo. En nuestra caricatura, esta cuestión se puede ilustrar con el siguiente incidente: un hombre se encuentra en la orilla de un peligroso río en el momento en que un niño se cae a él, muy cerca. El hombre se tirará al río intentando salvar al niño o no se tirará. Si se tira, el adleriano responde indicando cómo apoya esta acción su teoría. Evidentemente, el hombre necesitaba superar su sentimiento de inferioridad demostrando que era lo suficientemente valiente como para arrojarse al río a pesar del peligro. Si el hombre no se tira, también el adleriano puede pretender que ello apoya su teoría. El hombre superaba su sentimiento de inferioridad demostrando que tenía la fuerza de voluntad de permanecer en la orilla, imperturbable, mientras el niño se ahogaba.

Si esta caricatura es típica del modo en que funciona la teoría adleriana, entonces la teoría no es falsable. Es compatible con cualquier tipo de comportamiento humano y, precisamente por eso, no nos dice nada acerca del comportamiento humano. Por supuesto, antes de rechazar la teoría de Adler sobre esta base, sería necesario investigar los detalles de la teoría en vez de su caricatura. Pero hay un montón de teorías sociales, psicológicas y religiosas que despiertan la sospecha de que, en su afán de explicarlo todo, no explican nada. La existencia de un Dios amante y el hecho de que se produzca un desastre pueden ser compatibles interpretando que el desastre se nos envía para castigarnos o para probarnos, según lo que parezca más adecuado a la situación. Muchos ejemplos del comportamiento animal pueden ser considerados como una prueba en favor de la afirmación "Los animales están hechos de modo que puedan cumplir mejor la función para la que están destinados". Los teóricos que actúan de esta manera incurren en los argumentos evasivos del adivino y están sujetos a las críticas del falsacionista. Para que una teoría posea un contenido informativo, ha de correr el riesgo de ser falsada.

GRADO DE FALSABILIDAD, CLARIDAD Y PRECISIÓN

Una buena ley científica o teoría es falsable justamente porque hace afirmaciones definidas acerca del mundo. Para el falsacionista, de ello se sigue bastante claramente que cuanto más falsable es una teoría, mejor, en un sentido amplio de la palabra "más". Cuanto más afirme una teoría, más oportunidades potenciales habrá de demostrar que el mundo no se comporta de hecho como lo establece la teoría. Una teoría muy buena será aquella que haga afirmaciones de muy amplio alcance acerca del mundo y que, en consecuencia, sea sumamente falsable y resista la falsación todas las veces que se la someta a prueba.

Esta cuestión se puede aclarar mediante un ejemplo trivial. Consideremos las dos leyes siguientes:

- (a) Marte se mueve en una elipse alrededor del Sol.
- (b) Todos los planetas se mueven en elipses alrededor del Sol.

Considero que (b) tiene un estatus superior que (a) como elemento del conocimiento científico. La ley (b) nos dice todo lo que dice (a) y bastante más. La ley (b), que es la ley preferible, es más falsable que (a). Si las observaciones sobre Marte falsaran (a), también falsarían (b). Cualquier falsación de (a) constituirá también una falsación de (b), pero no a la inversa. Los enunciados observacionales referentes a las órbitas de Venus, Júpiter, etc., que posiblemente falsaran (b) son irrelevantes con respecto a (a). Si seguimos a Popper y nos referimos a esos conjuntos de enunciados observacionales que servirían para falsar una ley o teoría como *falsadores potenciales* de esa ley o teoría, entonces podemos decir que los falsadores potenciales de (a) forman una clase que es una subclase de los falsadores potenciales de (b). La ley (b) es más falsable que la ley (a), lo cual equivale a decir que afirma más, que es una ley mejor.

Un ejemplo menos artificial se refiere a la relación entre la teoría del sistema solar de Kepler y la de Newton. Considero que la teoría de Kepler consiste en las tres leyes del movimiento planetario. Los falsadores potenciales de esa teoría constan de conjuntos de enunciados referentes a las posiciones planetarias en relación con el Sol en un momento especificado. La teoría de Newton, una teoría mejor que desbancó

a la de Kepler, es más amplia. Consiste en las leyes del movimiento de Newton más su ley de gravitación, la cual afirma que todos los pares de cuerpos en el universo se atraen entre sí con una fuerza que varía en proporción inversa al cuadrado de la distancia entre ellos. Algunos de los falsadores potenciales de la teoría de Newton son conjuntos de enunciados de las posiciones planetarias en un momento especificado. Pero hay muchos otros, incluidos aquellos que se refieren al comportamiento de los cuerpos que caen y de los péndulos, la correlación entre las mareas y las posiciones del Sol y la Luna, etc. Hay muchas más oportunidades de falsar la teoría de Newton que la de Kepler. Y con todo, sigue diciendo el falsacionista, la teoría de Newton fue capaz de resistir los intentos de falsación, estableciendo por ello su superioridad sobre la de Kepler.

Las teorías sumamente falsables se deben preferir, pues, a las menos falsables, siempre que no hayan sido falsadas de hecho. Para el falsacionista esta puntualización es importante. Las teorías que han sido falsadas tienen que ser rechazadas de forma tajante. La empresa científica consiste en proponer hipótesis sumamente falsables, seguidas de intentos deliberados y tenaces de falsarlas. Como dice Popper (1969, p. 231, cursivas en el original):

Por ello puedo admitir con satisfacción que los falsacionistas como yo preferimos con mucho un intento de resolver un problema interesante mediante una conjetura audaz, *aunque pronto resulte ser falsa (y especialmente en ese caso)*, a cualquier recital de una serie de truisms improcedentes. Lo preferimos porque creemos que ésa es la manera en que podemos aprender de nuestros errores; y que al descubrir que nuestra conjetura era falsa habremos aprendido mucho sobre la verdad y habremos llegado más cerca de la verdad.

Aprendemos de nuestros errores. La ciencia progresa mediante el ensayo y el error. Debido a que la situación lógica hace imposible la derivación de leyes y teorías universales a partir de enunciados observacionales, pero posible la deducción de su falsedad, las falsaciones se convierten en importantes hitos, en logros sobresalientes, en los principales puntos de desarrollo de la ciencia. Este hincapié algo antiintuitivo que hacen los falsacionistas más extremos en la importancia de las falsaciones se criticará en capítulos posteriores.

Como la ciencia aspira a lograr teorías con un gran contenido informativo, los falsacionistas dan la bienvenida a la propuesta de audaces

conjeturas especulativas. Se han de estimular las especulaciones temerarias siempre que sean falsables y siempre que sean rechazadas al ser falsadas. Esta actitud de "a vida o muerte" choca con la precaución recomendada por el inductivista extremo. Según éste, sólo aquellas teorías de las que se puede demostrar que son verdaderas o probablemente verdaderas habrán de ser admitidas en la ciencia. Sólo debemos ir más allá de los resultados inmediatos de la experiencia en la medida en que nos guíen inducciones legítimas. El falsacionismo, en contraposición, reconoce las limitaciones de la inducción y la subordinación de la observación a la teoría. Sólo se pueden descubrir los secretos de la naturaleza con la ayuda de teorías ingeniosas y perspicaces. Cuanto mayor sea el número de teorías conjeturadas que se enfrentan a la realidad del mundo y cuanto más especulativas sean estas conjeturas, más oportunidades habrá de hacer importantes avances en la ciencia. No hay peligro de que proliferen las teorías especulativas porque las que sean descripciones inadecuadas del mundo pueden ser eliminadas drásticamente como resultado de la observación o de otras pruebas.

La exigencia de que las teorías sean sumamente falsables tiene la atractiva consecuencia de que las teorías sean establecidas y precisadas con claridad. Si se establece una teoría de forma tan vaga que no queda claro qué afirma exactamente, entonces, cuando se comprueba mediante la observación o la experimentación, siempre se podrá interpretar que es compatible con los resultados de esas pruebas. De esta manera, podrá ser defendida contra las falsaciones. Por ejemplo, Goethe (1970, p. 295) escribió de la electricidad que:

no es nada, un cero, un mero punto que, sin embargo, mora en todas las existencias aparentes y, al mismo tiempo, es el punto de origen por el cual, al menor estímulo, se presenta una doble apariencia, una apariencia que sólo se manifiesta para desvanecerse. Las condiciones en las que se provocan estas manifestaciones son infinitamente variadas según la naturaleza de cada cuerpo.

Si tomamos esta cita literalmente, es muy difícil ver qué conjunto de circunstancias físicas podrían servir para falsarla. Es infalsable justamente porque es así de vaga e indefinida (al menos tomada fuera de su contexto). Los políticos y los adivinos pueden evitar que se les acuse de cometer errores haciendo que sus afirmaciones sean tan vagas

que siempre puedan resultar compatibles con todo lo que pueda acontecer. La exigencia de un alto grado de falsabilidad elimina tales maniobras. El falsacionista exige que se puedan establecer las teorías con la suficiente claridad como para correr el riesgo de ser falsadas.

Con respecto a la precisión existe una situación similar. Cuanto más precisamente se formula una teoría, se hace más falsable. Si aceptamos que cuanto más falsable es una teoría tanto mejor es (siempre que no haya sido falsada), entonces también debemos aceptar que cuanto más precisas sean las afirmaciones de una teoría, mejor será ésta. "Los planetas se mueven en elipses alrededor del Sol" es más precisa que "Los planetas se mueven en rizos cerrados alrededor del Sol" y, en consecuencia, es más falsable. Una órbita oval falsaría la primera pero no la segunda, mientras que cualquier órbita que false la segunda falsará también la primera. El falsacionista está decidido a preferir la primera. De modo similar, el falsacionista debe preferir la afirmación de que la velocidad de la luz en el vacío es de $299,8 \times 10^6$ metros por segundo a la afirmación menos precisa de que es de unos 300×10^6 metros por segundo, justamente porque la primera es más falsable que la segunda.

Las exigencias de precisión y claridad de expresión, que van íntimamente ligadas, se siguen naturalmente de la concepción de la ciencia que tiene el falsacionista.

FALSACIONISMO Y PROGRESO

El progreso de la ciencia, tal y como lo ve el falsacionista, se podría resumir de la siguiente manera. La ciencia comienza con problemas, problemas que van asociados con la explicación del comportamiento de algunos aspectos del mundo o universo. Los científicos proponen hipótesis falsables como soluciones al problema. Las hipótesis conjeturadas son entonces criticadas y comprobadas. Algunas serán eliminadas rápidamente. Otras pueden tener más éxito. Éstas deben someterse a críticas y pruebas más rigurosas. Cuando finalmente se falsa una hipótesis que ha superado con éxito una gran variedad de pruebas rigurosas, surge un nuevo problema, afortunadamente muy alejado del problema original resuelto. Este nuevo problema exige la

invención de nuevas hipótesis, seguidas de nuevas críticas y pruebas. Y así el proceso continúa indefinidamente. Nunca se puede decir de una teoría que es verdadera, por muy bien que haya superado pruebas rigurosas, pero, afortunadamente, se puede decir que una teoría actual es superior a sus predecesoras en el sentido de que es capaz de superar pruebas que falsaron éstas.

Antes de que examinemos algunos ejemplos que ilustren esta concepción falsacionista del progreso científico, habría que decir algo acerca de la afirmación de que "el punto de partida de la ciencia son los problemas". He aquí algunos problemas con los que se han enfrentado los científicos en el pasado. ¿Cómo son capaces los murciélagos de volar tan hábilmente por la noche, a pesar de que sus ojos son muy pequeños y débiles? ¿Por qué la altura que alcanza un barómetro sencillo es inferior en las grandes altitudes que en las bajas? ¿Por qué se ennegrecían continuamente las placas fotográficas del laboratorio de Roentgen? ¿Por qué se adelanta el perihelio de Mercurio? Estos problemas surgen a partir de *observaciones* más o menos sencillas. Así pues, al insistir en el hecho de que el punto de partida de la ciencia son los problemas, ¿no sucede acaso que para el falsacionista, al igual que sucedía con el inductivista ingenuo, la ciencia comienza con la observación? La respuesta a esta pregunta es un rotundo "no". Las observaciones citadas anteriormente como problemas sólo son problemáticas a *la luz de alguna teoría*. La primera es problemática a la luz de la teoría de que los organismos vivos "ven" con los ojos; la segunda era problemática para los partidarios de las teorías de Galileo, porque estaba en pugna con la teoría de la "fuerza del vacío", que estos aceptaban como explicación de por qué el mercurio no cae en el tubo de un barómetro; la tercera era problemática para Roentgen porque en esa época se suponía tácitamente que no existía ningún tipo de emanación o radiación que pudiera penetrar en el recipiente de las placas fotográficas y oscurecerlas; la cuarta era problemática porque era incompatible con la teoría de Newton. La afirmación de que el origen de la ciencia está en los problemas es perfectamente compatible con la prioridad de las teorías sobre la observación y los enunciados observacionales. La ciencia no comienza con la pura observación.

Después de esta digresión, volvamos a la concepción falsacionista del progreso de la ciencia como progreso desde los problemas a las hipótesis especulativas, a su crítica y a su falsación final y, por consiguiente,

a nuevos problemas. Ofreceremos dos ejemplos, el primero de los cuales es muy sencillo y trata del vuelo de los murciélagos, y el segundo de los cuales es más ambicioso y trata del progreso de la física.

Comenzamos con un problema. Los murciélagos son capaces de volar con facilidad y a gran velocidad, evitando las ramas de los árboles, los cables telegráficos, otros murciélagos, etc., y pueden atrapar insectos. Y no obstante, los murciélagos tienen ojos débiles y, de todos modos, vuelan casi siempre de noche. Este hecho plantea un problema porque, en apariencia, falsa la plausible teoría de que los animales, al igual que los seres humanos, ven con los ojos. Un falsacionista intentará resolver este problema formulando una conjetura o hipótesis. Quizás sugiera que, aunque los ojos de los murciélagos aparentan ser débiles, sin embargo, de alguna manera que no se conoce, pueden ver de forma eficaz por la noche utilizando sus ojos. Se puede comprobar esta hipótesis. Se suelta un grupo de murciélagos en una habitación a oscuras que contenga obstáculos y se mide de alguna manera su habilidad para evitarlos. Luego se suelta en la habitación a los mismos murciélagos, pero con los ojos vendados. Antes del experimento, el experimentador puede hacer la siguiente deducción. Una premisa de la deducción es su hipótesis que dice de modo muy explícito: "Los murciélagos pueden volar y evitar los obstáculos utilizando sus ojos, y no lo pueden hacer sin usar sus ojos". La segunda premisa es una descripción de la prueba experimental, incluyendo el enunciado "Este grupo de murciélagos tiene los ojos vendados, de manera que no usan sus ojos". A partir de estas dos premisas, el experimentador puede derivar deductivamente que el grupo de murciélagos no será capaz de evitar los obstáculos de modo eficaz en la prueba de laboratorio. Luego se efectúa el experimento y se descubre que los murciélagos evitan los choques de manera tan eficaz como antes. La hipótesis ha sido falsada. Ahora hay necesidad de utilizar de nuevo la imaginación, de formular una nueva conjetura, hipótesis o suposición. Tal vez un científico sugiera que los oídos de los murciélagos tienen que ver de algún modo con su capacidad para evitar los obstáculos. Se puede comprobar la hipótesis en un intento de falsarla tapando los oídos de los murciélagos antes de soltarlos en el laboratorio de la prueba. Esta vez se descubre que la habilidad de los murciélagos para evitar los obstáculos se ve disminuida considerablemente. La hipótesis ha sido confirmada. Entonces el falsacionista debe tratar de precisar su hipótesis de manera que se pueda

da falsar fácilmente. Se sugiere que el murciélago escucha el eco de sus propios chillidos que rebotan en los objetos sólidos. Se comprueba esta hipótesis amordazando a los murciélagos antes de soltarlos. De nuevo los murciélagos chocan con los obstáculos, lo cual confirma de nuevo la hipótesis. Parece que ahora el falsacionista está llegando a una solución provisional de su problema, aunque no considera que haya *probado* mediante el experimento cómo evitan chocar los murciélagos al volar. Pueden surgir una serie de factores que muestren que estaba equivocado. Quizás los murciélagos no detecten los obstáculos con los oídos, sino con zonas sensitivas cercanas a los oídos, cuyo funcionamiento disminuye cuando se tapan los oídos de los murciélagos. O quizás los diferentes tipos de murciélagos detecten los obstáculos de diferentes formas, de manera que los murciélagos usados en el experimento no sean auténticamente representativos.

El progreso de la física, desde Aristóteles hasta Einstein pasando por Newton, proporciona un ejemplo a mayor escala. La concepción falsacionista de este progreso es más o menos la siguiente. La física aristotélica tenía éxito en cierta medida. Podía explicar gran variedad de fenómenos. Podía explicar por qué los objetos pesados caen al suelo (porque buscan su lugar natural en el centro del universo), podía explicar la acción de los sifones y bombas de extracción (la explicación se basaba en la imposibilidad del vacío), etc. Pero, finalmente, la física aristotélica fue falsada de diversas maneras. Las piedras arrojadas desde lo alto de un mástil de un barco que se movía uniformemente caían en la cubierta al pie del mástil y no a distancia de él, como predecía la teoría de Aristóteles. Las lunas de Júpiter giraban alrededor de Júpiter; pero no alrededor de la Tierra. Durante el siglo XVII se acumularon montones de falsaciones. Sin embargo, una vez que hubo sido creada y desarrollada la física newtoniana mediante las conjeturas de Galileo y Newton, fue una teoría superior a la de Aristóteles. La teoría de Newton podía explicar la caída de los objetos y el funcionamiento de los sifones y bombas de extracción y podía también explicar los fenómenos que resultaban problemáticos para los aristotélicos. Además, la teoría de Newton podía explicar fenómenos a los que la teoría de Aristóteles no aludía, tales como las correlaciones entre las mareas y la posición de la Luna, y la variación en la fuerza de la gravedad con la altura por encima del nivel del mar. Durante dos siglos, la teoría de Newton se vio coronada por el éxito. Esto es, no tuvieron éxito los intentos de falsarla mediante los nuevos fenómenos

predichos con su ayuda. La teoría condujo incluso al descubrimiento de un nuevo planeta, Neptuno. Pero, a pesar de su éxito, finalmente triunfaron los continuos esfuerzos por falsarla. La teoría de Newton fue falsada de diversas maneras. No fue capaz de explicar los detalles de la órbita del planeta Mercurio ni la masa variable de los electrones de rápido movimiento en un tubo de descarga. Así pues, los físicos se enfrentaron con problemas estimulantes, a medida que el siglo XIX pasaba al XX, problemas que exigían nuevas hipótesis destinadas a solucionar esos problemas de un modo progresivo. Einstein fue capaz de responder al reto. Su teoría de la relatividad pudo explicar los fenómenos que falsaron la teoría de Newton, al tiempo que competía con la teoría newtoniana en las áreas en que ésta había triunfado. Además, la teoría de Einstein llevó a la predicción de nuevos fenómenos espectaculares. Su teoría especial de la relatividad predijo que la masa sería una función de la velocidad, y que la masa y la energía se podrían transformar la una en la otra, y su teoría general predijo que los rayos de luz podrían ser desviados por fuertes campos gravitatorios. Los intentos de refutar la teoría einsteiniana mediante los nuevos fenómenos fracasaron. La falsación de la teoría de Einstein sigue siendo un desafío para los físicos modernos. Su éxito, si se produjera finalmente, marcaría un nuevo paso adelante en el progreso de la física.

Esto dice la típica concepción falsacionista del progreso de la física. Más adelante pondremos en duda su precisión y validez.

Resulta evidente a partir de lo dicho que el concepto de progreso, de desarrollo científico, es fundamental en la concepción falsacionista de la ciencia. En el próximo capítulo trataremos este problema de modo más detallado.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

El texto falsacionista clásico es *The logic of scientific discovery* (1972), publicado originariamente en alemán en 1934 y traducido al inglés en 1959. Recopilaciones más recientes de sus escritos están en Popper (1969,1979). Popper mismo cuenta en el capítulo 1 de su texto de 1969 cómo llegó a su idea básica comparando Freud, Adler y Marx con Einstein. Al final del capítulo siguiente se citan otras fuentes del falsacionismo.

6. EL FALSACIONISMO SOFISTICADO, LAS NUEVAS PREDICCIONES Y EL DESARROLLO DE LA CIENCIA

GRADOS DE FALSABILIDAD RELATIVOS EN VEZ DE ABSOLUTOS

En el capítulo anterior se mencionaron algunas condiciones que debe cumplir una hipótesis para que sea digna de consideración científica. Una hipótesis debe ser falsable, cuanto más falsable mejor, y, no obstante, no debe ser falsada. Los falsacionistas más sofisticados se dan cuenta de que estas condiciones por sí solas son insuficientes. Una condición adicional va unida a la necesidad que tiene la ciencia de progresar. Cualquier hipótesis debe ser más falsable que aquella en cuyo lugar se ofrece.

La concepción falsacionista sofisticada de la ciencia, con su hincapié en el desarrollo científico, traslada el centro de atención de los méritos de una sola teoría a los méritos relativos de teorías enfrentadas. Proporciona una imagen dinámica de la ciencia en lugar de la concepción estática de los falsacionistas más ingenuos. En vez de preguntarse de una teoría: "¿Es falsable?", "¿En qué medida es falsable?" y "¿Ha sido falsada?", resulta más apropiado preguntar: "La teoría recién propuesta, ¿es un sustituto viable de aquella a la que desafía?" En general, una teoría recién propuesta será considerada como digna de atención por parte de los científicos si es más falsable que su rival y, en especial, si predice un nuevo tipo de fenómeno que su rival no mencionaba.

El hincapié en la comparación de falsabilidad de series de teorías, que es consecuencia del hincapié en la ciencia como un conjunto de conocimientos en evolución y desarrollo, permite evitar un problema técnico, ya que es muy difícil especificar hasta qué punto es falsable una teoría. No se puede definir la medición absoluta de la falsabilidad simplemente porque el número de falsadores potenciales de una teoría siempre será infinito. Es difícil encontrar una respuesta a la pregunta: "¿Hasta qué punto es falsable la ley de la gravitación de Newton?"

Por otro lado, a menudo es posible comparar los grados de falsabilidad de las leyes o teorías. Por ejemplo, la afirmación: "Dos cuerpos cualesquiera se atraen mutuamente con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de su distancia" es más falsable que la afirmación "Los planetas del sistema solar se atraen mutuamente con una fuerza inversamente proporcional al cuadrado de su distancia". La primera afirmación implica la segunda. Todo lo que false la segunda falsará la primera, pero no a la inversa. Idealmente, al falsacionista le gustaría poder decir que la serie de teorías que constituyen la evolución histórica de la ciencia está hecha de teorías falsables, siendo cada una en la serie más falsable que su predecesora.

EL AUMENTO DE LA FALSABILIDAD Y LAS MODIFICACIONES *AD HOC*

La exigencia de que, según progresa la ciencia, sus teorías sean cada vez más falsables y en consecuencia tengan cada vez más contenido y sean cada vez más informativas excluye que se efectúen modificaciones en unas teorías destinadas simplemente a proteger una teoría de una falsación amenazadora. Una modificación en una teoría, tal como la adición de un postulado más o un cambio en algún postulado existente, que no tenga consecuencias comprobables de la teoría sin modificar, será denominada modificación *ad hoc*. El resto de esta sección se ocupará de mostrar ejemplos destinados a aclarar la noción de modificación *ad hoc*. En primer lugar consideraré algunas modificaciones *ad hoc* que el falsacionista rechazaría y después éstas serán contrastadas con algunas modificaciones que no son *ad hoc* y que, en consecuencia, el falsacionista aceptaría.

Comenzaré con un ejemplo bastante trivial. Consideremos la generalización "El pan alimenta". Esta teoría de bajo nivel, si se explica más detalladamente, equivale a la afirmación de que, si el trigo crece de manera normal, se convierte en pan de manera normal, entonces los seres humanos se alimentarán. Esta teoría aparentemente inofensiva planteó un problema en un pueblo francés en una ocasión en que el trigo creció de manera normal, se convirtió en pan de manera normal y, no obstante, la mayoría de las personas que comieron ese pan cayeron gravemente enfermas y muchas murieron. La teoría "(Todo) el pan alimenta"

se vio falsada. Se puede modificar la teoría para evitar su falsación adaptándola de modo que diga: "(Todo) el pan, con excepción de la hornada de pan producida en la aldea francesa en cuestión, alimenta". Ésta es una modificación *ad hoc*. La teoría modificada no puede ser comprobada de manera que no lo sea también la teoría original. El consumo de pan por cualquier ser humano constituye una comprobación de la teoría original, mientras que las comprobaciones de la teoría modificada se limitan al consumo de pan distinto de esa hornada de pan que produjo resultados tan desastrosos en Francia. La hipótesis modificada es menos falsable que la versión original. El falsacionista rechaza esas acciones de retaguardia.

El siguiente ejemplo es menos truculento y más entretenido. Es un ejemplo que se basa en un intercambio que tuvo lugar realmente a principios del siglo XVII entre Galileo y un adversario aristotélico. Después de haber observado la Luna cuidadosamente a través de su recién inventado telescopio, Galileo pudo informar que la Luna no era una esfera lisa sino que su superficie estaba llena de montañas y cráteres. Su adversario aristotélico tenía que admitir que las cosas parecían ser de ese modo cuando por sí mismo repitió las observaciones. Pero las observaciones amenazaban a una noción fundamental para muchos aristotélicos, a saber, que todos los cuerpos celestes son esferas perfectas. El rival de Galileo defendió su teoría frente a la aparente falsación de una manera evidentemente *ad hoc*. Sugirió que había una sustancia invisible en la Luna que llenaba los cráteres y cubría las montañas de tal manera que la forma de la Luna era perfectamente esférica. Cuando Galileo preguntó cómo se podría detectar la presencia de la sustancia invisible, la réplica fue que no había manera de poderla detectar. Así pues, no hay duda de que la teoría modificada no producía consecuencias comprobables y de que, para un falsacionista, era completamente inaceptable. Galileo, exasperado, fue capaz de mostrar lo inapropiado de la postura de su rival de una manera característicamente ingeniosa. Admitió que estaba dispuesto a admitir la existencia de la sustancia invisible e indetectable en la Luna, pero insistió en que dicha sustancia no estaba distribuida tal y como sugería su rival, sino que en realidad estaba apilada encima de las montañas de modo que eran varias veces más altas de lo que parecían a través del telescopio. Galileo fue capaz de superar a su rival en el inútil juego de la invención de ardidés *ad hoc* para proteger las teorías.

A continuación mencionaremos otro ejemplo de una hipótesis posiblemente *ad hoc*, procedente de la historia de la ciencia. Antes de Lavoisier; la teoría del flogisto era la teoría clásica de la combustión. Según esa teoría, cuando se quemaban las sustancias, se desprendía de ellas el flogisto. Esta teoría se vio amenazada cuando se descubrió que muchas sustancias aumentaban de peso con la combustión. Una manera de salvar la aparente falsación consistió en sugerir que el flogisto tenía peso negativo. Si esta hipótesis se podía comprobar solamente pesando las sustancias antes y después de la combustión, entonces era *ad hoc*. No conducía a nuevas comprobaciones.

Las modificaciones efectuadas en una teoría en un intento de salvar una dificultad no necesitan ser *ad hoc*. A continuación presentamos algunos ejemplos de modificaciones que no son *ad hoc* y que, en consecuencia, son aceptables desde un punto de vista falsacionista.

Volvamos a la falsación de la afirmación "El pan alimenta" para ver cómo se podrá modificar de una manera aceptable. Un paso aceptable sería reemplazar la teoría original falsada por la afirmación "Todo el pan alimenta, excepto el hecho de trigo contaminado por un determinado tipo de hongo" (seguido de una especificación del hongo y de algunas de sus características). Esta teoría modificada no es *ad hoc* porque lleva a nuevas comprobaciones. Es contrastable de forma independiente, por usar la expresión de Popper (1972, p. 193). Las posibles comprobaciones incluirán comprobar de qué trigo estaba hecho el pan contaminado para detectar la presencia del hongo, cultivar el hongo en un trigo especialmente preparado y comprobar el efecto alimenticio del pan producido con él, analizar químicamente el hongo para determinar la presencia de venenos conocidos, etc. Todas estas pruebas, muchas de las cuales no constituyen pruebas de la hipótesis original, podrían dar como resultado la falsación de la hipótesis modificada. Si la hipótesis modificada, más falsable, supera la falsación frente a las nuevas pruebas, entonces se habrá aprendido algo nuevo y se habrá progresado.

Volvamos ahora a la historia de la ciencia en busca de un ejemplo menos artificial y consideremos la serie de acontecimientos que condujeron al descubrimiento del planeta Neptuno. Las observaciones realizadas en el siglo XIX del movimiento del planeta Urano indicaban que su órbita difería considerablemente de la predicha según la teoría gravitatoria de Newton, planteando, por lo tanto, un problema a dicha

teoría. Leverrier en Francia y Adams en Inglaterra sugirieron, en un intento por salvar la dificultad, que existía un planeta hasta entonces no detectado cerca de Urano. La atracción entre el supuesto planeta y Urano habría de explicar el alejamiento de este último con respecto a la órbita inicialmente predicha. Esta sugerencia no era *ad hoc* como iban a mostrar los acontecimientos. Era posible estimar la distancia aproximada del supuesto planeta, si tenía un tamaño razonable y era responsable de la perturbación de la órbita de Urano. Una vez hecho eso, fue posible comprobar la nueva propuesta inspeccionando la región correspondiente del cielo mediante el telescopio. De este modo fue como Galle vio por primera vez el planeta que ahora se conoce como Neptuno. Lejos de ser *ad hoc*, la acción para salvar la teoría de Newton de la falsación por medio de la órbita de Urano condujo a un nuevo tipo de comprobación de esa teoría, que pudo superar de manera espectacular y progresiva.

LA CONFIRMACIÓN EN LA CONCEPCIÓN FALSACIONISTA DE LA CIENCIA

Cuando en el capítulo anterior se introdujo el falsacionismo como alternativa al inductivismo, se dijo que las falsaciones, esto es, los fracasos de las teorías frente a las pruebas experimentales y observacionales, tenían una importancia fundamental. Se aducía que la situación lógica permite el establecimiento de la falsedad, pero no de la verdad de las teorías a la luz de los enunciados observacionales disponibles. También se sostenía que la ciencia progresaría proponiendo conjeturas osadas, sumamente falsables, como intentos de resolver los problemas, seguidas de implacables intentos por falsar las nuevas propuestas. Junto con esto se sugería que los avances importantes en la ciencia llegaban cuando se falsaban estas audaces conjeturas. Esto es lo que dice el reconocido falsacionista Popper en el trozo citado en la página 63, en el que las cursivas son suyas. Sin embargo, prestar una atención exclusiva a los casos de falsación equivale a representar de manera equivocada la postura del falsacionista sofisticado. El ejemplo con el que concluíamos la sección anterior contiene más de una indicación al respecto. El intento independientemente comprobable de salvar la

teoría de Newton mediante una hipótesis especulativa tuvo éxito porque el descubrimiento de Neptuno confirmó la hipótesis, y no porque ésta fuera falsada.

Es un error considerar que la falsación de conjeturas audaces, sumamente falsables, es la ocasión para que avance la ciencia de modo significativo, y Popper debe ser corregido en este punto. Este hecho queda claro cuando consideramos las diversas posibilidades extremas. En un extremo tenemos unas teorías que toman la forma de conjeturas audaces y aventuradas, mientras que en el otro tenemos unas teorías que son conjeturas prudentes, que hacen afirmaciones que no parecen implicar riesgos significativos. Si cualquiera de los dos tipos de conjetura fracasa en una prueba experimental u observacional, resultará falsada, mientras que si pasa tal prueba diremos que está *confirmada*. Los adelantos importantes vendrán marcados por la *confirmación* de las conjeturas *audaces* o por la *falsación* de las conjeturas *prudentes*. Los casos del primer tipo serán informativos y constituirán una importante aportación al conocimiento científico, simplemente porque señalan el descubrimiento de algo hasta entonces inaudito o considerado improbable. El descubrimiento de Neptuno y de las ondas de radio, y la confirmación por Eddington de la aventurada predicción de Einstein de que los rayos de luz se curvarían en los campos gravitatorios fuertes, constituyeron adelantos significativos en la ciencia. Las predicciones arriesgadas fueron confirmadas. Las falsaciones de conjeturas prudentes son informativas porque establecen que lo que se consideraba, sin problemas, verdadero es en realidad falso. La demostración que hizo Russell de que la teoría ingenua de conjuntos, que se basaba en lo que parecían ser proposiciones casi evidentes, es incoherente, proporciona un ejemplo de falsación informativa de una conjetura en apariencia libre de riesgo. En contraposición, de la *falsación* de una conjetura *audaz* o de la *confirmación* de una conjetura *prudente* se aprende poco. Si se falsa una conjetura audaz, entonces todo lo que se aprende es que otra idea loca ha resultado errónea. La falsación de la especulación kepleriana de que la distribución espacial de las órbitas planetarias se podía explicar por referencia a los cinco sólidos regulares de Platón no señaló un hito en el progreso de la física. De modo semejante, las confirmaciones de las hipótesis prudentes no son informativas. Esas confirmaciones indican meramente que se ha aplicado una vez más con éxito una teoría que estaba bien establecida y

no se consideraba problemática. Por ejemplo, la confirmación de la conjetura de que las muestras de hierro extraídas de una mena mediante algún nuevo proceso se dilatarán al ser calentadas, al igual que cualquier otro hierro, tendrá poca importancia.

El falsacionista desea rechazar las hipótesis *ad hoc* y estimular la propuesta de hipótesis audaces como mejoras potenciales de las teorías falsadas. Estas hipótesis audaces conducirán a predicciones nuevas y comprobables, que no se siguen de la teoría original falsada. Sin embargo, aunque el hecho de conducir a la posibilidad de nuevas pruebas haga digna de investigación a una hipótesis, no figurará como una mejora de la teoría problemática para cuya sustitución ha sido ideada hasta que haya superado al menos algunas de estas pruebas. Esto equivale a afirmar que antes de que se pueda decir que es un sustituto adecuado de una teoría falsada, una teoría recién y audazmente propuesta debe efectuar algunas nuevas predicciones que queden confirmadas. Muchas especulaciones descabelladas e imprudentes no superarán las pruebas posteriores y, en consecuencia, no se las estimará como contribuciones al desarrollo del conocimiento científico. La ocasional especulación descabellada e imprudente que conduzca a una nueva e improbable predicción, que no obstante queda confirmada por la observación o la experimentación, quedará por ello establecida como un momento culminante en la historia del desarrollo científico. Las *confirmaciones* de nuevas predicciones resultantes de conjeturas audaces son muy importantes en la concepción falsacionista del desarrollo científico.

AUDACIA, NOVEDAD Y CONOCIMIENTO BÁSICO

Es necesario decir algo más acerca de los adjetivos "audaz" y "nuevo" tal y como se aplican a las hipótesis y a las predicciones, respectivamente. Ambas son nociones históricamente relativas. Lo que se clasifica como conjetura audaz en una etapa de la historia de la ciencia no tiene por qué ser audaz en otra etapa posterior. Cuando Maxwell propuso su "teoría dinámica del campo electromagnético" en 1864 era una conjetura audaz. Era audaz porque estaba en conflicto con las teorías generalmente aceptadas en la época, teorías que

incluían el supuesto de que los sistemas electromagnéticos (imanes, cuerpos cargados, conductores portadores de corriente, etc.) actúan unos sobre otros de modo instantáneo a través del espacio vacío y que los efectos electromagnéticos se pueden propagar a velocidad finita solamente a través de sustancias materiales. La teoría de Maxwell chocaba con estos supuestos generalmente aceptados, porque predecía que la luz es un fenómeno electromagnético y también predecía, como después se advertiría, que las corrientes fluctuantes deben emitir un nuevo tipo de radiación, las ondas de radio, que viajan a una velocidad finita a través de un espacio vacío. Por ello, en 1864 la teoría de Maxwell era audaz y la posterior predicción de las ondas de radio era una predicción *nueva*. Hoy en día, el hecho de que la teoría de Maxwell pueda dar una explicación precisa del comportamiento de una amplia gama de sistemas electromagnéticos es una parte generalmente aceptada del conocimiento científico y no se considerarán predicciones nuevas las afirmaciones acerca de la existencia y propiedades de las ondas de radio.

Si llamamos al complejo de las teorías científicas generalmente aceptadas y bien establecidas en alguna etapa de la historia de la ciencia *conocimiento básico* de esa época, entonces podemos decir que una conjetura será audaz si sus afirmaciones son improbables a la luz del conocimiento básico de la época. La teoría general de la relatividad de Einstein era audaz en 1915 porque en esa época el conocimiento básico incluía el supuesto básico de que la luz se propaga en línea recta. Dicho supuesto chocaba con una consecuencia de la teoría general de la relatividad, a saber, que los rayos de luz se curvarían en campos gravitatorios fuertes. La astronomía de Copérnico era audaz en 1543 porque chocaba con el supuesto básico de que la tierra está inmóvil en el centro del universo. Hoy en día no se la consideraría audaz.

Así como las conjeturas se consideran audaces o no por referencia al conocimiento básico relevante, así también se juzgará que las predicciones son nuevas si conllevan algún fenómeno que no figure en el conocimiento básico de la época o que quizás esté explícitamente excluido por él. La predicción de Neptuno en 1846 era nueva porque el conocimiento básico de esa época no contenía ninguna referencia a ese planeta. La predicción que dedujo Poisson de la teoría ondulatoria de la luz de Fresnel en 1818, a saber, que se debía observar una mancha brillante en el centro de una cara de un disco opaco convenientemente

te iluminado desde la otra, era nueva porque la teoría corpuscular de la luz, que formaba parte del conocimiento básico de la época, excluía la existencia de esa mancha brillante.

En la sección anterior se mantenía que las principales contribuciones al desarrollo del conocimiento científico suceden cuando se confirma una conjetura audaz o cuando se falsa una conjetura prudente. La idea del conocimiento básico nos permite ver que estas dos posibilidades se darán juntas como resultado de un solo experimento. El conocimiento básico consta de hipótesis prudentes precisamente porque ese conocimiento está bien establecido y no se considera problemático. La confirmación de una conjetura audaz supondrá la falsación de alguna parte del conocimiento básico con respecto al cual era audaz la conjetura.

COMPARACIÓN DE LAS CONCEPCIONES INDUCTIVISTA Y FALSACIONISTA DE LA CONFIRMACIÓN

Hemos visto que la confirmación tiene un importante papel que desempeñar en la ciencia, tal y como la interpreta el falsacionista sofisticado. Sin embargo, eso no quiere decir que esté mal puesto el calificativo de "falsacionismo" a su postura. El falsacionista sofisticado sigue manteniendo que las teorías se pueden falsar y rechazar, aunque niegue que se puedan establecer como verdaderas o probablemente verdaderas. El propósito de la ciencia es falsar las teorías y reemplazarlas por teorías mejores, teorías que demuestren una mayor capacidad para resistir las pruebas. Las confirmaciones de las nuevas teorías son importantes en la medida en que constituyen la demostración de que una nueva teoría es una mejora de la teoría a la que reemplaza, la teoría que es falsada por la evidencia descubierta con ayuda de la nueva teoría y que la confirma. Una vez que la audaz teoría recién propuesta logra desbancar a su rival, se convierte a su vez en un nuevo blanco al que se dirigirán las pruebas rigurosas ideadas con la ayuda de otras teorías audazmente conjeturadas.

Debido al hincapié que hacen los falsacionistas en el desarrollo de la ciencia, su concepción de la confirmación es significativamente distinta a la de los inductivistas. La importancia de algunos casos confirmadores

de una teoría, según la postura inductivista descrita en el capítulo 4, está determinada exclusivamente por la relación lógica existente entre los enunciados observacionales que son confirmados y la teoría que éstos apoyan. El grado de apoyo que dieron a la teoría newtoniana las observaciones de Neptuno realizadas por Galle no es diferente del grado de apoyo dado por una moderna observación de Neptuno. El contexto histórico en el que obtiene la evidencia no tiene importancia. Los casos confirmadores lo son si proporcionan apoyo inductivo a una teoría, y cuanto mayor sea el número de casos confirmadores establecidos, mayor será el apoyo a la teoría y más probable será que sea verdadera. Esta teoría ahistórica de la confirmación parece tener la consecuencia negativa de que innumerables observaciones realizadas de piedras que caen, posiciones planetarias, etc., constituyen una actividad científica valiosa en la medida en que llevan a aumentar la estimación de la probabilidad de la verdad de la ley de la gravitación.

En contraposición, en la concepción falsacionista la importancia de las confirmaciones depende muchísimo de su contexto histórico. Una confirmación conferirá un alto grado de valor a una teoría si esta confirmación fue el resultado de la comprobación de una predicción nueva. Esto es, una confirmación será importante si se estima que es improbable que suceda a la luz del conocimiento básico de la época. Las confirmaciones que son conclusiones conocidas de antemano son insignificantes. Si hoy en día confirmo la teoría de Newton tirando una piedra al suelo, no contribuyo con nada de valor a la ciencia. Por el contrario, si mañana confirmo una teoría especulativa que implica que la atracción gravitatoria entre dos cuerpos depende de sus temperaturas, falsando en el proceso la teoría de Newton, habré realizado una aportación importante al conocimiento científico. La teoría de Newton de la gravitación y algunas de sus limitaciones forman parte del conocimiento básico actual, mientras que no sucede así con la dependencia de la atracción gravitatoria de la temperatura. He aquí un ejemplo adicional en apoyo de la perspectiva histórica que los falsacionistas introducen en la confirmación. Hertz confirmó la teoría de Maxwell cuando detectó las primeras ondas de radio. Yo también confirmo la teoría de Maxwell siempre que escucho la radio. La situación lógica es similar en los dos casos. En cada uno, la teoría predice que se deben detectar ondas de radio y, en cada uno, el éxito de su

detección presta un apoyo inductivo a la teoría. No obstante, Hertz es justamente famoso por la confirmación que consiguió, mientras que mis frecuentes confirmaciones son justamente ignoradas en un contexto científico. Hertz dio un importante paso adelante. Cuando escucho la radio sólo paso el tiempo. El contexto histórico es el que establece la diferencia.

VENTAJAS DEL FALSACIONISMO SOBRE EL INDUCTIVISMO

Una vez bosquejados los rasgos básicos del falsacionismo, es el momento de examinar algunas de las ventajas que se pueden adscribir a esta posición en relación con el enfoque inductivista, según el cual el conocimiento científico se deriva por inducción de los hechos dados y que ya discutimos en capítulos anteriores.

Hemos visto que ciertos hechos, especialmente los resultados experimentales, son substancialmente dependientes de la teoría y están sujetos a error. Esto socava la posición de los inductivistas, que exigen que la ciencia posea un fundamento objetivo y no problemático. El falsacionista reconoce que tanto los hechos como las teorías son falibles. Sin embargo, existe para el falsacionista un importante conjunto de hechos que constituyen el campo de pruebas de las teorías científicas. Consiste en las afirmaciones objetivas que han sobrevivido a pruebas severas. Esto tiene por consecuencia que la base objetiva de la ciencia es falible, pero esto no es un problema tan grande para los falsacionistas como lo es para los inductivistas, pues el falsacionista busca sólo el progreso constante de la ciencia, más que demostraciones de la verdad o de la verdad probable.

El inductivista se encontraba con problemas a la hora de especificar criterios para una buena inferencia inductiva y se le hacía, por tanto, difícil responder preguntas relativas a las circunstancias bajo las cuales se puede decir que los hechos sirven de soporte significativo a las teorías. Al falsacionista le va mejor a este respecto. Los hechos proporcionan soporte significativo a las teorías cuando constituyen pruebas severas de ellas. Las confirmaciones de nuevas predicciones son miembros importantes de esta categoría. Esto ayuda a explicar por qué la repetición de experimentos no resulta en un aumento importante

en el soporte empírico de una teoría, un hecho éste que el inductivista radical tiene dificultades en asimilar. Un experimento particular pudiera muy bien representar una prueba severa de una teoría y, sin embargo, repeticiones subsiguientes del mismo experimento no serán vistas como una prueba tan dura, y así serán cada vez menos capaces de ofrecerle un apoyo importante. También, mientras que al inductivista se le hace difícil explicar cómo el conocimiento de lo inobservable puede derivarse de hechos observables, el falsacionista no se encuentra con este problema, pues las afirmaciones acerca de lo inobservable pueden ser probadas rigurosamente, y por tanto soportadas, explorando nuevas consecuencias.

Hemos visto que los inductivistas encuentran problemas a la hora de caracterizar y justificar las inferencias inductivas destinadas a mostrar que una teoría es verdadera o probablemente verdadera. El falsacionista pretende sortear estos problemas insistiendo en que la ciencia no incluye la inducción, sino que usa la deducción para revelar las consecuencias de las teorías, de manera que puedan ser probadas, y quizá falsadas, pero no exige que el efecto de sobrevivir a una prueba muestre que una teoría sea verdadera o probablemente verdadera. En el mejor de los casos, los resultados de pruebas semejantes indican que una teoría supone un avance respecto de su predecesora. El falsacionista se conforma con el progreso, más que con la verdad.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Para las reflexiones de madurez de Popper acerca de su falsacionismo ver su texto de 1983, *Realism and the Aim of Science*. Schilpp (1974) en la serie *Library of Living Philosophers*, contiene la autobiografía de Popper, varios artículos de críticos sobre su filosofía y las réplicas de Popper, así como una bibliografía detallada de los escritos de Popper. Panoramas accesibles de los puntos de vista de Popper se pueden encontrar en Ackermann (1976) y O'Hear (1980). La modificación de la visión de Popper incluida en la sección "La confirmación en la concepción falsacionista de la ciencia" se discute con más detalle en Chalmers (1973).

7. LAS LIMITACIONES DEL FALSACIONISMO

PROBLEMAS RESULTANTES DE LA SITUACIÓN LÓGICA

Las generalizaciones que constituyen las leyes científicas no pueden nunca deducirse lógicamente de un conjunto finito de hechos observables, mientras que la falsación de una ley puede deducirse lógicamente a partir de un solo hecho observable con el cual choca. Al establecer por observación que hay un cisne negro se falsa el enunciado "todos los cisnes son blancos". Éste es un argumento intachable e innegable. Sin embargo, su uso como cimentación de una filosofía falsacionista de la ciencia no es tan sencillo como pudiera parecer y surgen los problemas tan pronto como se progresa más allá de ejemplos extremadamente sencillos, como el relativo al color de los cisnes, hacia casos más complicados y más próximos al tipo de situación que encontramos comúnmente en la ciencia.

Sí se da la verdad de un cierto enunciado de la observación, O, *entonces* se puede deducir la falsación de una teoría T que implique lógicamente que O no pueda ocurrir. Sin embargo, son los propios falsacionistas quienes insisten en que los enunciados observacionales, que constituyen la base de la ciencia, son falibles y dependientes de la teoría. Por consiguiente, de una colisión entre O y T no se sigue que T sea falsa; lo único que sigue lógicamente del hecho de que T implique una predicción inconsistente con O es que, o bien O, o T, es falsa, pero la lógica por sí sola no puede decirnos cuál. Cuando la observación o la experimentación proporcionan evidencia que entra en conflicto con las predicciones de cierta ley o teoría, puede ser que la evidencia sea errónea y no la ley o la teoría. No hay nada en la lógica de la situación que exija siempre desechar la ley o la teoría en caso de una colisión con la observación o el experimento. Podría rechazarse el enunciado de observación falible y conservar la teoría falible con la cual colide. Esto es precisamente lo que estuvo implicado cuando se conservó la

teoría copernicana y se desecharon las observaciones a simple vista de los tamaños de Venus y Marte, inconsistentes lógicamente con la teoría. Lo mismo ocurre cuando se mantienen las especificaciones modernas de la trayectoria de la Luna y se desechan las estimaciones de su tamaño basadas en la observación sin instrumentos. Por muy firmemente que se fundamente en la observación o en la experimentación una afirmación sobre hechos, la posición del falsacionista hace imposible descartar la posibilidad de que avances en el conocimiento científico revelen insuficiencias en dicha afirmación. En consecuencia, falsaciones claras y concluyentes de las teorías no son alcanzables por la observación.

No terminan aquí los problemas lógicos de la falsación. El enunciado "Todos los cisnes son blancos" queda indudablemente falsado si se puede determinar un caso de un cisne que no sea blanco. Pero las ilustraciones simplificadas de la lógica de una falsación como ésta ocultan una seria dificultad del falsacionismo, que procede de la complejidad de cualquier situación real de prueba. Una teoría científica real constará de un conjunto de enunciados universales y no de uno solo como "Todos los cisnes son blancos". Además, para comprobar experimentalmente una teoría, habrá que recurrir a algo más que los enunciados que constituyen la teoría sometida a prueba. Habrá que aumentar la teoría mediante supuestos auxiliares, tales como las leyes y teorías que rigen el uso de cualquiera de los instrumentos utilizados, por ejemplo. Además, para deducir una predicción cuya validez se haya de comprobar experimentalmente, será necesario añadir condiciones iniciales tales como una descripción del marco experimental. Por ejemplo, supongamos que se ha de comprobar una teoría astronómica observando la posición de algún planeta a través del telescopio. La teoría debe predecir la orientación que ha de tener el telescopio para ver el planeta en un momento determinado. Las premisas de las que se deriva la predicción incluirán los enunciados interrelacionados que constituyen la teoría sometida a prueba, las condiciones iniciales tales como las posiciones previas del planeta y del Sol, supuestos auxiliares como los que permiten hacer correcciones que tengan en cuenta la refracción de la luz desde el planeta en la atmósfera de la Tierra, etc. Ahora bien, si la predicción que se sigue de este montón de premisas resulta falsa (en nuestro ejemplo, si el planeta no aparece en el lugar predicho), entonces todo lo que la lógica de la situación nos permite

concluir es que al menos una de las premisas debe ser falsa. No nos permite identificar la premisa que falla. Puede ser que lo que falle sea la teoría sometida a prueba, pero también puede ser que el responsable de la predicción incorrecta sea algún supuesto auxiliar o alguna parte de la descripción de las condiciones iniciales. No se puede falsar de manera concluyente una teoría porque no se puede excluir la posibilidad de que lo responsable de una predicción errónea sea alguna parte de la compleja situación de comprobación, y no la teoría sometida a prueba. Esta dificultad suele citarse con el nombre de tesis de Duhem / Quinn, por Pierre Duhem (1962, pp. 183-8), que fue el primero en formularla, y William V. O. Quine (1961), que la restableció.

A continuación se exponen algunos ejemplos, tomados de la historia de la astronomía, que aclaran la cuestión.

En un ejemplo utilizado con anterioridad, vimos cómo la órbita del planeta Urano refutó, en apariencia, la teoría de Newton. En este caso resultó que no era la teoría la que fallaba, sino la descripción de las condiciones iniciales, que no incluía ninguna consideración del planeta Neptuno, todavía por descubrir. Un segundo ejemplo lo constituye el argumento mediante el cual el astrónomo danés Tycho Brahe afirmaba haber refutado la teoría copernicana unas décadas después de que se publicara por primera vez dicha teoría. Brahe argumentaba que si la Tierra gira alrededor del Sol, la dirección en la que se observa una estrella fija desde la Tierra debe variar a lo largo del año, a medida que la Tierra se mueve de un lado a otro del Sol. Pero cuando Brahe intentó detectar esta paralaje predicha con sus instrumentos, que eran los más precisos y sensibles que existían en su época, no lo consiguió. Este hecho llevó a que Brahe concluyera que la teoría copernicana era falsa. Con una mirada retrospectiva se puede apreciar que la teoría copernicana no era responsable de la predicción fallida, sino que lo era uno de los supuestos auxiliares de Brahe. La estimación que Brahe hacía de la distancia de las estrellas fijas era demasiado pequeña. Si se reemplaza su estimación por otra más real la paralaje predicha resulta demasiado pequeña para ser observada con los instrumentos de Brahe.

El tercer ejemplo es hipotético e inventado por Imre Lakatos (1970, pp. 100 - 101). Dice así:

La historia trata de un caso imaginario de mal comportamiento planetario. Un físico de la era pre-einsteiniana toma la mecánica newtoniana y su ley de

gravitación, N , las condiciones iniciales aceptadas, I , y calcula, con su ayuda, la trayectoria de un pequeño planeta recientemente descubierto, p . Pero el planeta se desvía de la trayectoria calculada. ¿Considera nuestro físico newtoniano que la teoría de Newton hace imposible tal desviación y por lo tanto que, una vez establecida, refuta la teoría N ? No; sugiere que debe haber un planeta hasta ahora desconocido, p' , que perturba la trayectoria de p . Calcula la masa, la órbita, etc., de este planeta hipotético y luego le pide a un astrónomo experimental que compruebe su hipótesis. El planeta p' es tan pequeño que posiblemente ni los mayores telescopios disponibles lo pueden observar; el astrónomo experimental solicita fondos para construir uno mayor. A los tres años está listo el nuevo telescopio. Si se descubriera el planeta desconocido p' , se le saludaría como una nueva victoria de la ciencia newtoniana. Pero no es así. ¿Abandona nuestro científico la teoría de Newton y su idea del planeta perturbador? No. Sugiere que una nube de polvo cósmico nos oculta el planeta. Calcula la situación y las propiedades de esta nube y pide fondos de investigación para enviar un satélite que compruebe sus cálculos. Si los instrumentos del satélite (que posiblemente son nuevos, y se basan en una teoría poco comprobada) registraran la existencia de la hipotética nube, el resultado sería saludado como una sobresaliente victoria de la ciencia newtoniana. Pero no se encuentra la nube. ¿Abandona nuestro científico la teoría newtoniana junto con la idea del planeta perturbador y la idea de la nube que lo oculta? No. Sugiere que en esa región del universo hay un campo magnético que perturba los instrumentos del satélite. Se envía un nuevo satélite. Si se encontrara el campo magnético, los newtonianos celebrarían una victoria sensacional. Pero no es así. ¿Se considera esto una refutación de la ciencia newtoniana? No. O se propone otra ingeniosa hipótesis auxiliar o... se entierra toda la historia y nunca más se la menciona de nuevo.

De ser esta historia plausible, mostraría cómo siempre se puede proteger una teoría de la falsación, desviando la falsación hacia otra parte de la compleja red de supuestos.

SOBRE LA BASE DE LOS ARGUMENTOS HISTÓRICOS EL FALSACIONTSMO ES INSUFICIENTE

Para los falsacionistas, un hecho histórico embarazoso es que si los científicos se hubieran atendido estrictamente a su metodología, aquellas teorías que se consideran por lo general como los mejores ejemplos

de teorías científicas nunca habrían sido desarrolladas, porque habrían sido rechazadas en su infancia. Dado cualquier ejemplo de una teoría científica clásica, ya sea en el momento de su primera formulación o en una fecha posterior, es posible encontrar afirmaciones observacionales que fueron generalmente aceptadas en esa época y que se consideraron incompatibles con la teoría. No obstante, estas teorías no fueron rechazadas y esto fue una suerte para la ciencia. A continuación ofreceré algunos ejemplos históricos que apoyan mi afirmación.

En los primeros años de su vida, la teoría gravitatoria de Newton fue falsada por las observaciones de la órbita lunar. Llevó casi cincuenta años desviar esta falsación hacia causas distintas de la teoría newtoniana. Al final de su vida, se sabía que la misma teoría era incompatible con los detalles de la órbita del planeta Mercurio, si bien los científicos no abandonaron la teoría por esta razón. Resultó que nunca fue posible explicar esta falsación de tal manera que la teoría de Newton quedara protegida.

Lakatos (1970, pp. 140-54) proporciona un segundo ejemplo referente a la teoría del átomo de Bohr. Las primeras versiones de la teoría eran incompatibles con la observación de que una parte de la materia es estable durante un tiempo que excede los 10^{-8} segundos. Según la teoría, los electrones negativamente cargados giran alrededor del núcleo positivamente cargado dentro de los átomos. Pero, según la teoría electromagnética clásica que suponía la teoría de Bohr, los electrones que giran deberían emitir radiación. Esta radiación haría que el electrón que gira perdiera energía y chocara con el núcleo. Los detalles cuantitativos del electromagnetismo clásico estiman que el tiempo para que se produjera este choque es de unos 10^{-8} segundos. Afortunadamente, Bohr siguió manteniendo su teoría a pesar de esta falsación.

Un tercer ejemplo se refiere a la teoría cinética y tiene la ventaja de que el creador de esa teoría reconoció explícitamente su falsación en sus comienzos. Cuando Maxwell (1965, vol.1, p. 409) publicó los primeros detalles de la teoría cinética de los gases en 1859, en ese mismo artículo reconoció que las mediciones realizadas en el calor específico de los gases falsaban la teoría. Dieciocho años después, al comentar las consecuencias de la teoría cinética, Maxwell (1877) escribió:

Sin duda algunas de ellas son muy satisfactorias para nosotros en el estado actual de la opinión acerca de la constitución de los cuerpos, pero hay otras que es muy probable que nos hagan perder nuestra complacencia y quizás en último término nos hagan abandonar la hipótesis en las que hemos encontrado refugio hasta ahora contra esa ignorancia profundamente consciente que constituye el preludio de todo auténtico avance en el conocimiento.

Todos los progresos importantes de la teoría cinética tuvieron lugar después de esta falsación. De nuevo, es una suerte que no se abandonara la teoría a la vista de las falsaciones por las mediciones del calor específico de los gases, cosa en la que se habría visto obligado a insistir el falsacionismo ingenuo.

En la sección siguiente se esbozará con más detalle un cuarto ejemplo, el de la revolución copernicana. Este ejemplo pondrá de manifiesto las dificultades que se le presentan al falsacionista cuando se toma en cuenta la complejidad de los cambios teóricos importantes. El ejemplo preparará también el terreno para analizar algunos intentos más recientes, y más apropiados, de describir la esencia de la ciencia y sus métodos.

LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

En la Europa medieval se aceptaba por lo general que la Tierra se encontraba en el centro de un universo finito y que el Sol, los planetas y las estrellas giraban alrededor de ella. La física y la cosmología que proporcionaban el marco conceptual en el que se asentaba la astronomía eran básicamente las desarrolladas por Aristóteles en el siglo IV a.C. En el siglo II de nuestra era, Tolomeo ideó un sistema astronómico detallado que especificaba las órbitas de la Luna, el Sol y todos los planetas.

En las primeras décadas del siglo XVI, Copérnico ideó una nueva astronomía, una astronomía que, al implicar una tierra que se movía, cuestionaba el sistema tolemaico y aristotélico. Según la tesis copernicana, la Tierra no está inmóvil en el centro del universo sino que gira alrededor del Sol junto con los planetas. En la época en que se comprobó la idea de Copérnico, la visión aristotélica del mundo había

sido reemplazada por la newtoniana. Los detalles de la historia de este importante cambio teórico, cambio que duró un siglo y medio aproximadamente, no apoyan las metodologías por las que abogan inductivistas y falsacionistas e indican que se necesita una concepción de la ciencia y de su desarrollo diferente y estructurada de un modo más complejo.

Cuando Copérnico publicó por primera vez los detalles de su nueva astronomía, en 1543, había muchos argumentos que se podían esgrimir, y se esgrimieron, en contra de ella. Con respecto al conocimiento científico de la época, esos argumentos eran sólidos y Copérnico no pudo defender de modo satisfactorio su teoría frente a ellos. Para apreciar esta situación es necesario estar familiarizado con algunos aspectos de la visión aristotélica del mundo en la que se basaban los argumentos en contra de Copérnico. A continuación presentamos un breve resumen de algunas de las cuestiones pertinentes.

El universo aristotélico se dividía en dos regiones distintas. La región sublunar era la región interior, que se extendía desde el centro de la Tierra justo hasta el interior de la órbita lunar. La región supralunar estaba constituida por el resto del universo finito, que se extendía desde la órbita lunar hasta la esfera de las estrellas, que marcaba el límite externo del universo. Más allá de la esfera exterior no existía nada, ni siquiera el espacio. En el sistema aristotélico el espacio vacío es imposible. Todos los objetos celestes de la región supralunar estaban hechos de un elemento incorruptible denominado éter. El éter poseía una propensión natural a moverse alrededor del centro del universo en círculos perfectos. En la astronomía tolemaica se modificó y amplió esta idea básica. Como las observaciones de las posiciones planetarias en diversos momentos no se pueden reconciliar con las órbitas circulares con su centro en la Tierra, Tolomeo introdujo en el sistema círculos adicionales, denominados epiciclos. Los planetas se movían en círculos o epiciclos, cuyos centros se movían en círculos alrededor de la Tierra. Las órbitas podían ser afinadas añadiendo epiciclos a los epiciclos, etc., de manera que el sistema resultante fuera compatible con las observaciones de las posiciones planetarias y capaz de predecir las posiciones planetarias futuras.

En contraposición con el carácter ordenado, regular e incorruptible de la región supralunar, la región sublunar estaba caracterizada por el cambio, el crecimiento y la decadencia, la generación y la

corrupción. Todas las sustancias de la región sublunar eran mezclas de cuatro elementos, aire, tierra, fuego y agua, y las proporciones relativas de los elementos en una mezcla determinaban las propiedades de la sustancia así constituida. Cada elemento tenía su lugar natural en el universo. El lugar natural de la Tierra era el centro del universo; el del agua, la superficie de la Tierra; el del aire, la región que hay inmediatamente encima de la superficie de la Tierra; y el del fuego, la parte superior de la atmósfera, cerca de la órbita lunar. En consecuencia, cada objeto terrestre tendría un lugar natural en la región sublunar según la proporción relativa de los cuatro elementos que contuviera. Las piedras, por ser en su mayor parte tierra, tienen un lugar natural cercano al centro de la Tierra, mientras que las llamas, por ser en su mayor parte fuego, tienen un lugar natural cercano a la órbita lunar, etc. Todos los objetos tienden a moverse en línea recta, hacia arriba o hacia abajo, hacia su lugar natural. Así pues, las piedras tienen un movimiento natural en línea recta hacia abajo, hacia el centro de la Tierra, y las llamas tienen un movimiento en línea recta hacia arriba, lejos del centro de la Tierra. Todos los movimientos que no son naturales necesitan una causa. Por ejemplo, las flechas necesitan ser propulsadas por un arco y los carros necesitan ser tirados por caballos.

Así pues, éstos son los principios esenciales de la cosmología y la mecánica aristotélicas que los contemporáneos de Copérnico presuponían y que se utilizaron para argumentar en contra de una Tierra móvil. Examinemos algunos de los contundentes argumentos en contra del sistema copernicano.

Seguramente el argumento que constituyó la más seria amenaza para Copérnico fue el denominado argumento de la torre. Dice así. Si la Tierra girara sobre su eje, como mantenía Copérnico, cualquier punto de la superficie de la Tierra recorrería una distancia considerable en un segundo. Si se arrojara una piedra desde lo alto de una torre erigida en la Tierra móvil, efectuaría un movimiento natural y caería hacia el centro de la Tierra. Mientras sucediera esto, la torre compartiría el movimiento de la Tierra, debido a su revolución. En consecuencia, en el momento en que la piedra llegara a la superficie de la Tierra, la torre se habría desplazado de la posición que ocupaba al comienzo de la caída de la piedra, la cual, por lo tanto, chocaría con el suelo a cierta distancia de la base de la torre. Pero esto no sucede en la práctica. La piedra choca con el suelo en la base de la torre. De

lo que se desprende que la Tierra no puede estar girando y que la teoría copernicana es falsa.

Otro argumento mecánico en contra de Copérnico se refiere a objetos sueltos tales como piedras y filósofos, que están sobre la superficie de la Tierra. Si la Tierra gira, ¿por qué esos objetos no salen despedidos de la superficie de la Tierra, al igual que las piedras salen despedidas del aro de una rueda giratoria? Y si la Tierra, al tiempo que gira, se mueve alrededor del Sol, ¿por qué no deja atrás la Luna?

Algunos argumentos en contra de Copérnico basados en consideraciones astronómicas han sido mencionados anteriormente en este libro. Implican la ausencia de paralaje en las posiciones observadas de las estrellas y el hecho de que ni Marte ni Venus cambian a simple vista de tamaño de modo apreciable en el transcurso del año.

Debido a los argumentos que he mencionado y a otros semejantes, los partidarios de la teoría copernicana se enfrentaban a serias dificultades. El propio Copérnico estaba muy inmerso en la metafísica aristotélica y no tenía respuestas adecuadas.

En vista de la fuerza de la argumentación en contra de Copérnico, cabría preguntarse exactamente qué se dijo en favor de la teoría copernicana en 1543. La respuesta es: “no mucho”. El principal atractivo de la teoría copernicana residía en la ingeniosa manera en que explicaba una serie de rasgos del movimiento planetario que en la teoría rival tolemaica sólo se podían explicar de un modo artificial y poco atractivo. Los rasgos son el movimiento retrógrado de los planetas y el hecho de que, a diferencia de los demás planetas, Mercurio y Venus siempre permanecen cerca del Sol. A intervalos regulares, los planetas retrogradan, esto es, cesan en su movimiento hacia el oeste entre las estrellas (tal y como se ve desde la Tierra) y durante un breve periodo desandan su camino hacia el este antes de continuar de nuevo hacia el oeste. En el sistema tolemaico, el movimiento retrógrado se explicaba mediante la maniobra un tanto *ad hoc* de añadir epiciclos especialmente ideados con este propósito. En el sistema copernicano no se necesitaba tal recurso artificial. El movimiento retrógrado es una consecuencia natural del hecho de que la Tierra y los planetas giran alrededor del Sol contra el fondo de las estrellas fijas. Observaciones similares se aplican al problema de la proximidad constante del Sol Mercurio y Venus. Este hecho es una consecuencia natural del sistema copernicano una vez que se establece que las órbitas de Mercurio y

Venus son internas a la de la Tierra. En el sistema tolemaico, las órbitas del Sol, Mercurio y Venus se han de unir artificialmente para lograr el resultado requerido.

Así pues, había algunas características mecánicas de la teoría copernicana que estaban a su favor. Aparte de eso, los dos sistemas rivales estaban más o menos a la par por lo que se refiere a simplicidad y concordancia con las observaciones de las posiciones planetarias. Las órbitas circulares centradas en el Sol no se pueden reconciliar con la observación, de modo que Copérnico, al igual que Tolomeo, necesitaba añadir epiciclos y el número total de epiciclos necesarios para observar las órbitas según las observaciones conocidas era aproximadamente el mismo en los dos sistemas. En 1543, los argumentos basados en la simplicidad matemática que se aducían en favor de Copérnico no podían ser considerados como contrapeso adecuado a los argumentos mecánicos y astronómicos que se esgrimían en contra de él. No obstante, un cierto número de filósofos de la naturaleza matemáticamente capaces se sintieron atraídos por el sistema copernicano y sus esfuerzos por defenderlo tuvieron cada vez más éxito en los años siguientes.

La persona que contribuyó de manera más significativa a la defensa del sistema copernicano fue Galileo. Y lo hizo de dos maneras. En primer lugar, utilizó un telescopio para observar los cielos y con ello transformó los datos observacionales que la teoría copernicana debía explicar. En segundo lugar, sentó las bases de una nueva mecánica que iba a reemplazar la mecánica aristotélica y con referencia a la cual se iban a refutar los argumentos mecánicos en contra de Copérnico.

Cuando Galileo construyó sus primeros telescopios en 1609 y los enfocó hacia el cielo, hizo unos descubrimientos espectaculares. Vio que había muchas estrellas que eran invisibles a simple vista. Vio que Júpiter tenía lunas y que la superficie de la Luna de la Tierra estaba cubierta de montañas y cráteres. También observó que el tamaño aparente de Marte y Venus, tal y como se veía a través del telescopio, cambiaba como predecía el sistema copernicano. Más tarde, Galileo confirmaría que Venus tenía fases como la Luna, cosa que podía ser fácilmente incorporada al sistema copernicano, pero no al tolemaico. Las lunas de Júpiter refutaron el argumento aristotélico en contra de Copérnico, que se basaba en el hecho de que la Luna permanece quieta con una Tierra supuestamente móvil, ya que entonces los aristotélicos

se enfrentaron con el mismo problema con respecto a Júpiter y sus lunas. La superficie de tipo terrestre de la Luna eliminaba la distinción aristotélica entre los cielos perfectos, incorruptibles, y la Tierra cambiante, corruptible. El descubrimiento de las fases de Venus supuso un éxito para los copernicanos y un nuevo problema para los tolemaicos. Es innegable que, una vez que se aceptan las observaciones realizadas por Galileo a través de su telescopio, disminuyen las dificultades con que se enfrenta la teoría copernicana.

Las observaciones precedentes sobre Galileo y el telescopio plantean un serio problema epistemológico. ¿Por qué preferir las observaciones a través del telescopio a las observaciones a simple vista? Una respuesta a esta pregunta podría utilizar una teoría óptica del telescopio que explique sus propiedades de aumento y que también tenga en cuenta las diversas aberraciones a que se puede esperar que estén sujetas las imágenes telescópicas. Pero el propio Galileo no utilizó una teoría óptica con ese propósito. La primera teoría óptica capaz de proporcionar apoyo en este sentido fue formulada por el contemporáneo de Galileo, Kepler, a principios del siglo XVII y esta teoría fue perfeccionada y aumentada en las décadas posteriores. Una segunda manera de encarar la cuestión de la superioridad de las observaciones telescópicas sobre las realizadas a simple vista es demostrar la efectividad del telescopio de un modo práctico, enfocándolo hacia barcos, torres, etc., distantes, y demostrar cómo el instrumento agranda y hace los objetos más fácilmente visibles. Sin embargo, existe una dificultad en este tipo de justificación del uso del telescopio en astronomía. Cuando se ven a través del telescopio los objetos terrestres, es posible separar el objeto visto de las aberraciones producidas por el telescopio debido a la familiaridad del observador con el aspecto que tiene una torre, un barco, etc. Esto no sucede cuando el observador escudriña los cielos sin saber qué busca. En este sentido, es significativo que el dibujo que hizo Galileo de la superficie lunar tal y como la vio a través de un telescopio contenga algunos cráteres que de hecho no existen. Probablemente, esos "cráteres" eran aberraciones resultantes del funcionamiento de los telescopios galileanos, que distaban mucho de ser perfectos. En este párrafo se ha dicho lo suficiente para señalar que la justificación de las observaciones telescópicas no era una cuestión simple y directa. Los adversarios de Galileo que cuestionaban sus descubrimientos no eran todos reaccionarios testarudos y estúpidos. Las

justificaciones estaban por venir y fueron cada vez más adecuadas, a medida que se construían telescopios cada vez mejores y que se desarrollaban las teorías ópticas acerca de su funcionamiento. Pero todo esto llevó tiempo.

La mayor contribución de Galileo a la ciencia fue su obra sobre mecánica. Sentó algunas de las bases de la mecánica newtoniana, que había de reemplazar a la aristotélica. Distinguió claramente entre velocidad y aceleración, y afirmó que los objetos que caen libremente se mueven con una aceleración constante que es independiente de su peso, descendiendo una distancia proporcional al cuadrado del tiempo de la caída. Negó la afirmación aristotélica de que todo movimiento requiere una causa y en su lugar propuso que la velocidad de un objeto que se mueve horizontalmente a lo largo de una línea concéntrica con la Tierra no debiera aumentar ni disminuir, puesto que ni asciende ni desciende. Analizó el movimiento de los proyectiles resolviendo el movimiento de un proyectil en un componente horizontal que se mueve a velocidad constante y un componente vertical sujeto a la aceleración constante hacia abajo. Mostró que la trayectoria resultante de un proyectil era una parábola. Desarrolló el concepto de movimiento relativo y mantuvo que no se podía detectar el movimiento uniforme de un sistema por medios mecánicos si no se disponía de algún punto de referencia externo al sistema.

Galileo no realizó estos importantes avances de modo instantáneo Surgieron poco a poco en un periodo de medio siglo, culminando en su libro *Dos nuevas ciencias*, que se publicó por primera vez en el año 1638, casi un siglo después de la publicación de la principal obra de Copérnico. Galileo hizo sus nuevas concepciones significativas y cada vez más precisas mediante ilustraciones y experimentos mentales. En ocasiones, Galileo describió experimentos reales, como por ejemplo los que suponen el deslizamiento de esferas por planos inclinados, aunque es cuestión debatida cuántos de estos experimentos efectuó Galileo en realidad.

La nueva mecánica de Galileo permitió que el sistema copernicano se defendiera de algunas de las objeciones que se han mencionado anteriormente. Un objeto sostenido en lo alto de una torre y que comparte con la torre un movimiento circular alrededor del centro de la Tierra continuará realizando ese movimiento, junto con la torre, después de que sea arrojado y, en consecuencia, chocará con el suelo al

pie de la torre, de acuerdo con la experiencia. Galileo llevó el argumento más lejos y afirmó que se podía demostrar la corrección de su ley de inercia arrojando una piedra desde lo alto del mástil de un barco que se mueve uniformemente y observando que choca con la cubierta al pie del mástil, aunque Galileo no pretendió haber efectuado el experimento. Galileo tuvo menos éxito a la hora de explicar por qué los objetos sueltos no salen despedidos de la superficie de una Tierra que gira.

Aunque el grueso de la obra científica de Galileo fue concebida para reforzar la teoría copernicana, el propio Galileo no formuló una astronomía detallada y pareció seguir a los aristotélicos en su preferencia por las órbitas circulares. Fue un contemporáneo de Galileo, Kepler, quien realizó un importante avance en esta dirección cuando descubrió que se podía representar cualquier órbita planetaria mediante una sola elipse con el Sol en uno de sus focos. Esto eliminaba el complejo sistema de epiciclos que tanto Copérnico como Galileo habían considerado necesario. No es posible una simplificación similar en el sistema tolemaico centrado en la Tierra. Kepler tenía a su disposición las anotaciones de las posiciones planetarias de Tycho Brahe, que eran más precisas que aquéllas de las que disponía Copérnico. Después de un concienzudo análisis de los datos, Kepler llegó a sus tres leyes del movimiento planetario: que los planetas se mueven en órbitas elípticas alrededor del Sol, que una línea que una un planeta con el Sol recorre espacios iguales en tiempos iguales y que el cuadrado del periodo de un planeta es proporcional al cubo de su distancia media al Sol.

Ciertamente, Galileo y Kepler dieron argumentos decisivos en favor de la teoría copernicana. Sin embargo, fueron necesarios avances posteriores antes de que la teoría pudiera basarse de un modo firme en una física general. Newton pudo sacar partido de la obra de Galileo, Kepler y otros para construir esa física general que expuso en sus *Principia* de 1687. Elaboró una clara concepción de la fuerza como la causa de la aceleración, y no del movimiento, concepción que ya estaba presente, de manera algo confusa, en los escritos de Galileo y Kepler. Newton reemplazó la ley de inercia circular de Galileo por su propia ley de inercia lineal, según la cual los cuerpos continúan moviéndose en línea recta a velocidad uniforme a menos que alguna fuerza actúe sobre ellos. Otra importante contribución de Newton fue por supuesto su ley de gravitación, la cual le permitió demostrar la corrección a

grandes rasgos de las leyes del movimiento planetario de Kepler y de la ley de la caída libre de Galileo. En el sistema newtoniano se unifican los reinos de los cuerpos celestes y de los cuerpos terrestres y cada conjunto de cuerpos se mueve bajo el influjo de fuerzas que siguen las leyes newtonianas del movimiento. Una vez constituida la física newtoniana, fue posible aplicarla con detalle a la astronomía. Por ejemplo, fue posible investigar los detalles de la órbita lunar teniendo en cuenta su tamaño finito, la revolución de la Tierra, el giro de la Tierra, la oscilación de la Tierra sobre su eje, etc. También fue posible investigar el hecho de que los planetas se desviaran de las leyes keplerianas debido a la masa finita del Sol, a las fuerzas interplanetarias, etc. El desarrollo de estas cuestiones habría de ocupar a algunos de los sucesores de Newton durante los dos siglos siguientes.

La historia que he esbozado aquí debería bastar para indicar que la revolución copernicana no surgió de una vez por todas en la torre inclinada de Pisa. También resulta evidente que ni inductivistas ni falsacionistas proporcionan una concepción de la ciencia que sea compatible con esa historia. Los nuevos conceptos de fuerza e inercia no surgieron como resultado de una observación y una experimentación cuidadosas. Tampoco surgieron de la falsación de conjeturas audaces y del continuo reemplazo de una conjetura audaz por otra. Las primeras formulaciones de la nueva teoría, que implicaban nuevas concepciones imperfectamente formuladas, no se abandonaron y se desarrollaron a pesar de las aparentes falsaciones. Solamente después de que se elaborara un nuevo sistema de física, proceso que supuso el trabajo intelectual de muchos científicos durante varios siglos, se pudo enfrentar con éxito la nueva teoría a los resultados de la observación y la experimentación de manera detallada. No se puede pensar que una concepción de la ciencia es mínimamente correcta a menos que pueda reconciliar estos factores.

INSUFICIENCIAS DEL CRITERIO FALSACIONISTA DE DEMARCACIÓN Y LA RESPUESTA DE POPPER

Popper hizo una defensa seductora de su criterio de demarcación entre la ciencia y la no-ciencia o la pseudociencia. Las teorías científicas

deben ser falsables, es decir, deben tener consecuencias que se puedan comprobar por la observación o la experimentación. Una debilidad de este criterio, si no se modifica, es que es satisfecho demasiado fácilmente, en particular, por muchas afirmaciones científicas que el propio Popper desearía clasificar dentro de la no-ciencia. Los astrólogos hacen afirmaciones falsables (frecuentemente falsadas), y los horóscopos que publican diarios y revistas las presentan falsables y no falsables. La misma columna del periódico "Tus estrellas" que hacia la predicción (infalsable), citada en el capítulo 5, de que "la suerte es posible en la especulación deportiva", prometía a aquéllos cuyo cumpleaños cayera en el 28 de marzo que "un nuevo amor pondrá chispas en tus ojos y mejorará tus actividades sociales", una promesa que es ciertamente falsable. Cualquier rama del cristianismo que insista en tomar la Biblia al pie de la letra es falsable. La afirmación en el Génesis de que Dios creó los mares y los colmó de peces se falsaría si no hubiera ningún mar y/o pez. El propio Popper observa que la teoría freudiana, por cuanto interpreta los sueños como deseos, se enfrenta a la amenaza de falsación por las pesadillas.

Una respuesta que el falsacionista puede dar a esta observación consiste en decir que las teorías no sólo tienen que ser falsables, sino que deben no haber sido falsadas. Esto eliminaría la pretensión científica de los horóscopos, y Popper argumenta que elimina la teoría freudiana. Pero esta solución no puede adoptarse con demasiada prisa, no sea que elimine todo lo que el falsacionista desea mantener como científico, puesto que hemos visto que la mayoría de las teorías científicas tienen sus problemas y chocan con alguna que otra observación aceptada. De modo que resulta permisible, según los falsacionistas sofisticados, modificar las teorías en vista de falsaciones aparentes, e incluso aferrarse a ellas, a pesar de las falsaciones, en la esperanza de que los problemas se resolverán en el futuro. Éste es el tipo de respuesta que da Popper (1974, p. 55) en un intento por enfrentarse a las dificultades que he mencionado.

Siempre he subrayado la necesidad de cierto dogmatismo: el científico dogmático tiene un importante papel que desempeñar. Si caemos en la crítica con demasiada facilidad, nunca llegaremos a saber dónde radica el poder real de nuestras teorías.

Opino que este fragmento ilustra hasta qué punto el falsacionismo se enfrenta a serias dificultades en vista de las críticas suscitadas en este capítulo. El ataque del falsacionismo consiste en enfatizar el componente crítico de la ciencia. Las teorías deben estar sujetas a un criticismo implacable, de modo que se puedan extirpar las inadecuadas para reemplazarlas por otras más adecuadas. Enfrentado a los problemas que rodean el grado de definición con el que se falsan las teorías, Popper admite que a menudo es necesario mantener las teorías a pesar de las falsaciones aparentes. Así pues, si bien se recomienda un criticismo implacable, lo que parecería ser su opuesto, el dogmatismo, tiene que desempeñar un papel positivo. Uno se preguntaría qué queda del falsacionismo si se le permite un papel clave al dogmatismo. Además, si se perdona tanto la actitud crítica como la dogmática, es difícil ver qué actitudes se excluyen. (Sería irónico que la versión muy modificada del falsacionismo llegara a ser tan débil que no excluyera nada, topando así con la intuición principal que condujo a Popper a formularlo.)

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Schilpp (1974) contiene una serie de críticas al falsacionismo de Popper. Lakatos (1970) dirige críticas a todas las ramas del falsacionismo, salvo a la más sofisticada. Muchos de los puntos de este capítulo concernientes a la incompatibilidad del falsacionismo con la revolución copernicana fueron tomados de Feyerabend (1975).

Lakatos y Musgrave (1970) contiene artículos que comparan críticamente la posición de Popper con la de Thomas Kuhn, cuyas opiniones se analizan en el capítulo siguiente. Algunas críticas refinadas a la posición de Popper pueden verse en Mayo (1996).

8.LAS TEORÍAS COMO ESTRUCTURAS. 1: LOS PARADIGMAS DE KUHN

LAS TEORÍAS COMO ESTRUCTURAS

El bosquejo de la Revolución Copernicana dibujado en los capítulos anteriores sugiere que las concepciones de la ciencia inductivista y falsacionista están demasiado dispersas en pedazos. Al concentrarse en la relación entre las teorías y los enunciados observacionales individuales, parece ser que fallan a la hora de aprehender la complejidad del modo de desarrollo de las teorías importantes. Se ha generalizado, desde los años sesenta de este siglo, la conclusión resultante de que una concepción más adecuada de la ciencia debe originarse en la comprensión del entramado teórico en el que tiene lugar la actividad científica. Los tres capítulos siguientes se ocupan de tres concepciones importantes de la ciencia que han nacido a partir de esta idea. (En el capítulo 13 tendremos razón en cuestionar si ha ido demasiado lejos el punto de vista de la ciencia que se puede denominar “dominado por la teoría”.)

Una razón por la que es necesario considerar las teorías como estructuras procede de la historia de la ciencia. El estudio histórico revela que la evolución y el progreso de las ciencias principales muestran una estructura que no capta ni la concepción inductivista ni la falsacionista. La Revolución Copernicana nos ha proporcionado ya un ejemplo. Resalta esta idea si se reflexiona sobre el hecho de que la física permaneció dentro del sistema newtoniano durante unos cuantos siglos después de Newton, hasta que el sistema fue desafiado por la relatividad y la teoría cuántica a principio de este siglo. Sin embargo, el argumento histórico no es la única razón para que algunos hayan visto la necesidad de concentrarse en los entramados teóricos. Hay otro argumento filosófico más general que está íntimamente vinculado a las maneras en que puede decirse que la observación depende de la teoría

En el capítulo 1 se subrayó que los enunciados observacionales se deben formular en el lenguaje de alguna teoría. En consecuencia, los enunciados, y los conceptos que figuran en ellos, serán tan precisos e informativos como precisa e informativa sea la teoría en cuyo lenguaje se construyen. Por ejemplo, creo que se estará de acuerdo en que el concepto newtoniano de masa tiene un significado más preciso que el concepto de democracia. Sugiero que la razón del significado relativamente preciso del primero se debe al hecho de que el concepto desempeña un papel determinado, bien definido, en una teoría estructurada y precisa: la mecánica newtoniana. Por el contrario, las teorías en las que aparece el concepto de "democracia" son notoriamente vagas y múltiples. Si esta estrecha conexión que acabo de sugerir entre la precisión del significado de un término o enunciado en una teoría es válida, de ello se desprende directamente la necesidad de teorías coherentemente estructuradas.

Que el significado de los conceptos depende de la estructura de la teoría en la que aparecen, y que la precisión de aquéllos depende de la precisión y el grado de coherencia de ésta, es algo que puede resultar más plausible observando las limitaciones de algunas maneras alternativas en las que se puede considerar que un concepto adquiere significado. Una de estas alternativas es la tesis de que los conceptos adquieren su significado mediante una definición. Hay que rechazar las definiciones como procedimiento fundamental para establecer significados. Los conceptos sólo se pueden definir en función de otros conceptos cuyos significados están ya dados. Si los significados de estos últimos conceptos son también establecidos por definición, es evidente que se producirá una regresión infinita, a menos que se conozcan por otros medios los significados de algunos términos. Un diccionario es inútil a menos que ya se sepan los significados de muchas palabras. Newton no pudo definir la masa o la fuerza en términos de conceptos previamente existentes. Tuvo que trascender los límites del viejo sistema conceptual desarrollando uno nuevo. Una segunda alternativa es la sugerencia de que los conceptos adquieren su significado mediante la definición ostensiva. Ya vimos en el capítulo 1, en la discusión sobre el aprendizaje por un niño del significado de "manzana", que esto es difícil de sostener aun en el caso de una noción elemental como la de "manzana", y será todavía menos plausible a la hora de definir algo como "masa" en mecánica, o "campo eléctrico" en electromagnetismo.

La afirmación de que los conceptos derivan su significado, al menos en parte, del papel que desempeñan en una teoría se ve apoyada por las reflexiones históricas siguientes. En contra del mito popular, los experimentos no fueron, ni mucho menos, la clave de las innovaciones de Galileo en mecánica. Muchos de esos "experimentos" a los que se refiere cuando articula su teoría son experimentos mentales. Este hecho resulta paradójico para aquellos que piensan que las nuevas teorías se derivan como resultado del experimento, pero resulta plenamente comprensible cuando se cae en la cuenta de que sólo se puede llevar a cabo una experimentación precisa si se tiene una teoría precisa susceptible de proporcionar predicciones en la forma de enunciados observacionales precisos. Galileo, podría argumentarse, estaba efectuando una contribución importante a la construcción de una nueva mecánica, que iba a resultar capaz de soportar una experimentación detallada en una etapa posterior. No es de extrañar que sus esfuerzos implicaran experimentos mentales, analogías y metáforas ilustrativas, en vez de una experimentación detallada. Puede aducirse que la historia típica de un concepto, ya sea "elemento químico", "átomo", "el inconsciente", o cualquier otro, conlleva el surgimiento inicial del concepto como idea vaga, seguido de su aclaración gradual a medida que la teoría en la que desempeña un papel toma una forma más coherente y precisa. El surgimiento del concepto de campo eléctrico puede interpretarse de manera que sirva de apoyo a este punto de vista. Cuando Faraday, en la primera mitad del siglo XIX, introdujo por primera vez el concepto, éste era muy vago y se articuló con la ayuda de analogías mecánicas y un uso metafórico de términos tales como "tensión", "potencia" y "fuerza". El concepto de campo se fue definiendo cada vez mejor a medida que se especificaban de modo más claro las relaciones entre el campo eléctrico y otras cantidades electromagnéticas. Una vez que Maxwell hubo introducido su corriente de desplazamiento, de nuevo con la ayuda de analogías mecánicas, fue posible dar mayor coherencia a la teoría en la forma de las ecuaciones de Maxwell, que establecían claramente la interrelación existente entre todas las cantidades electromagnéticas. No pasó mucho tiempo hasta que se prescindió del éter, que había sido considerado como el espacio mecánico de los campos, quedando éstos como conceptos claramente definidos e independientes.

He intentado hacer en esta sección una exposición racional de una manera de acercarse a la ciencia por medio de sistemas teóricos en los

cuales puedan tener lugar tanto el trabajo científico como la discusión. En éste y los capítulos siguientes veremos la obra de tres importantes filósofos de la ciencia que han perseguido esta idea.

INTRODUCCIÓN A THOMAS KUHN

Las concepciones inductivista y falsacionista de la ciencia fueron desafiadas de manera importante por Thomas Kuhn (1970a) en su libro *The structure of scientific revolution*, publicado por primera vez en 1962 y reeditado ocho años más tarde con un apéndice esclarecedor. Desde entonces, sus ideas no han cesado de resonar en la filosofía de la ciencia. Kuhn comenzó su carrera académica como físico y luego centró su atención en la historia de la ciencia. Al hacerlo, descubrió que sus ideas preconcebidas acerca de la naturaleza de la ciencia quedaban hechas añicos. Se dio cuenta de que las concepciones tradicionales de la ciencia, ya fueran inductivistas o falsacionistas, no resistían una comparación con las pruebas históricas. Posteriormente, la teoría de la ciencia de Kuhn se desarrolló como un intento de proporcionar una teoría de la ciencia que estuviera más de acuerdo con la situación histórica tal y como él la veía. Un rasgo característico de su teoría es la importancia atribuida al carácter revolucionario del progreso científico, en el que una revolución supone el abandono de una estructura teórica y su reemplazo por otra incompatible con la anterior. Otro aspecto a destacar es el importante papel que desempeñan en la teoría de Kuhn las características sociológicas de las comunidades científicas.

Se puede resumir la imagen que tiene Kuhn de cómo progresa una ciencia mediante el siguiente esquema abierto:

preciencia - ciencia normal - crisis - revolución - nueva ciencia normal - nueva crisis

La desorganizada y diversa actividad que precede a la formación de una ciencia se estructura y dirige finalmente cuando una comunidad científica se adhiere a un solo *paradigma*. Un paradigma está constituido por los supuestos teóricos generales, las leyes y las técnicas

para su aplicación, que adoptan los miembros de una determinada comunidad científica. Los que trabajan dentro de un paradigma, ya sea la mecánica newtoniana, la óptica ondulatoria, la química analítica o cualquier otro, practican lo que Kuhn denomina *ciencia normal*. La ciencia normal articulará y desarrollará el paradigma en su intento por explicar y acomodar el comportamiento de algunos aspectos importantes del mundo real, tal y como se revelan a través de los resultados de la experimentación. Al hacerlo se encontrarán inevitablemente con dificultades y tropezarán con falsaciones aparentes. Si las dificultades de este tipo se escapan de las manos, se desarrolla un estado de *crisis*. La crisis se resuelve cuando surge un paradigma completamente nuevo que se gana la adhesión de un número de científicos cada vez mayor, hasta que finalmente se abandona el paradigma original, acosado por los problemas. El cambio discontinuo constituye una *revolución científica*. El paradigma nuevo, lleno de promesas y no abrumado por dificultades en apariencia insuperables, guía entonces la actividad científica normal hasta que choca con problemas serios y aparece una nueva crisis seguida de una nueva revolución.

Con este resumen como anticipo, procedamos a examinar con más detalle los diversos componentes del esquema de Kuhn.

LOS PARADIGMAS Y LA CIENCIA NORMAL

Una ciencia madura está regida por un solo paradigma [Desde que apareció *The structure of scientific revolutions*, Kuhn ha admitido que usó originalmente "paradigma" de diversas maneras. En el Apéndice a la segunda edición, distingue dos sentidos de la palabra, un sentido general, que él llama "matriz disciplinar", y un sentido estricto del término, que ha reemplazado por "ejemplar". Sigo usando la palabra "paradigma" en el sentido general, para referirme a lo que Kuhn llama matriz disciplinar.] El paradigma establece las normas necesarias para legitimar el trabajo dentro de la ciencia que rige. Coordina y dirige la actividad de "resolver problemas" que efectúan los científicos normales que trabajan dentro de él. La característica que distingue la ciencia de la no ciencia es, según Kuhn, la existencia de un paradigma capaz de apoyar una tradición de

ciencia normal. La mecánica newtoniana, la óptica ondulatoria y el electromagnetismo constituyeron, y quizás constituyen aún, paradigmas y se califican de ciencias. Gran parte de la sociología moderna carece de un paradigma y en consecuencia no se califica de ciencia.

Como se explicará más adelante, en la naturaleza de un paradigma está el escapar a una definición precisa. No obstante, es posible describir algunos componentes típicos que constituyen un paradigma. Entre esos componentes se encontrarán las leyes explícitamente establecidas y los supuestos teóricos. Así, las leyes del movimiento de Newton forman parte del paradigma newtoniano y las ecuaciones de Maxwell forman parte del paradigma que constituye la teoría electromagnética clásica. Los paradigmas también incluirán las maneras normales de aplicar las leyes fundamentales a los diversos tipos de situaciones. Por ejemplo, el paradigma newtoniano incluirá los métodos para aplicar las leyes de Newton al movimiento planetario, a los péndulos, a los choques de las bolas de billar, etc. También se incluirán en el paradigma el instrumental y las técnicas instrumentales necesarios para hacer que las leyes del paradigma se refieran al mundo real. La aplicación en astronomía del paradigma newtoniano conlleva el uso de diversos tipos acreditados de telescopios, junto con técnicas para su utilización y diversas técnicas para corregir los datos recopilados con su ayuda. Un componente adicional de los paradigmas lo constituyen algunos principios metafísicos muy generales, que guían el trabajo dentro del paradigma. Durante todo el siglo XIX, el paradigma newtoniano estuvo regido por un principio como éste: "Todo el mundo físico se ha de explicar como un sistema mecánico que actúa bajo el influjo de diversas fuerzas de acuerdo con los dictados de las leyes del movimiento de Newton", y el programa cartesiano del siglo XVII suponía el principio: "No hay vacío y el universo físico es un gran mecanismo de relojería en el que todas las fuerzas toman la forma de impulsos". Por último, todos los paradigmas contendrán algunas prescripciones metodológicas muy generales, tales como: "Hay que intentar seriamente compaginar el paradigma con la naturaleza" o "Hay que tratar los intentos fallidos de compaginar el paradigma con la naturaleza como problemas serios".

La ciencia normal conlleva intentos detallados de articular un paradigma con el propósito de compaginarlo mejor con la naturaleza. Un paradigma siempre será lo suficientemente impreciso y abierto

como para permitir que se hagan este tipo de cosas. Kuhn describe la ciencia normal como la actividad de resolver problemas gobernada por las reglas de un paradigma. Los problemas serán tanto de naturaleza teórica como experimental. Por ejemplo, dentro del paradigma newtoniano, los problemas teóricos típicos conllevan la invención de técnicas matemáticas que se ocupen del movimiento de un planeta sujeto a más de una fuerza de atracción y desarrollen supuestos adecuados para aplicar las leyes de Newton al movimiento de los fluidos. Los problemas experimentales incluían el perfeccionamiento de la precisión de las observaciones al telescopio y el desarrollo de las técnicas experimentales capaces de proporcionar mediciones fiables de la constante gravitacional. La ciencia normal debe presuponer que un paradigma proporciona los medios adecuados para resolver los problemas que en él se plantean. Se considera que un fracaso en la resolución de un problema es un fracaso del científico, más que una insuficiencia del paradigma. Los problemas que se resisten a ser solucionados son considerados como anomalías, más que falsaciones de un paradigma. Kuhn reconoce que todos los paradigmas contendrán algunas anomalías (por ejemplo, la teoría copernicana y el tamaño aparente de Venus, o el paradigma newtoniano y la órbita de Mercurio) y rechaza todas las corrientes del falsacionismo.

Un científico normal no debe criticar el paradigma en el que trabaja. Sólo de esa manera es capaz de concentrar sus esfuerzos en la detallada articulación del paradigma y efectuar el trabajo interpretativo necesario para explorar la naturaleza en profundidad. Lo que distingue a la ciencia normal, madura, de la actividad relativamente desorganizada de la preciencia inmadura es la falta de desacuerdo en lo fundamental. Según Kuhn, la preciencia se caracteriza por el total desacuerdo y el constante debate de lo fundamental, de manera que es imposible abordar el trabajo detallado, profundo. Habrá casi tantas teorías como trabajadores haya en el campo y cada teórico se verá obligado a comenzar de nuevo y a justificar su propio enfoque. Kuhn ofrece como ejemplo la óptica antes de Newton. No se llegó a un acuerdo general ni surgió una teoría detallada, generalmente aceptada, antes de que Newton propusiera y defendiera su teoría corpuscular. Los teóricos rivales del periodo precientífico no sólo discrepaban en sus supuestos teóricos, sino también en los tipos de fenómenos observacionales importantes para sus teorías. En la medida en que Kuhn

reconoce el papel desempeñado por un paradigma como guía de la investigación y la interpretación de los fenómenos observables, da cabida al sentido con el que se puede decir que la observación y el experimento dependen de la teoría.

Kuhn insiste en que en un paradigma hay más de lo que se puede exponer explícitamente en forma de reglas y directrices explícitas. Invoca el análisis efectuado por Wittgenstein de la noción de "juego" para ilustrar en parte lo que quiere decir. Wittgenstein mantenía que no es posible detallar las condiciones necesarias y suficientes para que una actividad sea un juego. Cuando se intenta, se encuentra invariablemente una actividad que la definición incluye pero que no se desearía considerar como un juego, o una actividad que la definición excluye pero que se desearía considerar como un juego. Kuhn afirma que existe la misma situación con relación a los paradigmas. Si se trata de dar una descripción científica y precisa de algún paradigma en la historia de la ciencia o en la ciencia actual, siempre resulta que algún trabajo realizado dentro del paradigma va en contra de la descripción. Sin embargo, Kuhn insiste en que esta situación no hace insostenible el concepto de paradigma, del mismo modo que la situación similar respecto al "juego" no excluye el uso legítimo de ese concepto. Aunque no exista una descripción explícita y completa, los científicos traban conocimiento con un paradigma a través de su formación científica. Un aspirante a científico se pone al corriente de los métodos, las técnicas y las normas del paradigma resolviendo problemas normales, efectuando experimentos normales y, finalmente, haciendo alguna investigación bajo la supervisión de alguien que ya es un experto dentro del paradigma. El aspirante a científico no será capaz de hacer una relación explícita de los métodos y las técnicas que ha aprendido, del mismo modo que un maestro carpintero no es capaz de describir plenamente lo que hay detrás de sus técnicas. Gran parte del conocimiento del científico normal será *tácito*, en el sentido desarrollado por Michael Polanyi (1973).

Debido al modo en que es adiestrado, y necesita ser adiestrado si ha de trabajar de manera eficaz, un científico normal típico será inconsciente de la naturaleza precisa del paradigma en el que trabaja e incapaz de articularla. Sin embargo, de esto no se desprende que un científico no sea capaz de intentar explicitar las presuposiciones implícitas en su paradigma, si surge la necesidad. Semejante necesidad

surgirá cuando un paradigma se vea amenazado por un rival. En esas circunstancias será necesario intentar detallar las leyes generales, los principios metodológicos y metafísicos, etc., implícitos en un paradigma para defenderlos de las alternativas que conlleva el nuevo paradigma que lo amenaza. La sección siguiente resume la explicación que da Kuhn de cómo puede un paradigma tropezar con problemas y ser reemplazado por un paradigma rival.

CRISIS Y REVOLUCIÓN

Los científicos normales trabajan confiadamente dentro de un área bien definida, regida por un paradigma. El paradigma les presenta un conjunto de problemas definidos, junto con unos métodos que ellos confían en que serán adecuados para su solución. Si culpan al paradigma de no haber conseguido resolver algún problema, estarán expuestos a las mismas acusaciones que el carpintero que culpa a sus instrumentos. No obstante, habrá fallos que pueden a la larga llegar a tal grado de gravedad que constituya una crisis seria para el paradigma y lleve al rechazo de éste y a su reemplazo por una alternativa incompatible.

La mera existencia dentro de un paradigma de problemas sin resolver no constituye una crisis. Kuhn reconoce que los paradigmas siempre encontrarán dificultades. Siempre habrá anomalías. Solamente en condiciones especiales, las anomalías se pueden desarrollar de tal manera que socaven la confianza en el paradigma. Se considerará que una anomalía es particularmente grave si se juzga que afecta a los propios fundamentos de un paradigma y, no obstante, resiste con vigor a los intentos de eliminarla por parte de los miembros de la comunidad científica normal. Kuhn cita como ejemplo los problemas asociados al éter y el movimiento de la tierra relativo a él en la teoría electromagnética de Maxwell, a finales del siglo XIX. Los problemas que los cometas planteaban al cosmos aristotélico ordenado y lleno de las esferas cristalinas conectadas entre sí constituirían un ejemplo menos técnico. También se considera que las anomalías son serias si son importantes con relación a alguna necesidad social apremiante. Los problemas que abrumaban a la astronomía tolemaica eran apremiantes

a la luz de la necesidad de la reforma del calendario en la época de Copérnico. También tendrá que ver con la seriedad de una anomalía la cantidad de tiempo que resista a los intentos de eliminarla. El número de anomalías serias es otro factor que influye en el comienzo de una crisis.

Según Kuhn, analizar las características de un periodo de crisis en la ciencia exige tanto la competencia de un psicólogo como la de un historiador. Cuando se llega a considerar que las anomalías plantean al paradigma serios problemas, comienza un periodo de "inseguridad profesional marcada". Los intentos por resolver el problema se hacen cada vez más radicales y progresivamente se van debilitando las reglas establecidas por el paradigma para solucionar problemas. Los científicos normales comienzan a entablar discusiones metafísicas y filosóficas y tratan de defender sus innovaciones, de estatus dudoso desde el punto de vista del paradigma, con argumentos filosóficos. Los científicos empiezan incluso a expresar abiertamente su descontento e intranquilidad con respecto al paradigma reinante. Kuhn (1970a, p. 84) cita la respuesta de Wolfgang Pauli a lo que éste consideró como una crisis creciente de la física hacia 1924. Un Pauli exasperado confesó a un amigo: "En este momento, la física se encuentra en un estado de terrible confusión. De cualquier modo, me resulta demasiado difícil y me gustaría haber sido actor de cine o algo por el estilo, y no haber oído hablar nunca de física". Una vez que un paradigma ha sido debilitado y socavado hasta el punto de que sus defensores pierden su confianza en él, ha llegado el momento de la revolución.

La gravedad de una crisis aumenta cuando hace su aparición un paradigma rival. Según Kuhn (1970a, p. 91), "el nuevo paradigma, o un indicio suficiente para permitir una articulación posterior; surge de repente, a veces en medio de la noche, en el pensamiento de un hombre profundamente inmerso en la crisis". El paradigma nuevo será muy diferente del viejo e incompatible con él. Las diferencias radicales serán de diversos tipos.

Cada paradigma considerará que el mundo está constituido por distintos tipos de cosas. El paradigma aristotélico consideraba que el mundo estaba dividido en dos reinos distintos, la región supralunar, incorruptible e inalterable, y la región terrestre, corruptible y sometida al cambio. Los paradigmas posteriores consideraron que todo el universo estaba constituido por los mismos tipos de sustancias

materiales. La química anterior a Lavoisier implicaba la afirmación de que el mundo contenía una sustancia denominada flogisto, que se desprende de las materias cuando arden. El nuevo paradigma de Lavoisier implicaba que no había nada semejante al flogisto, pero que sí existe un gas, el oxígeno, que desempeña un papel completamente distinto en la combustión. La teoría electromagnética de Maxwell comprendía un éter que ocupaba todo el espacio, mientras que la reformulación radical que de ella hizo Einstein eliminaba el éter.

Los paradigmas rivales considerarán que son lícitos ó significativos tipos diversos de cuestiones. Las cuestiones relativas al peso del flogisto eran importantes para los teóricos del flogisto e inútiles para Lavoisier. Las cuestiones relativas a la masa de los planetas eran fundamentales para los newtonianos y heréticas para los aristotélicos. El problema de la velocidad de la Tierra con respecto al éter, que tenía un profundo significado para los físicos anteriores a Einstein, fue disipado por éste. Del mismo modo que plantean distintos tipos de cuestiones, los paradigmas conllevan normas diferentes e incompatibles. Los newtonianos admitían una inexplicada acción a distancia, mientras que los cartesianos la rechazaban por metafísica e incluso ocultista. Para Aristóteles, el movimiento sin causa era un absurdo, pero para Newton era un axioma. La transmutación de los elementos ocupa un lugar importante en la moderna física nuclear (al igual que en la alquimia medieval y en la filosofía mecanicista del siglo XVII), pero va completamente en contra de los objetivos del programa atomista de Dalton. Ciertos tipos de acontecimientos descriptibles dentro de la microfísica moderna suponen una indeterminación que no tenía cabida en el programa newtoniano.

El paradigma en el que esté trabajando guiará el modo en el que el científico vea un determinado aspecto del mundo. Kuhn sostiene que, en cierto sentido, los defensores de paradigmas rivales “viven en mundos distintos”. Cita como prueba el hecho de que los astrónomos occidentales observaron, registraron y analizaron por primera vez cambios en el cielo después de que se propusiera la teoría copernicana. Con anterioridad, el paradigma aristotélico había dictaminado que no podía haber cambios en la región supralunar y, en consecuencia, no se observaba ningún cambio. Los cambios que se observaron se explicaron como perturbaciones en la atmósfera superior.

Kuhn vincula el cambio de la adhesión por parte de los científicos de un paradigma a otro alternativo e incompatible con un “cambio de gestalt” o una “conversión religiosa”. No existe ningún argumento puramente lógico que demuestre la superioridad de un paradigma sobre otro y que, por tanto, impulse a cambiar de paradigma a un científico racional. Una razón de que no sea posible esta demostración estriba en el hecho de que en el juicio de un científico sobre los méritos de una teoría científica intervienen muchos factores. La decisión del científico dependerá de la prioridad que dé a dichos factores. Los factores incluirán cosas tales como la simplicidad, la conexión con alguna necesidad social urgente, la capacidad de resolver algún determinado tipo de problema, etc. Así, por ejemplo, un científico podrá sentirse atraído por la teoría copernicana debido a la simplicidad de algunas de sus características matemáticas. Otro podrá sentirse atraído porque ve en ella la posibilidad de la reforma del calendario. A un tercero le podrá haber hecho desistir de la teoría copernicana su interés por la mecánica terrestre y su conciencia de los problemas que la teoría copernicana le planteaba. Un cuarto podrá rechazar la teoría copernicana por razones religiosas.

Una segunda razón de que no exista una demostración lógicamente convincente de la superioridad de un paradigma sobre otro surge del hecho de que los partidarios de los paradigmas rivales suscribirán distintos conjuntos de normas, principios metafísicos, etc., Juzgado por sus propias normas, el paradigma A podrá ser considerado superior al paradigma B, mientras que si se utilizasen como premisas las normas del paradigma B, el juicio podrá ser el contrario. La conclusión de una argumentación es convincente solamente si se aceptan sus premisas. Los partidarios de paradigmas rivales no aceptarán las premisas de los contrarios y por lo tanto no se dejarán convencer necesariamente por los argumentos de los demás. Por este tipo de razón, Kuhn (1970a, pp. 93 - 4) compara a las revoluciones científicas con las revoluciones políticas. Así como “las revoluciones políticas pretenden cambiar las instituciones políticas por unos medios que las propias instituciones prohíben” y en consecuencia “falla el recurso político” así también la elección “entre paradigmas rivales resulta ser una elección entre modos incompatibles de vida comunitaria” y ningún argumento puede ser “lógica ni siquiera probabilísticamente convincente”. Sin embargo, esto no quiere decir que los diversos argumentos no

se encuentren entre los importantes factores que influyen en las decisiones de los científicos. En opinión de Kuhn, qué tipo de factores resultan eficaces para hacer que los científicos cambien de paradigma es algo que debe descubrir la investigación psicológica y sociológica.

Así pues, hay ciertas razones interrelacionadas para que no haya un argumento lógicamente convincente que dicte el abandono de un paradigma por parte de un científico cuando un paradigma compite con otro. No hay un criterio único por el que un científico pueda juzgar el mérito o porvenir de un paradigma y, además, los defensores de los programas rivales suscribirán distintos conjuntos de normas e incluso verán el mundo de distinta manera y lo describirán en distinto lenguaje. El propósito de los argumentos y discusiones entre defensores de paradigmas rivales debe ser persuadir y no coaccionar. Creo que lo que he resumido en este párrafo es lo que hay detrás de la afirmación kuhniana de que los paradigmas rivales son "incomensurables".

Una revolución científica corresponde al abandono de un paradigma y a la adopción de otro nuevo, no por parte de un científico aislado sino por parte de la comunidad científica en su totalidad. A medida que se convierten más científicos, por diversas razones, al paradigma, hay un "creciente cambio en la distribución de las adhesiones profesionales". Para que la revolución tenga éxito, este cambio ha de extenderse hasta incluir a la mayoría de los miembros de la comunidad científica, quedando sólo unos cuantos disidentes, los cuales serán excluidos de la nueva comunidad científica y tal vez se refugiarán en un departamento de filosofía. De cualquier modo, finalmente se extinguirán.

LA FUNCIÓN DE LA CIENCIA NORMAL Y LAS REVOLUCIONES

Algunos aspectos de los escritos de Kuhn podrían dar la impresión de que su concepción de la naturaleza de la ciencia es puramente *descriptiva*, esto es, que lo único que pretende es describir las teorías científicas o paradigmas y la actividad de los científicos. Si éste fuera el caso entonces la concepción científica de Kuhn tendría poco valor como *teoría* de la ciencia. A menos que la concepción descriptiva de la ciencia

esté configurada por alguna teoría, no se ofrece ninguna guía con respecto a los tipos de actividades y productos de actividades que se han de describir. Concretamente, sería necesario que las actividades y producciones de los científicos de a pie se documentaran con tanto detalle como los logros de un Einstein o un Galileo.

Sin embargo, constituye un error considerar que la idea que tiene Kuhn de la ciencia proviene únicamente de una descripción del trabajo de los científicos. Kuhn insiste en que su concepción constituye una teoría de la ciencia porque incluye una explicación de la *función* de sus diversos componentes. Según Kuhn, la ciencia normal y las revoluciones desempeñan funciones necesarias, de modo que la ciencia debe conllevar estas características o algunas otras que sirvan para efectuar las mismas funciones. Veamos cuáles son esas funciones, según Kuhn.

Los períodos de ciencia normal proporcionan la oportunidad de que los científicos desarrollen los detalles esotéricos de una teoría. Trabajando dentro de un paradigma cuyos fundamentos se dan por sentados, son capaces de efectuar el duro trabajo teórico y experimental necesario para que el paradigma se compagine con la naturaleza en un grado cada vez mayor. Gracias a su confianza en la adecuación de un paradigma, los científicos pueden dedicar sus energías a intentar resolver los detallados problemas que se les presentan dentro del paradigma en vez de enzarzarse en disputas sobre la licitud de sus supuestos y métodos fundamentales. Es necesario que la ciencia normal sea en gran medida acrítica. Si todos los científicos criticaran todo el tiempo todas las partes del marco conceptual en el que trabajan, no se llevaría a cabo ningún trabajo científico.

Si todos los científicos fueran y siguieran siendo científicos normales, una determinada ciencia se vería atrapada en un solo paradigma y nunca progresaría más allá de él. Desde un punto de vista kuhniano, esto sería un grave defecto. Un paradigma entraña un determinado marco conceptual a través del cual se ve el mundo y en el cual se le describe, y un determinado conjunto de técnicas experimentales y teóricas para hacer que el paradigma se compagine con la naturaleza. Pero no hay ninguna razón *a priori* para esperar que un paradigma sea perfecto o que sea el mejor de los que ya existen. No hay procedimientos inductivos que permitan llegar a paradigmas perfectamente adecuados. En consecuencia, la ciencia debe tener dentro de sí la

manera de pasar de un paradigma a otro mejor. Ésta es la función que cumplen las revoluciones. Todos los paradigmas serán inadecuados en alguna medida por lo que se refiere a su compaginación con la naturaleza. Cuando la falta de compaginación es seria, esto es, cuando se desarrolla una crisis, el paso revolucionario de reemplazar todo el paradigma por otro resulta esencial para el progreso efectivo de la ciencia.

La alternativa de Kuhn al progreso acumulativo, que es la característica de las concepciones inductivistas de la ciencia, es el progreso a través de las revoluciones. Según los inductivistas, el conocimiento científico aumenta continuamente a medida que se hacen observaciones más numerosas y más variadas, permitiendo que se formen nuevos conceptos, que se refinan los viejos y que se descubra entre ellos nuevas y justas relaciones. Desde el particular punto de vista de Kuhn, eso es un error, porque ignora el papel que desempeñan los paradigmas guiando la observación y la experimentación. Es precisamente porque los paradigmas tienen esa influencia omnipresente sobre la ciencia que en ellos se practica por lo que su reemplazo por otro debe ser revolucionario.

En la explicación de Kuhn se tiene en cuenta otra función que es digna de mención. Los paradigmas de Kuhn no son tan precisos como para poder ser reemplazados por un conjunto explícito de reglas, como se dijo anteriormente. Los diferentes científicos o grupos de científicos bien pueden interpretar y aplicar el paradigma de un modo algo diferente. Enfrentados a la misma situación, no todos los científicos tomarán la misma decisión ni adoptarán la misma estrategia. Eso tiene la ventaja de que se multiplicará el número de estrategias intentadas. Así, los riesgos se distribuyen por toda la comunidad científica y las probabilidades de tener éxito a largo plazo aumentan. “¿De qué otro modo”, se pregunta Kuhn (1970c, p. 241), “podría el grupo en su totalidad cubrir sus apuestas?”

MÉRITOS DE LA CONCEPCIÓN DE KUHN DE LA CIENCIA

Sin duda hay algo descriptivamente correcto en la idea de Kuhn de que el trabajo científico implica resolver problemas dentro de un

sistema que no se cuestiona en lo fundamental. No es probable que haga progresos importantes una disciplina en la que los fundamentos sean cuestionados continuamente, como la caracterizada por el método de Popper de "conjeturas y refutaciones", porque los principios no permanecerán indiscutibles el tiempo suficiente para que se haga el trabajo interpretativo. Está muy bien pintar una imagen heroica de Einstein en la que aparece haciendo los más importantes avances mientras que demuestra la originalidad y el coraje de desafiar algunos de los principios fundamentales de la física, pero no debiéramos perder de vista el hecho de que fueron necesarios doscientos años de esfuerzos minuciosos dentro del paradigma newtoniano y cien años de trabajo dentro de las teorías de la electricidad y el magnetismo para que se revelaran los problemas que Einstein había de reconocer y resolver con su teoría de la relatividad. Es la filosofía, y no la ciencia, la actividad que más se presta a ser caracterizada adecuadamente en términos de una crítica constante de sus fundamentos.

Si comparamos los intentos de Kuhn y de Popper por captar el sentido en el que la astrología se distingue de la ciencia, la concepción de Kuhn resulta más convincente, como ha razonado de manera concluyente Deborah Mayo (1996, capítulo 2). Desde una perspectiva popperiana, se puede diagnosticar que la astrología no es una ciencia, bien porque es infalsable, bien porque es falsable y se puede demostrar que es falsa. Lo primero no funciona, porque como señala Kuhn (1970b), incluso durante el Renacimiento, cuando se practicaba la astrología seriamente, los astrólogos hacían predicciones falsables, y de hecho fueron frecuentemente falsadas. Pero este último hecho no es suficiente para negar a la astrología la cualificación de ciencia, a menos que se haga lo mismo y por las mismas razones con la física, la química y la biología, pues, como hemos visto, todas las ciencias tienen sus dificultades en forma de observaciones o resultados experimentales problemáticos. La respuesta de Kuhn consiste en la sugerencia de que la diferencia entre la astrología y la astronomía radica en que los astrónomos están en posición de aprender de los fallos de sus predicciones y los astrólogos no. Los astrónomos pueden refinar sus instrumentos, probar en busca de perturbaciones posibles, postular la existencia de planetas no detectados, o la falta de esfericidad de la Luna, y así sucesivamente, y llevar a cabo entonces el trabajo detallado para ver si tales cambios eliminan el problema debido a una predicción no

cumplida. Los astrólogos, por el contrario, no tienen el recurso de aprender de los fallos de la misma manera. Pero los "recursos" que los astrónomos tienen, y los astrólogos no, pueden ser interpretados como el paradigma compartido que mantiene la tradición de una ciencia normal. La "ciencia normal" de Kuhn sirve, por tanto para identificar un elemento crucial de la ciencia.

La parte complementaria de la concepción de Kuhn, las "revoluciones científicas", parece tener también un mérito considerable. Kuhn utilizó la noción de revolución con el fin de subrayar la naturaleza no acumulativa del avance de la ciencia. El progreso a largo plazo de la ciencia no sólo comprende la acumulación de hechos y leyes confirmados, sino que a veces implica también el abandono de un paradigma y su reemplazo por otro nuevo incompatible. Ciertamente, Kuhn no fue el primero en señalar este aspecto. Como hemos visto, el propio Popper subrayó que el progreso científico implica el abandono crítico de teorías y su reemplazo por otras alternativas. Pero, mientras que el reemplazo de una teoría por otras es para Popper simplemente la sustitución de un conjunto de afirmaciones por otro distinto, desde el punto de vista de Kuhn hay mucho más en una revolución científica. Una revolución no implica una mera modificación de las leyes generales, sino también un cambio en la manera como es percibido el mundo y un cambio en las normas en que se apoya una valoración de una teoría. Como ya vimos, la teoría aristotélica suponía un universo finito que formaba un sistema en el que cada cosa tenía su lugar y su función; un detalle importante era la distinción entre lo celestial y lo terrestre. Dentro de este esquema, un modo lícito de explicación consistía en la referencia a la *función* de las diversas cosas (por ejemplo, las piedras caen al suelo para alcanzar su lugar natural y restaurar el orden ideal del universo). Después de la revolución científica del siglo XVII, el universo es infinito, con cosas que interactúan mediante fuerzas regidas por leyes. Todas las explicaciones se hacen apelando a esas fuerzas y leyes. En la medida en que la evidencia empírica representó un papel en las teorías aristotélica y newtoniana, en la primera se consideraba fundamental la evidencia obtenida por medio de los sentidos sin ayuda y actuando en condiciones óptimas, mientras que en la segunda, lo fundamental era la evidencia adquirida a través de instrumentos y de la experimentación y era a menudo preferida a la proporcionada directamente por los sentidos.

Kuhn está sin duda en lo correcto, en cuanto hecho descriptivo, al reparar en que se dan las revoluciones científicas que involucran un cambio; no sólo en el cúmulo de afirmaciones que se hacen, sino en el tipo de entidades que se supone que constituyen el mundo y en las clases de pruebas y modos de explicación que se consideran apropiados. Más aún, tan pronto como se ha admitido esto, toda estimación adecuada del progreso científico debe incluir una explicación de cómo se pueden considerar progresivos los cambios hechos en el curso de la revolución. En realidad, sobre la base de la caracterización de la ciencia hecha por Kuhn, se puede presentar el problema de manera particularmente aguda. Kuhn insistió en que lo que cuenta como problema puede cambiar de un paradigma a otro, y que también las normas a las que se recurre para juzgar la adecuación de las soluciones propuestas varían de un paradigma a otro. Pero si es así que las normas varían de un paradigma a otro, ¿a qué normas se puede apelar para juzgar que un paradigma es mejor que otros y si representa un progreso frente al paradigma que reemplaza? ¿En qué sentido se puede decir que la ciencia progresa mediante revoluciones?

AMBIVALENCIA DE KUHN ACERCA DEL PROGRESO POR MEDIO DE REVOLUCIONES

Kuhn es notoriamente ambiguo respecto de la pregunta básica que hemos hecho y que su propia obra hace destacar. Después de la publicación de *The structure of scientific revolutions*, Kuhn fue acusado de haber presentado un punto de vista "relativista" del progreso científico. Supongo que esto quiere decir que Kuhn propuso una concepción de progreso, según la cual la pregunta de si un paradigma es o no mejor que otro al que desafía no tiene una respuesta definitiva y neutra, sino que depende de los valores del individuo, grupo o cultura que hace el juicio. Kuhn no se sintió, evidentemente, a gusto con la acusación e intentó distanciarse del relativismo en el Apéndice que añadió a la segunda edición de su libro. Escribió (1970a, p. 206), "las teorías científicas posteriores son mejores que las anteriores para resolver enigmas en los entornos, a menudo muy diferentes, en los que se aplican. Esta no es la postura de un relativista, y muestra en qué sentido

creo firmemente en el progreso humano". Este criterio es problemático en cuanto que el propio Kuhn subraya que lo que cuenta como enigma y su solución depende del paradigma, y también en cuanto que Kuhn, en otro lugar (1970a, p. 154), ofrece criterios diferentes, tales como "simplicidad, envergadura y compatibilidad con otras especialidades". Pero todavía más problemático es el choque entre la afirmación no relativista de progreso y los numerosos pasajes del libro de Kuhn que se leen como una defensa no explícita de la posición relativista, e incluso como una negación de que exista algún criterio racional de progreso científico.

Kuhn asemeja las revoluciones científicas a cambios de *gestalt*, conversiones religiosas y revoluciones políticas; utiliza estas comparaciones para acentuar la medida en que el cambio en la adhesión por parte de un científico de un paradigma a otro no sucede por un argumento racional que apele a criterios generalmente aceptados. La manera como cambia el diagrama de la p. 66, de una escalera vista desde arriba a una vista desde abajo, es un ejemplo modesto de cambio de *gestalt*, pero sirve para subrayar la medida en que un cambio de este tipo es la verdadera antítesis de una elección razonada, y las conversiones religiosas se consideran comúnmente como un tipo análogo de cambio. En cuanto a lo que se refiere a la analogía con las revoluciones políticas, Kuhn (1970a, pp. 93-4) insiste en que estas revoluciones "tratan de cambiar las instituciones políticas de maneras que las propias instituciones prohíben", de modo que "falla el recurso político". Análogamente, la elección "entre paradigmas en competición resulta ser una elección entre modos incompatibles de vida en comunidad", de tal manera que ningún argumento se puede imponer lógicamente e incluso probabilísticamente". La insistencia de Kuhn (1970a, p. 238) en que la manera como podremos descubrir la naturaleza de la ciencia es "intrínsecamente sociológica", y en que se logrará "examinando la naturaleza del grupo científico, descubriendo lo que valora, lo que tolera y lo que desprecia", también conduce al relativismo, si resulta que grupos distintos valoran, toleran y desprecian cosas diferentes. Así es, en realidad, como los proponentes de la sociología de la ciencia actualmente en boga interpretan generalmente a Kuhn, llevando sus puntos de vista hasta un relativismo explícito.

En mi opinión, la concepción del progreso científico que tiene Kuhn, tal y como aparece en la segunda edición de su libro, incluido el

Apéndice, contiene dos corrientes incompatibles, una relativista y otra que no lo es. Esto abre dos posibilidades. La primera consiste en seguir el camino tomado por los sociólogos mencionados en el párrafo anterior, y adherirse a la corriente relativista del pensamiento de Kuhn y desarrollarla, lo cual, entre otras cosas, comprende llevar a cabo la investigación sociológica a la que aludía Kuhn pero que él mismo nunca hizo. La segunda alternativa consiste en dejar de lado el relativismo y reescribir Kuhn a fin de hacerlo compatible con un cierto sentido de progreso de la ciencia que permita dar este paso. Esta alternativa necesitará una respuesta a la pregunta por el sentido según el cual se puede decir que un paradigma representa un progreso respecto del que reemplaza. Espero que quede claro al final de este libro qué opción considero que es la más fructífera.

EL CONOCIMIENTO OBJETIVO

"La transición entre paradigmas contendientes... debe ocurrir de una vez (aunque no necesariamente en un instante) o no ocurrir." No soy el único que ha encontrado misteriosa esta frase de Kuhn (1970a, p. 150). ¿Cómo puede cambiar un paradigma de una vez, pero no necesariamente en un instante? No creo que sea difícil descubrir el origen de la confusión que se encierra en la problemática frase. Por una parte, Kuhn es consciente de que una revolución científica se extiende sobre un periodo de tiempo considerable y comprende mucho trabajo teórico y experimental. El propio estudio clásico de Kuhn sobre la Revolución Copernicana (1959) documenta los siglos de trabajo que involucra. Por otra parte, las comparaciones que hace Kuhn entre los cambios de paradigma y los cambios de *gestalt* o las conversiones religiosas dan inmediatamente sentido a la idea de que el cambio sucede "de una vez". Sugiero que Kuhn está, de hecho, confundiendo aquí dos tipos de conocimiento, y es importante y provechoso esclarecer la distinción.

Cuando digo "conozco la fecha en que escribí este párrafo particular y tú no", me estoy refiriendo a un conocimiento que me es familiar y que reside en mi mente o cerebro. pero que no te es familiar y que está ausente de tu mente o cerebro. Conozco la primera ley del

movimiento de Newton, pero no sé cómo clasificar biológicamente un cangrejo de río. Esta también es una cuestión sobre lo que reside en mi mente o cerebro. Las afirmaciones de que Maxwell desconocía que su teoría electromagnética predecía las ondas de radio y de que Einstein conocía los resultados del experimento de Michelson-Morley encierran el mismo uso de "conocer" en el sentido de "ser consciente de". El conocimiento es un estado de la mente. En estrecha conexión con este uso, en el sentido de que tiene también que ver con los estados mentales de los individuos, está el tema de si un individuo acepta y cree, o no acepta y no cree, una afirmación o conjuntos de afirmaciones y hasta qué punto es así. Yo creo que Galileo explicó de manera convincente la validez del uso de su telescopio, pero no Feyerabend. Ludwig Boltzmann aceptó la teoría cinética de los gases y su compatriota Ernst Mach no. Todas estas maneras de hablar sobre el conocimiento y afirmaciones correspondientes a él lo son acerca de estados mentales o actitudes de individuos. Es una manera perfectamente lícita de hablar. A falta de otro término mejor, llamaré a esto a lo que me he referido conocimiento en sentido *subjetivo*, para distinguirlo de un uso diferente al que llamaré conocimiento en sentido *objetivo*.

La frase "mi gato vive en una casa que no habitan animales" tiene la propiedad de ser contradictoria, mientras que las frases "tengo un gato" y "hoy murió un conejillo de Indias" tienen la propiedad de ser consecuencia del enunciado "hoy mi gato mató el conejillo de Indias de alguien". En estos ejemplos es obvio el hecho de que las frases tienen el sentido que les atribuyo, en cierto sentido común, pero no tiene por qué ser así. Por ejemplo, un abogado en un juicio por asesinato podría descubrir, después de un análisis muy laborioso, el hecho de que un informe de un testigo tiene consecuencias que contradicen las de un segundo testigo. Si es realmente así, entonces el caso es si los testigos en cuestión eran o no conscientes de ello, o si lo creían o no. Más aún, si el abogado no hubiera desvelado la inconsistencia, podría haber quedado sin descubrir, de modo que nadie habría llegado a ser consciente de ella. Sin embargo, permanecería el hecho de que los testimonios eran inconsistentes. Las proposiciones pueden tener propiedades distintas de aquéllas de las que los individuos pudieran ser conscientes. Tienen propiedades objetivas.

Ya nos encontramos, en el capítulo 1, una instancia de distinción entre conocimiento subjetivo y conocimiento objetivo. Tracé la distinción

entre las experiencias perceptuales de los individuos y lo que ellos pudieran tener por consecuencia de ellas, por una parte, y los enunciados observacionales que pudieran dar en su apoyo, por otra. Señalé que estos últimos son comprobables públicamente y debatibles de una manera que los primeros no son.

El laberinto de proposiciones implicados en un conjunto de conocimientos tendrá, de manera similar, propiedades de las que no tienen por qué ser conscientes los individuos que trabajan en él. La estructura teórica que es la física moderna es tan compleja que no puede ser identificada con las creencias de un físico determinado o de un grupo de físicos. Muchos científicos contribuyen de forma separada y con sus habilidades individuales al crecimiento y la articulación de la física, del mismo modo que muchos trabajadores combinan sus esfuerzos en la construcción de una catedral. Y con la misma felicidad con que un alegre escalador de torres puede estar benditamente inconsciente de las implicaciones de un ominoso descubrimiento hecho por trabajadores de una excavación vecina a la cimentación de la torre, así también, un teorizador eminente podría no ser consciente de la importancia de algún hallazgo experimental para la teoría en la que trabaja. En ambos casos existe una relación subjetiva entre partes de la estructura, independientemente de que los individuos sean o no conscientes de esa relación.

Es fácil encontrar ejemplos de la ciencia que ilustran este punto. Sucede frecuentemente que un trabajo subsiguiente *descubre* consecuencias inesperadas de una teoría, tales como una predicción experimental o un choque con otra teoría. Así, Poisson pudo descubrir y demostrar que la teoría de la luz de Fresnel tenía como consecuencia que un punto brillante debería ser visible en el centro del lado en sombra de un disco opaco convenientemente iluminado, consecuencia de la que Fresnel no había sido consciente. Se descubrieron varios conflictos entre la teoría de Fresnel y la teoría corpuscular de la luz de Newton, a la que desafiaba. Por ejemplo, la primera predecía que la luz viajaría más rápido en el aire que en el agua, mientras que la última predecía lo opuesto.

He ilustrado el sentido en el que se puede interpretar el conocimiento como objetivo al hablar de las propiedades objetivas de los enunciados, en especial los que contienen afirmaciones teóricas y observacionales. Pero no son éstos los únicos que son objetivos. Montajes

y procedimientos experimentales, reglas metodológicas y sistemas matemáticos son también objetivos, en el sentido de que son diferentes de la clase de cosas que residen en las mentes individuales. Pueden ser identificados y utilizados, modificados y criticados por individuos. Un científico particular se encontrará frente a una situación objetiva -- un conjunto de teorías, resultados experimentales, instrumentos y técnicas, maneras de argumentar y cosas similares -- y son éstas las cosas que el científico utilizará en su intento por modificar y mejorar la situación.

No pretendo que el uso que hago del término "objetivo" sea valorativo. Teorías inconsistentes o que explican poco podrían ser objetivas según este uso. De hecho, tales teorías poseerán objetivamente las propiedades de ser inconsistentes o explicar poco. Si bien mi uso del término "objetivo" se deriva del de Karl Popper y lo sigue estrechamente (ver en especial su texto de 1979, capítulos 3 y 4), no deseo seguirle en cuanto a verme involucrado en la espinosa cuestión del sentido preciso en que existen estas propiedades objetivas. Los enunciados no tienen propiedades en el sentido en que las tienen los objetos físicos, y es un asunto filosóficamente delicado el determinar el modo de existencia de tales objetos lingüísticos, igual que otras construcciones sociales tales como las reglas metodológicas y los sistemas matemáticos. Me conformo con explicar mi posición al nivel del sentido común, usando los tipos de ejemplo que he usado. Es suficiente para mi propósito.

Una gran parte del discurso de Kuhn sobre los paradigmas encaja el lado objetivo de la dicotomía que he introducido. Así lo indican sus palabras sobre la tradición de resolver problemas dentro de un paradigma y las anomalías que éste confronta, y también la manera como los paradigmas difieren en cuanto que comprenden diferentes normas y distintos supuestos metafísicos. Una vez aceptada esta manera de hablar, tiene bastante sentido, en términos de Kuhn, formular nuestra pregunta básica referente al sentido en el que se puede decir de un paradigma en particular que es un avance respecto de su rival. Es ésta una pregunta acerca de la relación objetiva entre paradigmas.

Sin embargo, en el libro de Kuhn se da otro modo de hablar, que se sitúa en el lado subjetivo de mi dicotomía y que está en su discurso sobre cambios de *gestalt* y cosas similares. Al hablar del cambio de un paradigma a otro en términos de cambio de *gestalt*, como hace

Kuhn, da la impresión de que no pueden ser comparados los puntos de vista a cada lado del cambio. El cambio de un paradigma a otro se identifica con el cambio que tiene lugar dentro de la mente o el cerebro del científico cuando cambia su adhesión de uno a otro. Es esta identificación lo que conduce a la confusión que encierra la frase de Kuhn citada al comienzo de esta sección. Si nuestro interés es, como parece ser el de Kuhn, la naturaleza de la ciencia y el sentido en el que se puede decir que ésta progresa, mi sugerencia es que se elimine de la concepción de Kuhn toda esa charla de cambios de *gestalt* y conversiones religiosas y nos limitemos a una caracterización objetiva de los paradigmas y a la relación entre ellos. Kuhn hace precisamente esto la mayor parte del tiempo, y sus estudios históricos son una mina de material importante de ayuda para una elucidación de la naturaleza de la ciencia.

La manera en que se podría decir que un paradigma existente en la historia es mejor que el rival al que reemplaza es una cuestión distinta de los modos en los que, o las razones por las que, los científicos individuales cambian su adhesión de un paradigma a otro, o se ponen a trabajar en uno u otro. Una cosa es el hecho de que los científicos individuales hacen juicios y toman decisiones en su trabajo científico por una variedad de razones, a menudo bajo la influencia de factores subjetivos; otra distinta es que la relación entre un paradigma y otro se perciba con la máxima claridad aprovechando una visión posterior. Si se ha de identificar un sentido distinto según el cual la ciencia progresa, el segundo tipo de consideración es el que proporcionará la respuesta. Ésta es la razón por la que me siento insatisfecho con el intento de Kuhn, en su texto de 1977 (capítulo 13), de combatir la acusación de relativismo centrándose en "juicio de valor y elección de teoría".

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

La obra clave de Kuhn es, por supuesto, *The Structure of Scientific Revolutions* (1970a). En "Logic of Discovery or Psychology of Research" (1970b), Kuhn trata la relación entre sus puntos de vista y los de Popper; responde a algunos de sus críticos en "Reflections on My Critics" (1970c). El texto de

Kuhn de 1977 es una valiosa colección de ensayos suyos. Hoyningen-Huens (1993) es una discusión minuciosa de la filosofía de la ciencia de Kuhn y contiene una biografía detallada de su obra. Lakatos y Musgrave (1970) contiene correspondencia entre Kuhn y sus críticos. Acerca de la apropiación de las ideas de Kuhn por parte de los sociólogos véase por ejemplo Bloor (1971) y Barnes (1982). Para un recuento de la construcción de significado en ciencia que ejemplifica la posición esbozada en la primera sección de este capítulo ver Nersessian (1984).

9. LAS TEORÍAS COMO ESTRUCTURAS. 2: LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN A IMRE LAKATOS

Imre Lakatos fue un húngaro que se trasladó a Inglaterra a finales de los cincuenta, donde recibió la influencia de Karl Popper, quien, en palabras del propio Lakatos, "cambió [su] vida" (Worrall y Currie, 1978a, p. 139). Aunque fue un decidido seguidor de la concepción de la ciencia de Popper, Lakatos se dio cuenta de algunas de las dificultades a las que se enfrentaba el falsacionismo de Popper, dificultades del tipo de las que hemos considerado en el capítulo 7. A mediados de los sesenta, Lakatos supo del punto de vista alternativo de la ciencia contenido en *The structure of scientific revolutions*, de Kuhn. Los puntos de vista de Popper y Kuhn tienen mucho en común, a pesar de que proponen concepciones de la ciencia rivales. En particular, ambos se oponen a las posiciones positivista e inductivista, ambos conceden prioridad a la teoría (o paradigma) frente a la observación e insisten en que la búsqueda de resultados de la observación, su interpretación y aceptación o rechazo, tienen lugar con un trasfondo de teoría o paradigma. Lakatos continuó la tradición y buscó un modo de modificar el falsacionismo de Popper y liberarlo de sus dificultades, recurriendo a algunos de los conceptos de Kuhn a la vez que rechazaba los aspectos relativistas de éste. Al igual que Kuhn, Lakatos reconoció en su valor un panorama de la actividad científica que la presenta dentro de un entramado, y acuñó la frase "programa de investigación" para referirse a lo que, en cierto sentido, era su alternativa a los paradigmas de Kuhn. La fuente primordial para conocer la concepción que tiene Lakatos de la metodología es su texto de 1970.

LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACIÓN DE LAKATOS

Vimos en el capítulo 7 que una de las dificultades importantes del falsacionismo de Popper era que no existía una guía clara respecto de qué parte del complejo teórico era culpable de una falsación aparente. Si se deja al antojo del científico individual situar la culpa donde le plazca, es difícil ver cómo puedan progresar las ciencias maduras de la manera coordinada y coherente con que parecen hacerlo. Lakatos respondió sugiriendo que no todas las partes de una ciencia van a la par. Algunas leyes o principios son más básicos que otros. De hecho, algunos son tan fundamentales que definen los rasgos de una ciencia, y por lo tanto, no se les puede culpar de ningún fallo aparente, sino que la culpa debe recaer en componentes menos fundamentales. Se puede ver una ciencia como el desarrollo programático de las implicaciones que tienen los principios fundamentales. Los científicos pueden tratar de resolver los problemas modificando los supuestos más periféricos de la manera que crean conveniente. En la medida en que sus esfuerzos tengan éxito, contribuirán al desarrollo de un mismo *programa de investigación*, por muy diversos que sean sus intentos de jugar con las suposiciones periféricas.

Lakatos llamó a los principios fundamentales el *núcleo central* de un programa de investigación. Más que ninguna otra cosa, la característica definitoria de un programa es su núcleo central. Toma la forma de unas hipótesis muy generales que son la base a partir de la cual se desarrolla el programa. He aquí algunos ejemplos. El núcleo central de la astronomía copernicana lo constituirían los supuestos de que la tierra y los planetas giran alrededor de un Sol inmóvil y de que la Tierra gira sobre su eje una vez al día. El núcleo central de la física newtoniana está compuesto por las leyes del movimiento de Newton más su ley de la atracción gravitatoria. El núcleo central del materialismo histórico de Marx sería el supuesto de que el cambio social ha de ser explicado en términos de lucha de clases, siendo determinados la naturaleza de las clases y los detalles de la lucha, en último término, por la base económica.

Los fundamentos de un programa necesitan ser ampliados con una serie de suposiciones suplementarias con el fin de llenarlos de substancia, de modo que se puedan hacer predicciones definidas. No sólo

consta de hipótesis explícitas y leyes que completan el núcleo central, sino, además, de supuestos subyacentes a las condiciones iniciales, que especifican situaciones particulares, y también teorías presupuestas en los enunciados observacionales y en los resultados experimentales. Por ejemplo, el núcleo central del programa de investigación copernicano necesitaba ser aumentado añadiendo numerosos epiciclos a las órbitas planetarias inicialmente circulares; también fue necesario cambiar el cálculo de la distancia previamente aceptada de la Tierra a las estrellas. Inicialmente, el programa implicaba también la suposición de que se puede considerar segura la información obtenida a simple vista de la posición, tamaño y brillo de estrellas y planetas. Todo desajuste en la correspondencia entre un programa articulado y la observación debe ser atribuido a los supuestos suplementarios, y no al núcleo central. Lakatos llamó cinturón protector a la suma de hipótesis adicionales que complementan el núcleo central, con el fin de subrayar que su papel consiste en proteger el núcleo central de las falsaciones. Según Lakatos (1970, p. 133), el núcleo central es hecho infalsable por "las decisiones metodológicas de sus protagonistas". Por ejemplo, el cinturón protector del programa copernicano fue modificado reemplazando por órbitas elípticas el conjunto de epiciclos de Copérnico y por datos telescópicos los obtenidos a simple vista. También se llegó a modificar las condiciones iniciales, con cambio en la estimación de la distancia entre las estrellas y la Tierra y con la adición de nuevos planetas. Lakatos hizo uso libre del término "heurístico" para caracterizar los programas de investigación. Por ejemplo, parte de la heurística necesaria para resolver crucigramas sería "comienza por las pistas que requieren palabras cortas como respuesta y después por aquellas para las que la palabra de respuesta es larga". Lakatos dividió las líneas maestras del trabajo dentro de un programa de investigación en heurística negativa y heurística positiva. La heurística negativa especifica lo que se aconseja no hacer al científico. Como ya hemos visto, a los científicos se les sugiere no jugar con el núcleo central del programa en el que trabajan. Cualquier científico que modifique el núcleo central habrá decidido, de hecho, salirse del programa. Tycho Brahe se apartó del programa copernicano al proponer que todos los planetas excepto la Tierra giran alrededor del Sol y que el Sol gira alrededor de la Tierra.

La heurística positiva de un programa, la que indica a los científicos qué deben hacer, no lo que no deben, es más difícil de caracterizar

específicamente que la heurística negativa. La heurística positiva sirve de guía de cómo se debe complementar el núcleo central y de cómo debe modificarse el cinturón protector resultante para que un programa sea capaz de explicar y predecir los fenómenos observables. En palabras del propio Lakatos (1970, p. 135), “la heurística positiva consiste en un conjunto parcialmente articulado de sugerencias o indicaciones sobre cómo cambiar y desarrollar las “variantes refutables” del programa de investigación, cómo modificar, refinar el cinturón protector “refutable””. El desarrollo de un programa no sólo supondrá la adición de las oportunas hipótesis auxiliares, sino también el desarrollo de las técnicas matemáticas y experimentales idóneas. Por ejemplo, desde los mismos comienzos del programa copernicano, resultó evidente que eran necesarias técnicas matemáticas para combinar y manipular los epiciclos y también mejores técnicas de observación de las posiciones planetarias. Lakatos puso como ejemplo de la noción de heurística positiva la historia del desarrollo inicial, por parte de Newton, de su teoría gravitatoria. En este caso, la heurística positiva implicaba la idea de que se debe empezar por casos sencillos, ideales, para, una vez dominados, proceder al estudio de casos más complicados y realistas. Newton llegó en primer lugar a la ley de la atracción de los cuadrados inversos considerando el movimiento elíptico de un punto-planeta alrededor de un punto-sol inmóvil. Era evidente que, si se había de aplicar en la práctica el programa al movimiento planetario, sería necesario transformar este modelo idealizado en otro más realista. Pero este desarrollo suponía una solución de los problemas teóricos que no se iba a lograr sin un considerable trabajo teórico. El propio Newton, enfrentado con un programa definido, esto es, guiado por una heurística positiva, hizo notables progresos. En primer lugar, tuvo en cuenta el hecho de que tanto el Sol como un planeta se mueven bajo el influjo de su atracción mutua. Después tuvo en cuenta el tamaño finito de los planetas y los trató como si fueran esferas. Una vez resuelto el problema matemático que planteaba este movimiento, Newton procedió a considerar otras complicaciones, tales como las introducidas por la posibilidad de que un planeta pueda girar, y el hecho de que existan fuerzas gravitatorias entre los planetas así como entre cada planeta y el Sol. Cuando Newton hubo llegado a este punto del programa, siguiendo el camino que le había parecido más o menos necesario desde el comienzo, empezó a ocuparse de la correspondencia

entre su teoría y la observación. Cuando vio que la correspondencia no cuadraba, lo que hizo fue pasar a planetas no esféricos, etc. Además de un programa teórico, la heurística positiva contenía otro experimental. Dicho programa incluía el desarrollo de telescopios más precisos, junto con las teorías necesarias para su utilización en astronomía, tales como aquellas que proporcionan los medios adecuados para tener en cuenta la refracción de la luz en la atmósfera terrestre. La formulación inicial del programa de Newton también conllevaba la conveniencia de construir aparatos lo suficientemente sensibles como para detectar la atracción gravitatoria a escala de laboratorio (experimento de Cavendish).

El programa que tenía en su núcleo las leyes del movimiento de Newton y su ley de gravitación proporcionó una sólida guía heurística, esto es, desde el comienzo se había dibujado un programa bastante definido. Lakatos (1970, pp. 140-55) da cuenta del desarrollo de la teoría de Bohr del átomo como otro ejemplo de la heurística positiva en acción. Una característica importante de estos ejemplos del desarrollo de los programas de investigación lo constituye la etapa comparativamente tardía en que resultan oportunas las comprobaciones observacionales. Este hecho está de acuerdo con mis comentarios de la sección primera del capítulo 8 sobre la construcción por parte de Galileo de la mecánica. Los primeros trabajos de un programa se realizan sin prestar atención a las aparentes falsaciones que aparecen en la observación, o a pesar de ellas. Hay que dar una oportunidad al programa de investigación para que haga efectivo todo su potencial. Hay que construir un cinturón protector adecuado y convenientemente sofisticado. En el ejemplo de la revolución copernicana, este cinturón incluía el desarrollo de una mecánica adecuada capaz de incorporar el movimiento de la Tierra y de una óptica adecuada que ayudara a interpretar los datos del telescopio. Cuando se ha desarrollado un programa hasta un punto en que es conveniente someterlo a pruebas observacionales, según Lakatos son las confirmaciones y no las falsaciones las que tienen capital importancia. El valor de un programa de investigación viene indicado por la medida en que conduce a predicciones nuevas que son confirmadas. El programa newtoniano conoció confirmaciones espectaculares de este tipo cuando Galileo observó por primera vez el planeta Neptuno y cuando el cometa Halley regresó según se había predicho. Las predicciones fallidas, tales como los primeros

cálculos de Newton de la órbita de la Luna, indican sencillamente que se requiere más trabajo para complementar o modificar el cinturón protector.

La principal señal del mérito de un programa de investigación es la medida en que es capaz de conducir a predicciones nuevas que resultan confirmadas. Una segunda señal, implícita en nuestra discusión anterior, es que un programa de investigación debe ser en verdad un *programa*. La heurística positiva debe ser lo bastante coherente para guiar la investigación futura diseñando un programa. Lakatos pone como ejemplos de programas que cumplen el segundo requisito, pero no el primero, al marxismo y a la psicología freudiana, y de programa que cumple el primero basta cierto punto, pero no el segundo, a la sociología contemporánea (aunque no sustanció en detalle estas consideraciones). En todo caso, un programa de investigación *progresivo* será uno que mantenga su coherencia y que conduzca, al menos intermitentemente, a nuevas predicciones que resulten confirmadas, mientras que un programa *degenerativo* será el que pierda su coherencia y/o fracase en llevar a nuevas predicciones confirmadas. La substitución de un programa degenerativo por otro progresivo constituye la versión de Lakatos de revolución científica.

LA METODOLOGÍA DENTRO DE UN PROGRAMA Y LA COMPARACIÓN DE LOS PROGRAMAS

Debemos ahora discutir la metodología de Lakatos de los programas científicos de investigación en los siguientes contextos: dentro del trabajo de un programa y en el choque entre un programa de investigación y otro. El trabajo que se realiza dentro de un solo programa de investigación supone la expansión y modificación de su cinturón protector añadiendo y articulando diversas hipótesis. Se puede permitir cualquier maniobra mientras no sea *al hoc*, en el sentido analizado en el capítulo 6. Las modificaciones o adiciones al cinturón protector de un programa de investigación deben ser comprobables de forma independiente. Los científicos o grupos de científicos pueden desarrollar el cinturón protector de la manera que deseen, siempre que sus maniobras ofrezcan la oportunidad de hacer nuevas comprobaciones

y, por tanto, la posibilidad de realizar nuevos descubrimientos. Como ejemplo tomemos el caso del desarrollo de la teoría de Newton que hemos considerado ya varias veces y examinemos la situación que enfrentaron Leverrier y Adams cuando se dedicaron a estudiar la problemática órbita del planeta Urano. Aquellos científicos optaron por modificar el cinturón protector del programa aduciendo que las condiciones iniciales eran insuficientes y sugiriendo que existía un planeta, todavía no identificado, próximo a Urano y que distorsionaba su órbita. Su propuesta estaba de acuerdo con la metodología de Lakatos porque era comprobable. Se podía buscar el planeta conjeturado dirigiendo telescopios hacia la región apropiada del cielo. Pero serían lícitas otras respuestas posibles, de acuerdo con la posición de Lakatos. Por ejemplo, podría haberse achacado la problemática órbita a algún nuevo tipo de aberración del telescopio, siempre que esta sugerencia se hiciera de modo que fuera posible comprobar la existencia de la nueva aberración. En cierto sentido, cuantas más propuestas comprobables se hagan para resolver el problema, tanto mejor, porque así aumentan las oportunidades de éxito (donde éxito significa la confirmación de la nueva predicción que resulte de la propuesta). La metodología de Lakatos excluye las propuestas *ad hoc*. Así, en nuestro ejemplo, quedaría excluido el intento de encajar la problemática órbita de Urano por el simple expediente de denominar esa órbita compleja como el movimiento natural de Urano. No se abre a nuevas pruebas y no ofrece, por ende, la expectativa de nuevos descubrimientos.

Un segundo tipo de maniobra prohibido por la metodología de Lakatos es el que va en contra del núcleo central. Una propuesta de este tipo destruye la coherencia de un programa y equivale a salirse de él. Un científico que tratara de hacer frente a la órbita de Urano proponiendo que la fuerza entre Urano y el Sol obedece a alguna ley distinta de la del inverso de los cuadrados estaría saliéndose del programa de investigación newtoniano.

El hecho de que cualquier parte del complejo laberinto teórico pueda ser responsable de una aparente falsación plantea un serio problema al falsacionista, que confía en un método general de conjeturas y refutaciones. Para él, la incapacidad de localizar la fuente del problema da como resultado un caos ametódico. La metodología de Lakatos está diseñada para evitar esa consecuencia. Se mantiene el orden

gracias a la inviolabilidad del núcleo central de un programa y a la heurística positiva que le acompaña. La proliferación de conjeturas ingeniosas dentro de ese marco le llevará a progresar, siempre que algunas de las predicciones resultantes de las conjeturas ingeniosas tengan éxito de vez en cuando. Los resultados de las comprobaciones experimentales son los que determinan de modo muy sencillo las decisiones de mantener o rechazar una hipótesis. La relación de la observación con una hipótesis que se está comprobando es relativamente poco problemática dentro de un programa de investigación, debido a que el núcleo central y la heurística positiva sirven para definir un lenguaje observacional bastante estable.

Como se mencionó anteriormente, la versión de Lakatos de una revolución kuhniana implica la sustitución de un programa de investigación por otro. Hemos visto que Kuhn (1970, p. 94) fue incapaz de dar una respuesta clara a la pregunta sobre el sentido en que se puede decir que un paradigma es superior a otro al cual reemplaza, y no le quedó otra opción que apelar a la autoridad de la comunidad científica. Los paradigmas posteriores son superiores a sus predecesores porque la comunidad científica lo considera así, y “no hay norma más alta que la aceptación por la comunidad relevante”. Lakatos no estaba satisfecho con las implicaciones relativistas de la teoría de Kuhn, y buscó una norma que quedara fuera de los paradigmas particulares o, en el caso de Lakatos, programas de investigación que pudieran usarse para identificar algún sentido no relativista para el progreso de la ciencia. En la medida en que llegó a tener tal norma, ésta radicaba en sus conceptos de programas de investigación progresivos y degenerativos. El progreso implica la sustitución de un programa degenerativo por uno progresivo, siendo este último una mejora sobre el primero en el sentido de que ha demostrado predecir de modo más eficiente nuevos fenómenos.

NUEVAS PREDICCIONES

La medida no relativista del progreso que Lakatos proponía se basaba fuertemente en la noción de nueva predicción. Un programa es superior a otros en cuanto que pueda predecir con más éxito un fenómeno

nuevo. Tal y como Lakatos llegó a notar, la noción de una predicción nueva no es tan simple como pudiera parecer a primera vista, y es preciso cuidado para moldear dicha noción en una forma que sirva al propósito requerido dentro de la metodología de Lakatos o, en rigor, de cualquier metodología que pretenda hacer uso significativo de ella.

Nos hemos encontrado ya con nuevas predicciones en el contexto de la metodología de Popper. Yo sugerí, en dicho contexto, que la esencia de la posición de Popper es que una predicción es nueva, en un momento particular, en la medida en que no figura dentro del conocimiento familiar y aceptado generalmente en ese tiempo, o que incluso choca con él. Para Popper, probar una teoría por el camino de sus nuevas predicciones suponía un ensayo severo, precisamente porque la predicción chocaba con las expectativas predominantes. El uso que hace Lakatos de las nuevas predicciones, en un sentido, parecido al popperiano, de ayuda para caracterizar la progresividad de un programa de investigación, no cumple su objetivo; él mismo llegó a percatarse de ello, y así se puede establecer por medio de contraejemplos bastante simples, ejemplos sacados de los programas mismos que Lakatos utilizó libremente para ilustrar su posición. Los contraejemplos comprenden situaciones en las que el valor de un programa de investigación se demuestra por su capacidad de explicar fenómenos que ya estaban bien establecidos y eran familiares, y por tanto no nuevos en el sentido popperiano.

Algunas características del movimiento planetario han sido bien conocidas desde la Antigüedad, pero fueron explicadas adecuadamente sólo con la aparición de la teoría copernicana; incluyen el movimiento de retrogradación de los planetas y el hecho de que los planetas aparecen con su brillo máximo cuando están retrogradando, así como el hecho de que Venus y Mercurio no aparecen nunca lejos del Sol. Las características cualitativas de estos fenómenos se siguen directamente tan pronto como se ha supuesto que la Tierra gira alrededor del Sol junto con los planetas y que las órbitas de Mercurio y Venus son interiores a la de la Tierra, mientras que en la teoría tolemaica sólo se pueden explicar introduciendo epiciclos diseñados especialmente con ese objeto. Lakatos se adhirió a Copérnico, como la mayoría de nosotros, supongo, reconociendo en esto una señal importante de la superioridad del sistema copernicano sobre el tolemaico. Sin embargo, la predicción copernicana de las características generales

del movimiento planetario no eran nuevas en el sentido que hemos definido, por la sencilla razón de que estos fenómenos eran bien conocidos desde la Antigüedad. La observación de la paralaje en las estrellas fue probablemente la confirmación primera de la teoría copernicana por medio de una predicción nueva en el sentido que estamos discutiendo, pero esto no sirve en absoluto al propósito de Lakatos, pues no ocurrió sino bien entrado el siglo XIX, mucho después de que la superioridad de Copérnico sobre Tolomeo hubiera sido aceptada por la ciencia.

Es fácil encontrar otros ejemplos. Una de las pocas observaciones que se podían invocar en apoyo de la teoría general de la relatividad de Einstein era la precesión del perihelio de la órbita del planeta Mercurio, un fenómeno muy conocido y que había sido aceptado mucho antes de que lo explicara la teoría de Einstein. Una de las características más impresionantes de la mecánica cuántica fue su capacidad de explicar los espectros producidos por la luz emitida desde gases, un fenómeno familiar a los experimentadores durante más de medio siglo antes de que estuviera disponible la explicación de la mecánica cuántica. Se puede decir que estos fenómenos implican una predicción nueva de fenómenos más que la predicción de nuevos fenómenos.

En vista de las consideraciones presentadas por E. Zahar (1973), Lakatos llegó a darse cuenta de que debía modificarse el concepto de nuevas predicciones en la formulación original de la metodología de los programas científicos de investigación. Después de todo, a la hora de valorar la medida en que algunos fenómenos observables soportan una teoría o programa, con seguridad es un hecho contingente históricamente y sin ninguna relevancia filosófica saber qué viene primero, si la teoría o el conocimiento de los fenómenos. La teoría de la relatividad de Einstein puede explicar la órbita de Mercurio y también la curvatura de los rayos de luz en un campo gravitacional. Ambos son logros considerables en apoyo de la teoría. Sucede que la precesión del perihelio de Mercurio era conocida antes de la formulación por Einstein de su teoría, mientras que la curvatura de los rayos de luz fue descubierta después. Pero ¿habría sido distinto, en cuanto a nuestro conocimiento de la teoría de Einstein, si hubiera sucedido al revés, o si ambos fenómenos hubieran sido descubiertos antes o después. Todavía se debate sobre los detalles sutiles de la respuesta apropiada a estas reflexiones, por ejemplo por Alan Musgrave (1974b) y John Worrall

(1985 y 1989a), pero parece bastante sencillo lo que es preciso intuir y que funciona en la comparación entre Copérnico y Tolomeo. La explicación tolemaica del movimiento de retrogradación no constituía un apoyo significativo para aquel programa porque fue arreglada artificialmente para que se ajustara a los datos observables, añadiendo epiciclos diseñados especialmente con ese propósito. En contraste con esto, los fenómenos observables se seguían de modo natural de la teoría copernicana, sin ninguna necesidad de ajustes artificiales. Las predicciones que cuentan en una teoría o programa son aquellas que son naturales, no las forzadas. Lo que está aquí detrás de la intuición es quizás la idea de que la evidencia soporta una teoría si, sin la teoría, existen coincidencias inexplicadas contenidas en la evidencia. ¿Cómo podría la teoría copernicana predecir con éxito todas las características generales observables del movimiento planetario de no ser esencialmente correcta? El mismo argumento no funciona en el caso de la explicación tolemaica del fenómeno. Siendo la teoría tolemaica totalmente errónea, no es coincidencia que pueda explicar los fenómenos añadiendo epiciclos como modo de conseguirlo. De esta manera trata el asunto Worrall (1985,1989).

En vista de esto, deberíamos reformular la metodología de Lakatos de manera que un programa sea progresivo en la medida en que hace predicciones naturales que resultan confirmadas, en oposición a las nuevas, donde "natural" se opone a "forzado" o "ad hoc". (Volveremos a mirar este asunto desde un ángulo diferente, y quizá superior, en el capítulo 13.)

PRUEBA DE LA METODOLOGÍA FRENTE A LA HISTORIA

Lakatos compartió con Kuhn su preocupación sobre la historia de la ciencia. Pensaba que era deseable que toda teoría de la ciencia fuera capaz de encontrar un sentido a la historia de la ciencia, esto es, que en un cierto sentido, se ha de comprobar una metodología o filosofía de la ciencia en la historia de la ciencia. No obstante, se necesita especificar cuidadosamente el camino; Lakatos era plenamente consciente de esto. Si se interpreta de forma indiscriminada la necesidad de que la filosofía de la ciencia se corresponda con su historia, una buena filosofía

de la ciencia no será nada más que una descripción precisa de la ciencia, y en cuanto tal, no estará en posición de captar sus características esenciales ni de discriminar entre la buena ciencia y la mala. Popper y Lakatos tendían a considerar la concepción de Kuhn como "meramente" descriptiva en este sentido, y por ende deficiente. Popper estaba tan preocupado por el problema que, a diferencia con Lakatos, negó que la comparación con la historia de la ciencia fuera un modo lícito de defender la filosofía de la ciencia.

Yo sugiero que lo esencial de la posición de Lakatos, tal como fue descrita en su texto de 1978, es lo siguiente. En la historia de la ciencia se dan episodios progresivos indiscutibles, y se pueden reconocer como tales previamente a toda filosofía de la ciencia. Si alguien pretendiera negar que la física de Galileo supone un avance respecto de la de Aristóteles, o que la de Einstein supera a la de Newton, es porque no estaría usando la palabra ciencia en el mismo sentido que el resto de nosotros. Hemos de tener alguna noción preteórica de la ciencia antes de formular la pregunta de cuál es la mejor manera de categorizarla, y esta noción preteórica debe incluir la capacidad de reconocer los ejemplos clásicos de los principales logros científicos, tales como los de Galileo y Einstein. Con estos supuestos como trasfondo, podemos exigir que cualquier metodología o filosofía de la ciencia sea compatible con ellos. Es decir, toda filosofía de la ciencia debe ser capaz de aprehender el sentido en el que los logros de Galileo en astronomía y física fueron avances importantes en lo esencial. De modo que si la historia de la ciencia revela que Galileo transformó con su astronomía lo que se consideraba que eran los hechos observables, y confió para su mecánica más en experimentos pensados que en los reales, esto presenta un problema a aquellas filosofías que pintan el progreso científico como un progreso acumulativo realizado por la vía de la acumulación de hechos observacionales y generalizaciones cuidadosas hechas a partir de ellos. Se puede criticar, como hice en la sección anterior, la versión primera de Lakatos de su metodología de los programas de investigación, sobre la base de que utiliza una noción de predicción nueva que hace imposible aprehender el sentido en el que la astronomía de Copérnico era progresiva.

Lakatos critica las metodologías positivista y falsacionista con este tipo de argumentos, basándose en que no consiguen dar sentido a los episodios clásicos de progreso de la ciencia, y alega en contraposición

que su propia concepción no adolece de la misma deficiencia. Dirigiéndose a episodios menos importantes de la historia de la ciencia, Lakatos, o un seguidor suyo, escogen sucesos de la historia de la ciencia que han dejado perplejos a historiadores y filósofos y muestran cómo tienen sentido desde el punto de vista de la metodología de los programas científicos de investigación. Así por ejemplo, ha habido muchos que encontraron enigmático el hecho de que Thomas Young encontrara pocos partidarios cuando propuso la teoría ondulatoria de la luz a comienzos del siglo XIX, mientras que la versión de Fresnel, ideada dos décadas después, ganó una amplia aceptación. John Worrall (1976) proporciona apoyo histórico a la posición de Lakatos al mostrar que, como hecho histórico, la teoría de Young no fue confirmada sólidamente por experimentos de manera natural, en el sentido opuesto al de forzada, como lo fue la de Fresnel, y que la versión de la teoría ondulatoria de Fresnel comprendía una heurística positiva muy superior, en virtud de las herramientas matemáticas que fue capaz de introducir. Un número de estudiantes de Lakatos, o que lo habían sido antes, llevaron a cabo estudios, que aparecieron en Howson (1976), tendentes a apoyar de esta manera la metodología de Lakatos.

Lakatos llegó a ver en la ayuda que presta a la historia de la ciencia la principal virtud de su metodología. El historiador debe intentar identificar los programas de investigación, caracterizar sus núcleos centrales y sus cinturones protectores, y documentar la manera como progresaron o degeneraron. De este modo, mediante la competencia entre programas, se puede iluminar el camino de cómo progresa la ciencia. Creo que se le debe reconocer a Lakatos y a sus seguidores el éxito que tuvieron en esclarecer algunos episodios clásicos de la historia de las ciencias físicas con estudios de este tipo, como revelan los ensayos en Howson (1976). Si bien la metodología de Lakatos puede proporcionar sugerencias a los historiadores de la ciencia, no era intención de Lakatos el que fueran una fuente de consejos para los científicos. Esto llegó a ser una conclusión inevitable de Lakatos, dada la manera en que le pareció necesario modificar el falsacionismo para superar los problemas que enfrentaba. No se debe desechar teorías frente a falsaciones aparentes, porque la culpa podría en cierto momento atribuirse a otro origen, y no a la teoría, y porque éxitos aislados no establecen para siempre el mérito de una teoría. Esta es la razón por la cual Lakatos introdujo los programas de investigación, que necesitan

tiempo para desarrollarse y que pueden tanto progresar después de un periodo degenerativo como degenerar después de éxitos iniciales. (Vale la pena recordar, en relación con esto, que la teoría copernicana degeneró durante aproximadamente un siglo después de sus primeros éxitos, antes de que personalidades como Galileo y Kepler las volvieran de nuevo a la vida.) Pero dado este paso, está claro que la metodología de Lakatos no puede dar consejo inmediato sobre cuándo debe abandonar un científico un programa particular de investigación, o preferir un programa particular de investigación antes que otro. No es irracional, o necesariamente equivocado, el que un científico siga trabajando dentro de un programa degenerativo, si cree que hay modos posibles de revivirlo. Sólo a largo plazo (es decir, desde una perspectiva histórica) se puede usar la metodología de Lakatos para comparar significativamente programas de investigación. En relación con esto, Lakatos llegó a hacer distinción entre la valoración de un programa de investigación, que sólo puede hacerse con perspectiva histórica, y el consejo a los científicos, y negó que ofrecer éste fuera el propósito de su metodología. "No existe la racionalidad instantánea en ciencia" se convirtió en uno de los lemas de Lakatos; así captó el sentido en el que él consideraba que el positivismo y el falsacionismo aspiraban a demasiado, en cuanto que pudiera pensarse que ofrecen criterios útiles para la aceptación o rechazo de teorías.

PROBLEMAS QUE PRESENTA LA METODOLOGÍA DE LAKATOS

Como hemos visto, Lakatos consideró que era apropiado comprobar las metodologías con la historia de la ciencia. Es por tanto lícito, incluso dentro de sus propios términos, suscitar la cuestión de si su metodología es adecuada descriptivamente. Hay razones para dudar de que sea así. Por ejemplo, ¿sirven conceptos tales como el de "núcleo central" para identificar los programas de investigación que se puedan encontrar en la historia de la ciencia? Evidencia en contrario surge de la medida en que los científicos tratan a veces de resolver problemas ajustando los fundamentos de las teorías o programas con los que trabajan. El propio Copérnico, por ejemplo, desplazó un poco el Sol hacia los centros de las órbitas planetarias, hizo girar la Luna alrededor

de la Tierra y no del Sol, y llegó a emplear toda clase de artificios con el fin de ajustar los detalles del movimiento epicíclico hasta el punto en que dejaban de ser uniformes. Por lo tanto, ¿cuál era exactamente el núcleo central del programa de Copérnico? En el siglo XIX hubo intentos serios por resolver problemas del tipo del movimiento del planeta Mercurio modificando la ley de atracción del inverso de los cuadrados. Se pueden encontrar en la historia violaciones de algunos de los ejemplos selectos de Lakatos.

Un problema más hondo es el concerniente a si son o no reales las decisiones metodológicas que tienen un papel tan importante en la concepción de Lakatos de la ciencia. Por ejemplo, como hemos visto, según Lakatos (1970, p. 133) el núcleo central de un programa se vuelve infalsable por "las decisiones metodológicas de sus protagonistas". ¿Son estas decisiones una realidad histórica o una ficción de la imaginación de Lakatos? Lakatos no da en realidad ninguna prueba de la respuesta que necesita, y no está claro qué clase de estudio proporcionaría dicha prueba. El tema es vital para Lakatos, pues las decisiones metodológicas son el centro de la distinción entre su propia posición y la de Kuhn. Tanto Kuhn como Lakatos están de acuerdo en que los científicos trabajan de manera coordinada dentro de un entramado. Para Kuhn, en una de sus formas al menos, el análisis sociológico es el que tiene que revelar cómo y por qué lo hacen así. Esto conduce a un relativismo inaceptable para Lakatos. De modo que, según él, la cohesión se consigue mediante decisiones metodológicas racionales. Lakatos no da una respuesta al reproche de que estas decisiones no tienen ninguna realidad histórica (ni contemporánea), ni da una respuesta clara a la cuestión del sentido en que se debieran considerar racionales.

Otra crítica fundamental a Lakatos está directamente relacionada con el tema central de este libro, y es qué es, si es que hay algo, lo característico del conocimiento científico. Al menos la retórica de Lakatos sugiere que su metodología trataba de dar una respuesta definitiva a la pregunta. Afirmó que el "problema central de la filosofía de la ciencia es el de enunciar las condiciones universales bajo las cuales una teoría es científica", un problema que está "estrechamente ligado al problema de la racionalidad de la ciencia" y cuya solución "debería servirnos de guía en cuanto a la aceptación de si una teoría científica es racional o no" (Worrall y Currie, 1978a, pp. 168-9, cursivas en el

original). Lakatos (1970, p. 176) retrata su metodología como una solución a estos problemas que "nos ayudaría a idear leyes para detener... la contaminación intelectual". "Doy [habla Lakatos] criterios de progresión y estancamiento dentro de un programa y también reglas para la 'eliminación' de programas de investigación enteros" (Worrall y Currie, 1978a, p. 112). Queda claro a partir de los detalles de la posición de Lakatos, y de sus propios comentarios a estos detalles, que la metodología de Lakatos no fue capaz de estar a la altura de estas expectativas. No dio reglas para la eliminación de programas enteros de investigación, porque es racional aferrarse a un programa degenerativo en la esperanza de que podrá regresar. Y si fue científico aferrarse a la teoría copernicana durante el siglo que le llevó producir frutos significativos, ¿por qué no serían científicos los marxistas (uno de los blancos preferidos de Lakatos) al intentar desarrollar el materialismo histórico basta el punto en que produzca frutos significativos? Lakatos concedió en efecto que su metodología no estaba en posición de diagnosticar que una teoría contemporánea sea "contaminación intelectual" no científica, toda vez que había reconocido y admitido, en el contexto de la ciencia física, que su metodología sólo podía hacer juicios retrospectivos, con la ayuda de la perspectiva histórica posterior. Si no hay "racionalidad instantánea", no puede haber tampoco un rechazo inmediato del marxismo, la sociología o cualquiera de las otras *bêtes noires* de Lakatos.

Otro problema básico en la metodología de Lakatos tiene su origen en la manera en que creyó necesario apoyarla en estudios de la historia de la ciencia. Lakatos y sus seguidores hicieron la defensa necesaria mediante el estudio de casos de las ciencias físicas a lo largo de los últimos trescientos años. Pero si la metodología apoyada de esta manera se usa entonces para juzgar otras áreas, tales como el marxismo o la astrología, lo que se está en efecto suponiendo, sin argumentación alguna, es que todas las áreas de estudio deben compartir las características de la física, si es que han de ser consideradas científicas. Paul Feyerabend (1976) ha hecho esta crítica a Lakatos. El procedimiento de Lakatos suscita ciertamente una pregunta importante y fundamental, y basta con enunciarla explícitamente para que se revele un problema. Hay por lo menos un número de razones *prima facie* por las cuales podría esperarse que la metodología y conjunto de normas usadas para juzgar la física no sean apropiadas en otras áreas. La

física puede, y a menudo lo hace así, proceder aislando mecanismos individuales -- gravedad, fuerzas electromagnéticas, los mecanismos que actúan al colidir partículas elementales, etc.-- en las circunstancias artificiales de un experimento controlado. No se pueden hacer ensayos de esta manera con la gente y las sociedades, sin destruir lo que se está investigando. Los sistemas vivos necesitan de una gran complejidad para funcionar, de modo que se puede esperar que incluso la biología exhiba diferencias importantes con la física. En las ciencias sociales, el conocimiento que se produce forma él mismo un componente importante de los sistemas en estudio. Así, por ejemplo, las teorías económicas pueden tener efecto en la forma como los individuos operan en el mercado, de modo que un cambio en la teoría puede producir un cambio en el sistema económico que se está estudiando. Ésta es una complicación que no sucede en las ciencias físicas. Los planetas no modifican su movimiento a la luz de nuestras teorías sobre ellos. Cualquiera que sea la fuerza de los argumentos que se puedan desarrollar a partir de reflexiones como éstas, sigue siendo verdad que Lakatos presupone, sin razones que lo avalen, que todo conocimiento científico tiene que ser, en un sentido fundamental, como la física de los últimos trescientos años.

Otro tema fundamental aparece a la luz cuando consideramos las implicaciones de un estudio de Lakatos (1976a), publicado póstumamente en "El efecto de Newton en las normas científicas". En ese estudio, Lakatos defiende que Newton produjo en la práctica un cambio en las normas científicas, cambio que Lakatos considera claramente progresivo. Pero el hecho de que haga esta defensa no descansa fácilmente en la suposición, que hace repetidamente en otros lugares, de que la valoración de la ciencia debe hacerse con respecto de algún criterio universal. Si es verdad que Newton modificó las normas científicas para mejorarlas, entonces podría preguntarse, ¿con respecto de qué normas era progresivo el cambio? Tenemos aquí un problema similar al que confrontó Kuhn. Es éste un problema que tendremos que enfrentar más tarde en este libro, y quizás resolver.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

El texto central para la metodología de Lakatos es su escrito de 1970, "Falsification and the methodology of scientific research programmes". La mayoría de los otros artículos clave han sido recogidos en Worrall y Currie (1978a y 1978b). Es también importante Lakatos (1968), *The problem of inductive logic*, y (1971) "Replies to critics". Un recuento fascinante de la aplicación que hace Lakatos de sus ideas en las matemáticas es su *Proofs and refutations* (1976b). Howson (1976) contiene estudios de casos históricos diseñados para apoyar la posición de Lakatos. Otro estudio similar es Lakatos y Zahar (1975). Cohen, Feyerabend y Wartofsky (1976) es una colección de ensayos en memoria de Lakatos. Feyerabend (1976) es una importante crítica de la metodología de Lakatos. La noción de predicción nueva es discutida por Musgrave (1974b), Worrall (1985), Worrall (1989a) y Mayo (1996). Un panorama útil de la obra de Lakatos es B. Larvor (1998), *Lakatos: An introduction*.

10. LA TEORÍA ANARQUISTA DE LA CIENCIA DE FEYERABEND

RECAPITULACIÓN

Parece que hemos tenido problemas en nuestra búsqueda de *la* caracterización de la ciencia que sirva para seleccionar qué la distingue de otros tipos de conocimiento. Comenzamos con la idea, adoptada de los positivistas, tan influyentes antes en este siglo, de que la ciencia es especial porque se deriva de los hechos. Sin embargo, este intento se desmoronó porque los hechos no son lo bastante directos para que se pueda sostener esta opinión, dado que “dependen de la teoría” y son falibles, y dado también que no se pudo encontrar una explicación clara de cómo las teorías “se derivan” de los hechos. Al falsacionismo no le iba mucho mejor, principalmente porque, en toda situación realista de la ciencia, no es posible localizar la causa de una predicción errónea, de modo que una visión clara de cómo se pueden falsar las teorías es casi tan difícil de encontrar como la manera de confirmarlas. Tanto Kuhn como Lakatos trataron de resolver el problema fijando la atención en el armazón teórico con que trabajan los científicos. Sin embargo, Kuhn, por su parte, acentuó de tal manera la medida en que los que laboran con paradigmas rivales “viven en mundos diferentes”, que se quedó sin los recursos necesarios para elucidar el sentido en el que pueda suponer un paso adelante el cambio de un paradigma a otro en el curso de una revolución científica. Lakatos intentó evitar la trampa, pero, dejando de lado los problemas relativos a la realidad de las decisiones metodológicas que invocaba libremente en su respuesta, llegó a un criterio para caracterizar la ciencia tan laxo que pocas empresas intelectuales podían ser excluidas. Un filósofo de la ciencia que no se sorprendió de estos fallos, y que intentó extraer todas las implicaciones que creyó ver en ellos, fue Paul Feyerabend, cuya concepción “anarquista” de la ciencia, polémica y sin embargo influyente, es la descrita y valorada en este capítulo.

ARGUMENTACIÓN DE FEYERABEND CONTRA EL MÉTODO

Paul Feyerabend, un austríaco que se asentó en Berkeley, California, durante la mayor parte de su carrera académica, pero que también pasó algún tiempo en Londres intercambiando ideas (y enemistándose) con Popper y Lakatos, publicó en 1975 un libro titulado *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge*. En él recusa todos los intentos de exponer un método científico capaz de captar su condición de especial, argumentando que no existe tal método y que, en realidad, la ciencia no posee ninguna característica que la haga necesariamente superior a otras formas de conocimiento. Feyerabend llegó a afirmar que, si existe un solo principio, inmutable, del método científico, éste es el de "todo vale". Existen pasajes en los escritos de Feyerabend, tanto tempranos como tardíos, a los que se puede aludir para limitar fuertemente la concepción anarquista extrema del grueso de *Against method*. No obstante, será instructivo para nuestro propósito que nos ajustemos a la teoría anarquista, sin matizaciones, de la ciencia para ver qué podemos aprender de ella. En todo caso, es la forma extrema de la posición de Feyerabend la que ha dejado su marca en la literatura y a la que han intentado oponerse, no sin dificultades, los filósofos de la ciencia.

La principal línea argumental de Feyerabend intenta minar las ideas de método y progreso presentadas por los filósofos como características de la ciencia, retándolas en su propio terreno de la siguiente manera. Toma los ejemplos de cambio científico que sus oponentes (que comprenden la inmensa mayoría de los filósofos) consideran como instancias clásicas del progreso científico y muestra que, en cuanto hechos históricos, estos cambios no se ajustan a las teorías de la ciencia propuestas por dichos filósofos. (Feyerabend no tiene por qué él mismo concordar con que los episodios en cuestión le sirvieran para imponer sus argumentos.) El principal ejemplo a que recurre comprende los adelantos en física y astronomía llevados a cabo por Galileo. Feyerabend alega que no es gran cosa como idea de la ciencia una concepción de su método y su progreso que no pueda explicar ni siquiera las innovaciones de Galileo. En este bosquejo de la posición de Feyerabend me limitaré en gran parte al ejemplo de Galileo, principalmente porque es suficiente para ilustrar la posición de aquél, pero

también porque el ejemplo se entiende fácilmente sin tener que recurrir a tecnicismos recónditos.

Algunos de los alegatos de Feyerabend son ya conocidos, puesto que he aludido a ellos, con fines diversos, previamente en este libro.

Las citas mencionadas en el capítulo 1 de este libro ilustran las opiniones positivista e inductivista que dicen que las innovaciones de Galileo pueden ser explicadas en términos de la seriedad con que tomó los hechos observables y ajustó sus teorías para adaptarse a ellos. El pasaje siguiente, tomado del *Dialogue concerning the two chief world systems* (1967) y citado por Feyerabend (1975, pp. 100-101), indica que Galileo pensaba de otra manera.

Os asombráis de que haya tan pocos seguidores de la opinión pitagórica [que la Tierra se mueve] cuando yo me sorprendo de que haya habido alguno hasta este día que la haya creído y seguido. Tampoco puedo admirar suficientemente la extraordinaria perspicacia de aquellos que han comprendido esta opinión y la han dado por verdadera: han violentado, por pura fuerza del intelecto, de tal manera sus sentidos, que han preferido lo que la razón les decía a lo que la experiencia sensible les mostraba claramente en contrario. Pues ya hemos observado que los argumentos en contra de que la Tierra dé vueltas son muy plausibles, como hemos visto: y el hecho de que tolemaicos y aristotélicos, y todos sus discípulos, los creyeran concluyentes es, en verdad, un fuerte argumento en favor de su eficacia. Pero las experiencias que contradicen abiertamente el movimiento anual son en realidad, tan superiores en su fuerza aparente que, repito, no hay límites a mi asombro cuando pienso que Aristarco y Copérnico fueran capaces de hacer que la razón conquistara los sentidos de tal manera que, desafiando la última, la primera se hiciera la dueña de su creencia.

Lejos de aceptar los hechos que sus contemporáneos daban por demostrados, Galileo necesitó (1967, p. 328) conquistar los sentidos con la razón, e incluso reemplazar los sentidos por un "sentido superior y mejor", el telescopio. Veamos ahora dos instancias en las que Galileo necesitó "conquistar" la evidencia de los sentidos: su rechazo a la afirmación de que la Tierra es estacionaria y su rechazo a la afirmación de que los tamaños aparentes de Venus y Marte no cambian apreciablemente en el transcurso del año.

Si se arroja una piedra desde lo alto de una torre, cae a la base de la torre. Esta, y otras experiencias similares, pueden tomarse como pruebas

de que la Tierra es estacionaria. Pues si la Tierra se mueve girando alrededor de su eje (el dar vueltas a que se refiere Galileo en el pasaje citado), ¿no debería moverse debajo de la piedra mientras ésta cae, resultando que la piedra caería a cierta distancia de la base de la torre? ¿Rechazó Galileo este argumento apelando a los hechos? Ciertamente no es eso lo que hizo Galileo en el *Díalogue*, como señala Feyerabend. Galileo (1967, pp. 125-55) logró el resultado deseado “estrujando el cerebro” del lector. La velocidad de una bola que rueda por una pendiente sin rozamiento aumenta, porque en cierto grado cae hacia el centro de la Tierra. A la inversa, la velocidad de una bola que rueda hacia arriba en una pendiente sin rozamiento disminuirá, porque sube separándose del centro de la Tierra. Una vez que ha persuadido al lector de que acepte esto por obvio, se le pregunta ahora qué sucede a la velocidad de la bola si la pendiente es perfectamente horizontal. Parecería que la respuesta es que la velocidad ni aumentará ni disminuirá, pues la bola ni sube ni cae. El movimiento horizontal de la bola persiste y permanece constante. Aunque esto no llega a la ley de inercia de Newton, es un ejemplo de movimiento uniforme que persiste sin una causa, y le basta a Galileo para contrarrestar un número de argumentos que se oponen al giro de la Tierra. Galileo extrae la implicación de que el movimiento horizontal de la piedra que cae desde la torre, movimiento que comparte con la torre al girar la Tierra, permanece constante. Esta es la causa de que siga con la torre y golpee el suelo a su pie. De este modo, el argumento de la torre no establece que la Tierra sea estacionaria, como se había supuesto. Como el propio Galileo admite, su argumentación no apeló para tener éxito a resultados de la observación o experimentación. (Es de hacer notar que en la época de Galileo era más difícil que ahora conseguir planos sin fricción, y que superaba lo posible entonces medir la velocidad de la bola en varios lugares del plano inclinado.)

Vimos en el capítulo 1 que los tamaños aparentes de Venus y Marte eran importantes por cuanto la teoría copernicana predecía que tenían que cambiar de modo apreciable, una predicción que no estaba substanciada por la observación a simple vista. El problema queda resuelto tan pronto como se acepta la visión a través del telescopio en lugar de la tenida a simple vista. Pero ¿cómo había de defenderse la preferencia de los datos del telescopio? Feyerabend expone como sigue la situación y la respuesta de Galileo. No era en absoluto sencillo,

dado el contexto astronómico, que se aceptara lo que revelaba el telescopio. Galileo no contaba con una teoría adecuada o detallada del telescopio, de modo que no podía apelar a ella para defender los datos telescópicos. Es cierto que había procedimientos de ensayo y error para reivindicar las vistas a través del telescopio en el contexto terrestre; por ejemplo, se podía verificar la lectura de una inscripción en un edificio distante, indiscernible a simple vista, acercándose al edificio; igualmente se podía identificar el cargamento de un buque lejano una vez que éste llegaba a puerto. Pero la justificación del uso terrestre del telescopio no podía ser usada sin más para el uso astronómico. El uso terrestre del telescopio recibe ayuda de índices diversos que no están presentes en el caso astronómico. Las imágenes auténticas se distinguen de las que puedan ser producto del telescopio porque estamos familiarizados con el género de cosas que se inspeccionan. Así, por ejemplo, si el telescopio revela que el mástil de un barco distante es ondulante, rojo por un lado y azul por el otro, y va acompañado de motas negras flotando en el aire sobre él, se pueden desechar estas distorsiones, colores y manchas como artificiales. Sin embargo, al mirar los cielos nos encontramos en terreno no familiar y carecemos de guía para distinguir lo que hay realmente de lo que es propio del aparato. Además, el uso de la paralaje y el traslapo como una ayuda para estimar qué está lejos y qué cerca es un lujo no asequible por lo general en astronomía; y, ciertamente, Galileo no podía verificar las vistas al telescopio de los planetas contrastándolas con la vista simple. Existía incluso la evidencia directa de que los datos del telescopio eran erráticos, por cuanto que magnificaban la Luna en distinta proporción que los planetas y las estrellas.

Según Feyerabend (1975, p. 141), estas dificultades eran tales que el recurso a la argumentación habría resultado inadecuado en la tarea de convencer a los oponentes que negaban tanto la teoría copernicana como los datos del cielo obtenidos con el telescopio. En consecuencia, Galileo necesitó recurrir a la propaganda y a la astucia, y eso es lo que hizo.

Por otro lado, existen fenómenos visibles con el telescopio que son francamente copernicanos. Galileo introduce estos fenómenos como evidencia en favor de Copérnico, cuando la situación es que una opinión refutada -- el copernicanismo -- tiene cierta semejanza con fenómenos que emergen de otra

opinión refutada -- la idea de que los fenómenos vistos con el telescopio son imágenes fieles del cielo. Galileo prevalece a causa de su estilo y de sus inteligentes técnicas de persuasión, a causa de que escribe en italiano y no en latín, y a causa de que apela a las gentes, opuestas por temperamento a las viejas ideas y a los modelos de conocimiento relacionados con ellas.

Debiera estar claro que, sí la interpretación de Feyerabend de la metodología de Galileo es la correcta y típica de la ciencia, las concepciones normales positivistas, inductivistas y falsacionistas de la ciencia tendrían serios problemas para incorporarla. Puede adaptarse a la metodología de Lakatos, según Feyerabend, pero sólo porque esta metodología es tan laxa que puede adaptar casi todo. Feyerabend embromaba a Lakatos, dándole la bienvenida como "compañero anarquista", bien que "disfrazado" y dedicando, burlón, el *Against method* a Lakatos, "amigo y compañero anarquista". Los dos entramados, el aristotélico de la Tierra estacionaria, apoyado en los datos obtenidos a simple vista, y el copernicano de la teoría de la Tierra en movimiento, soportada por los datos del telescopio, los interpreta Feyerabend como círculos de pensamiento mutuamente excluyentes; recuerda en cierto modo el retrato que hace Kuhn de los paradigmas como modos mutuamente excluyentes de ver el mundo. De hecho, los dos filósofos acuñaron, independientemente el uno del otro, el término "inconmensurable" para describir la relación entre dos teorías o paradigmas que no pueden ser comparados lógicamente por falta de hechos teóricamente neutros que puedan ser usados en la comparación. Kuhn evitó las conclusiones anarquistas de Feyerabend, esencialmente, apelando al consenso social que restaura la ley y el orden. Feyerabend (1970) rechazó la llamada de Kuhn al consenso social de la comunidad científica, en parte porque no creía que Kuhn distinguía entre modos legítimos e ilegítimos de conseguir el consenso (matando a todos los oponentes, por ejemplo), y también porque no creía que la llamada al consenso fuera capaz de distinguir entre la ciencia y otras actividades tales como la teología y el crimen organizado.

Dado el fracaso de los intentos por captar las características especiales del conocimiento científico que lo hagan superior a otras formas de conocimiento, fracaso que Feyerabend consideraba haber él mismo verificado, sacó la conclusión de que no se justifica el elevado rango atribuido a la ciencia en nuestra sociedad, ni la superioridad que se

le supone, no sólo sobre el marxismo, digamos, sino sobre cosas tales como la magia negra y el vudú. Según Feyerabend, el alto prestigio de la ciencia es un dogma peligroso, que adopta un papel represor similar al que, según su retrato, representó el cristianismo en el siglo XVII, teniendo en mente episodios tales como las luchas de Galileo con la Iglesia.

DEFENSA DE FEYERABEND DE LA LIBERTAD

La teoría de Feyerabend de la ciencia se sitúa dentro de un entramado ético que concede un alto valor a la libertad individual, e implica una actitud que Feyerabend describe como "actitud humanitaria". Según dicha actitud, los individuos humanos deben ser libres; deben tener libertad en un sentido parecido al que el filósofo del siglo XIX John Stuart Mill (1975) defendió en su ensayo "Sobre la libertad". Feyerabend (1975, p. 20) se declara a sí mismo a favor del "intento de ensanchar la libertad de llevar una vida plena y gratificante" y apoya a Mill en su defensa del "cultivo de la individualidad, que es lo único que produce, o puede producir, seres humanos bien desarrollados". Feyerabend fundamenta, desde este punto de vista humanitario, su concepción anarquista de la ciencia en que aumenta la libertad del individuo emancipándole de restricciones metodológicas, y en que, más en general, deja al individuo la libertad de elegir entre ciencia y otras formas de conocimiento.

Desde el punto de vista de Feyerabend, la institucionalización de la ciencia en nuestra sociedad es inconsistente con la actitud humanitaria. En las escuelas, por ejemplo, se enseña la ciencia como si ello fuera lo natural. "Así, mientras que un norteamericano puede ahora escoger la religión que le guste, no se le permite todavía exigir que sus hijos aprendan magia en lugar de ciencia en la escuela. Existe una separación entre Estado e Iglesia, pero no hay separación entre Estado y ciencia" (1975, p. 299). Lo que tenemos que hacer en vista de esto, escribió Feyerabend (1975 p. 307), es "¡liberar la sociedad de la camisa de fuerza de una ciencia ideológicamente petrificada, tal y como nuestros antepasados *nos* liberaron de la camisa de fuerza de la Única Religión Verdadera!". En la imagen que tiene Feyerabend de una sociedad

libre, la ciencia no tendrá preferencia sobre otras formas de conocimiento o sobre las tradiciones. Un ciudadano maduro de una sociedad libre es “una persona que ha aprendido a pensar por sí mismo y *se ha decidido* por lo que cree que se adapta mejor a él”. Se estudiará la ciencia como un fenómeno histórico junto con otros cuentos de hadas, tales como los mitos de las sociedades “primitivas” de manera que el individuo “cuente con la información que necesite para tomar una decisión libre” (1975, p. 308, cursivas en el original). En la sociedad ideal de Feyerabend, el Estado es ideológicamente neutral entre las ideologías, para asegurar que los individuos retengan la libertad de elección y no reciban impuesta una ideología en contra de su voluntad.

La culminación del alegato de Feyerabend contra el método, junto con su defensa de una marca particular de libertad para el individuo, es su teoría anarquista del conocimiento (1975, pp. 284-5, cursivas en el original).

Ninguno de los métodos que Carnap, Hempel, Nagel [tres prominentes positivistas], Popper o incluso Lakatos desean utilizar a fin de racionalizar los cambios científicos puede ser aplicado, y el único que puede serlo, la refutación, queda muy limitado en su fuerza. Lo que queda son juicios estéticos, juicios del gusto, prejuicios metafísicos, deseos religiosos; dicho brevemente, *lo que queda son nuestros deseos subjetivos*: la ciencia más avanzada y general devuelve al individuo una libertad que parece perder en su parte más pedestre

No existe, pues, un método científico. Los científicos siguen sus deseos subjetivos. Todo vale.

CRÍTICA DEL INDIVIDUALISMO DE FEYERABEND

Una crítica de la visión que tiene Feyerabend de la libertad humana servirá de preparativo útil para una valoración de su crítica del método. Un problema central en la noción de libertad de Feyerabend nace de la medida en que es enteramente negativa, en el sentido de que entiende la libertad como ausencia de restricciones. Los individuos deben ser libres de toda coacción para poder seguir sus deseos subjetivos

y hacer lo que les plazca. Por ejemplo, la libertad de palabra puede ser, y es a menudo, discutida en términos de libertad de restricciones en forma de supresiones por parte del Estado, leyes antidifamatorias y cosas similares. Así, por ejemplo, si los estudiantes impiden que un profesor dé en la universidad una conferencia en la que pretende expresar sus simpatías por el fascismo, se podría acusar a los estudiantes de denegar al conferenciante la libertad de palabra. Se les acusaría de poner obstáculos al ejercicio de un derecho natural del conferenciante. Sin embargo, la libertad de palabra puede ser considerada, desde un punto de vista positivo, en términos de los recursos de que dispone el individuo para hacer oír sus opiniones. Por ejemplo, ¿qué acceso a los medios de comunicación tiene un individuo particular? Este punto de vista haría aparecer nuestro ejemplo bajo una luz diferente. Se podría, quizás, justificar la obstrucción a la conferencia en razón de que se le dio al conferenciante acceso al aula de la universidad, a micrófonos y anuncios en los medios de comunicación, etc., cuando no se hizo así con otros que defienden opiniones distintas. El filósofo del siglo XVIII David Hume ilustró bellamente el aspecto al que me estoy refiriendo, al criticar la idea de Contrato Social de John Locke. Locke había interpretado que el contrato social era adoptado libremente por los miembros de una sociedad democrática y argumentado que todo el que no quisiera subscribir el contrato era libre de emigrar. Hume respondió de la manera siguiente:

¿Podemos decir seriamente que un campesino o un artesano pobre tiene libertad de elección para dejar su país, cuando no conoce ninguna lengua o costumbre extranjera y vive al día del pequeño salario que percibe? Igualmente podríamos afirmar que un hombre que permanece en un barco consiente libremente en la dominación del capitán, aunque haya sido llevado a bordo mientras dormía y que para dejar el barco tenga que saltar al mar y perecer. [La cita del “Of the original contract” de Hume está en Barker (1976, p. 156). Las opiniones específicas de Locke criticadas en el pasaje se pueden encontrar en pp 70 -72 de dicho volumen].

Los individuos nacen en una sociedad que preexiste y que, en cierto sentido, tiene características que ellos no eligen ni pueden estar en posición de elegir. Las opciones que les están abiertas y, por consiguiente,

el sentido preciso en que son libres, estarán determinadas por el acceso que puedan tener en la práctica a los recursos necesarios para las varias opciones. También en ciencia, un individuo que desee hacer una contribución a ella se enfrentará a una determinada situación: varias teorías, técnicas matemáticas, instrumentos y técnicas experimentales. Los caminos abiertos a los científicos en general vendrán delimitados por la situación objetivamente existente, mientras que el camino abierto a un científico en particular estará determinado por el subconjunto de los recursos existentes a los que pueda tener acceso. Los científicos serán libres de seguir sus "deseos subjetivos" sólo en la medida en que puedan elegir entre la serie restringida de opciones que les son posibles. Aún más, les guste o no, los individuos tendrán que hacer una caracterización de la situación con la que se enfrentan, como prerrequisito para su comprensión. Bien sean cambios en la ciencia, bien en la sociedad en general, el trabajo teórico principal implica una comprensión de la situación a la que se enfrenta el individuo, y no una llamada generalizada a una libertad sin restricciones.

Es irónico que Feyerabend, que en su estudio de la ciencia se extiende largamente para negar la existencia de hechos teóricamente neutrales, apela en su teoría social a la noción, mucho más ambiciosa, de Estado ideológicamente neutral. ¿Cómo diablos llegaría a existir tal Estado, cómo funcionaría y qué lo sostendría? En vista de todo el trabajo que ha sido hecho por penetrar en las cuestiones del origen y de la naturaleza del Estado, parecen pueriles las caprichosas especulaciones de Feyerabend acerca de una utopía en la que todos los individuos serían libres de seguir sus inclinaciones sin restricción alguna.

Una cosa es criticar a Feyerabend por colocar sus opiniones sobre la ciencia dentro de un marco conceptual individualista que implica una noción ingenua de la libertad; otra es aprehender los detalles de su alegato "contra el método" en ciencia. En el capítulo siguiente veremos qué puede ser salvado constructivamente del ataque de Feyerabend al método.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Feyerabend desarrolla algunas de las ideas de su *Against method: Outline of an anarchistic theory of knowledge* (1975) en *Science in a free society* (1978). *Realism, Rationalism and scientific method* (Feyerabend, 1981a) y *Problems of empiricism* (Feyerabend, 1981b) son colecciones de sus artículos, algunos de los cuales son anteriores a su fase "anarquista". "Consolations for the specialist" (1970) y "On the critique of scientific reason" (1976) son sus críticas a Kuhn y Lakatos, respectivamente. Me he ocupado del retrato que hace Feyerabend de la ciencia de Galileo en "Galileo's telescopic observations of Venus and Mars" (Chalmers, 1985) y "The Galileo that Feyerabend missed" (Chalmers, 1986).

11. CAMBIOS METÓDICOS DEL MÉTODO

EN CONTRA DEL MÉTODO UNIVERSAL

En el capítulo anterior vimos el alegato de Feyerabend en contra de varias concepciones del método científico que han sido presentadas por filósofos en un intento por captar la característica distintiva del conocimiento científico. La estrategia clave que empleó fue la de defender la incompatibilidad de esas concepciones con los adelantos de Galileo en física y astronomía. En otro lugar (en Chalmers, 1985 y 1986) me he ocupado del relato histórico que hace Feyerabend del episodio de Galileo; en la sección siguiente introduciré y elaboraré algunos de los detalles de mi desacuerdo. Una vez que esa historia ha sido corregida, creo que permanece el asunto de que la historia corregida plantea problemas a las concepciones típicas de la ciencia y del método científico. Es decir, sugiero que, en cierto sentido, puede sostenerse el alegato de Feyerabend contra el método, *siempre que tengamos clara la noción de método que ha sido refutada*. El alegato de Feyerabend lo es en contra de la afirmación de que existe un método universal y ahistórico en la ciencia que contenga las normas que todas las ciencias deben respetar si quieren merecer el título de "ciencia". El término "universal" es usado aquí para indicar que el método propuesto ha de aplicarse a todas las ciencias o ciencias putativas -- física, psicología, ciencia de la creación o cualquier otra -- mientras que el término "ahistórico" señala el carácter intemporal del método. Ha de usarse tanto para valorar la física de Aristóteles como la de Einstein, y el atomismo de Demócrito tanto como la física atómica moderna. Estoy muy dispuesto a unirme a Feyerabend en considerar la idea de un método universal y ahistórico como muy poco plausible, e incluso absurdo. Como dice Feyerabend (1975, p. 295), "La idea de que la ciencia pueda, y deba, conducirse según reglas fijas y universales es poco realista a la vez que pernicioso", "va en detrimento de la ciencia, puesto

que desprecia las complejas condiciones físicas e históricas que influyen en el cambio científico" y "hace a la ciencia menos adaptable y más dogmática". Si ha de haber un método científico capaz de juzgar ciencias de todo tipo, pasadas, presentes y *futuras*, se podría muy bien preguntar con qué recursos cuentan los filósofos para llegar a herramienta tan potente, tanto que puede decirnos por adelantado cuales son las normas apropiadas para juzgar la ciencia futura. Puesto que concebimos la ciencia como una búsqueda abierta con el fin de mejorar el conocimiento, ¿por qué no habría de haber lugar para *mejorar* .nuestros métodos y adaptar y refinar nuestras normas a la luz de lo aprendemos?

No tengo ningún problema en adherirme a la campaña que lanzó Feyerabend en contra del método, siempre que se entienda por éste método universal, inmutable. Hemos visto que la respuesta de Ferabend en su alegato en contra del método consiste en suponer que no hay método, que los científicos siguen sus propios deseos subjetivos, y que todo vale. No obstante, método universal y ningún método no agotan todas las posibilidades. Un camino intermedio sostendría que hay métodos y normas en la ciencia, pero que pueden variar de una ciencia a otra y pueden cambiar dentro de una ciencia, y cambiar a mejor. El alegato de Feyerabend no sólo no se opone a este punto de vista intermedio, sino que su ejemplo de Galileo puede ser interpretado de forma que lo apoye, tal como intentaré mostrar en la sección siguiente.

Sostengo que hay un camino intermedio, según el cual existen métodos y normas históricamente contingentes, implícitos en las ciencias que han tenido éxito. Una respuesta común a esto, entre filósofos de las ciencias que rechazan el anarquismo y el relativismo radical de Feyerabend tanto como yo, es que quienes buscamos un camino intermedio nos engañamos a nosotros mismos. John Worrall (1988), por ejemplo, ha dado expresión clara a esta línea general de argumentación. Si he de defender un cambio en el método científico de un modo que evite el relativismo radical, estoy obligado a mostrar de qué manera tal cambio es para mejor. Pero, ¿mejor según qué normas? Parece que, a menos que existan supernormas para juzgar cambios en las normas, esos cambios no pueden ser interpretados de manera no relativista. Pero las supernormas nos retrotraen al método universal que se supone que proporcionaría tales normas. Por lo tanto, así reza el

argumento de Worrall, o bien tenemos un método universal, o bien el relativismo. No hay término medio. Como preliminar de una réplica a este argumento, será útil tomar un ejemplo de la ciencia de un cambio de normas. La sección siguiente se dedica a un cambio de esta naturaleza logrado por Galileo.

DATOS OBSERVADOS CON EL TELESCOPIO EN LUGAR DE LOS OBSERVADOS A SIMPLE VISTA. UN CAMBIO DE NORMAS

Uno de los oponentes aristotélicos de Galileo (citado en Galileo, 1967, p. 248) se refirió a la idea de que "los sentidos y la experiencia deberían ser nuestra guía al filosofar" como "el criterio de la ciencia misma". Numerosos comentaristas de la tradición aristotélica observaron que un principio clave dentro de esta tradición era que las afirmaciones de conocimiento debían ser compatibles con la evidencia de los sentidos, cuando se usan éstos con cuidado suficiente bajo las condiciones adecuadas. Ludovico Geymonat (1965, p. 45), uno de los biógrafos de Galileo, se refiere a la creencia "compartida por muchos sabios de la época [de las innovaciones de Galileo]" de que "sólo la visión directa tiene el poder de captar la verdadera realidad". Maurice Clavelin (1974, p. 384), dentro de un contexto en el que compara la ciencia de Galileo con la aristotélica, observa que "la principal máxima de la física peripatética era la de nunca oponerse a la evidencia de los sentidos", y Stephen Gaukroger (1978, p. 92), en un contexto similar, escribe sobre "una confianza fundamental y exclusiva en la percepción por los sentidos en las obras de Aristóteles". Era general la defensa teleológica de esta norma fundamental. Se entendía que la *función* de los sentidos era la de suministrar información acerca del mundo. Por lo tanto, aunque los sentidos pueden engañarnos en circunstancias anormales, en la niebla, por ejemplo, o si el observador está enfermo o borracho, es absurdo suponer que los sentidos son sistemáticamente engañosos cuando están cumpliendo con la tarea que se les confía. Irving Block (1961, p. 9), en un artículo esclarecedor sobre la teoría de Aristóteles de la percepción sensorial, caracteriza como sigue el punto de vista de éste:

La Naturaleza hizo todo con un propósito, y el propósito del hombre es el de comprender la naturaleza por medio de la ciencia. Habría sido, por lo tanto, una contradicción en la Naturaleza haber forjado el hombre y sus órganos de manera tal que tuvieran que resultar falsos el conocimiento todo y la ciencia.

Las opiniones de Aristóteles tuvieron eco en Tomás de Aquino muchos siglos más tarde, como recoge Block (1961, p. 7):

La percepción sensorial es siempre cierta con respecto a sus objetos apropiados - pues las potencias naturales, por regla general, no fallan en las actividades que les son propias, y si fallan, ello es debido a algún desarreglo u otro. Así pues, los sentidos juzgan de manera imprecisa acerca de sus objetos propios sólo en la minoría de los casos, y entonces sólo a causa de algún defecto orgánico, e.g., cuando a una persona enferma y con fiebre le sabe amargo algo dulce porque su lengua no está en buena disposición.

Galileo se enfrentaba con una situación en la que la confianza en los sentidos, incluyendo los datos obtenidos a simple vista, era "el criterio mismo de la ciencia". Para poder introducir el telescopio y conseguir que los datos telescópicos reemplazaran y anularan algunos datos obtenidos a simple vista, necesitaba desafiar este criterio; cuando lo hizo, efectuó un cambio en las normas de la ciencia. Como hemos visto, Feyerabend no creyó que Galileo pudo imponer su punto de vista y tuvo que recurrir a la propaganda y a la astucia. Los hechos históricos dicen algo distinto.

Ya he considerado la argumentación de Galileo en favor de la veracidad de sus vistas de las lunas de Júpiter. Ahora me concentraré en las razones que ensambló Feyerabend en favor de la aceptación de lo que el telescopio revelaba acerca de los tamaños aparentes de Venus y Marte. Ya hemos descrito en el capítulo anterior la urgencia de la cuestión, y también aceptamos el relato de Feyerabend sobre las dificultades que había en el camino para admitir las observaciones al telescopio de los cielos.

Galileo recurrió al fenómeno de irradiación para contribuir al descrédito de las observaciones a simple vista de los planetas y para fundamentar su preferencia por las observaciones a través del telescopio. La hipótesis de Galileo (1967, p. 333) fue que el "ojo introduce un impedimento propio" cuando ve fuentes de luz pequeñas, brillantes y distantes contra un fondo oscuro. A causa de esto, tales objetos aparecen

“festoneados de rayos adventicios y extraños”. Así, Galileo (1957 p. 46) explicaba en otro lugar que “si se miran las estrellas a simple vista, se presentan a nosotros no con sus tamaños (por así decir, físicos), sino como irradiadas por un cierto fulgor y como bordeadas de rayos centelleantes”. La irradiación queda eliminada por el telescopio en el caso de los planetas.

Puesto que la hipótesis de Galileo implica la afirmación de que la irradiación surge como consecuencia del brillo, la pequeñez y la distancia de la fuente, se puede ensayar modificar estos factores de diversas maneras que no entrañen el uso del telescopio; Galileo enumera explícitamente varias (1957, pp. 46-7). Se puede reducir el brillo de estrellas y planetas mirándolos a través de nubes, un velo negro, un vidrio coloreado, un tubo, un espacio entre los dedos o un agujerito en una cartulina. La irradiación se elimina con estas técnicas en el caso de los planetas, de forma que “muestran sus globos perfectamente redondos y limitados definitivamente”, mientras que en el caso de las estrellas no se elimina completamente la irradiación y así “nunca se ven limitados por una periferia circular, sino que tienen el aspecto de resplandores cuyos rayos vibran y centellean en gran medida”. En cuanto a la dependencia de la irradiación del tamaño aparente de la fuente de luz observada, la hipótesis de Galileo se prueba por el hecho de que la Luna y el Sol no están sujetos a la irradiación. Este aspecto de la hipótesis de Galileo, al igual que la dependencia, también incluida en ella, de la irradiación respecto de la distancia de la fuente, pueden ser objeto de un ensayo terrestre directo. Se puede mirar una antorcha encendida desde cerca o desde lejos, y de noche o de día. Cuando se la mira lejos de noche, y es brillante relativamente a su entorno, parece mayor que su tamaño real. En consecuencia, Galileo (1967, p. 361) observó que sus predecesores, incluidos Tycho y Clavius, debían haber procedido con más cautela al estimar el tamaño de las estrellas.

No creo que pensarán que el disco verdadero de una antorcha fuera el que aparece en profunda oscuridad y no el que se percibe en un entorno iluminado: pues las luces vistas desde lejos de noche parecen grandes, pero de cerca se ven sus llamas pequeñas y circunscritas.

Cómo depende la irradiación del brillo de la fuente en relación con su entorno se confirma además por el aspecto de las estrellas en el

crepúsculo, cuando parecen mucho más pequeñas que de noche, y de Venus, que observada a plena luz del día parece “tan pequeño que es precisa una vista aguda para verlo, aunque en la noche siguiente aparece como una gran antorcha”. Este último efecto proporciona una manera tosca de probar el cambio predicho en el tamaño de Venus sin recurrir a la evidencia del telescopio. Se puede hacer la prueba a simple vista, siempre que las observaciones se hagan a la luz del día o en el crepúsculo. Según Galileo, al menos, los cambios de tamaño “son bien perceptibles a simple vista”, si bien sólo se pueden observar con precisión mediante el telescopio (Drake, 1957, p. 131).

Así pues, con una demostración práctica sencilla, Galileo pudo probar que la vista sin ayuda da información inconsistente al mirar fuentes de luz pequeñas, brillantes en comparación con su entorno, tanto en el campo terrestre como en el del cielo. El fenómeno de la irradiación, para el que Galileo facilitó un cúmulo de evidencias, además de la mas directa demostración con la lámpara, indicaba que no son confiables las observaciones a simple vista de fuentes de luz pequeñas y brillantes. Una implicación es que deben preferirse las observaciones a simple vista de Venus a la luz del día a las hechas de noche, cuando Venus resulta brillante en comparación con su entorno. Las primeras, a diferencia de las segundas, muestran que el tamaño aparente de Venus varia a lo largo del año. Todo esto puede decirse sin referencia alguna al telescopio. Si ahora reparamos en que el telescopio elimina la irradiación en la observación de los planetas, y más aún, en que las variaciones en el tamaño aparente son compatibles con las variaciones observables a simple vista a la luz del día, comienza a emerger una argumentación fuerte en favor de los datos telescópicos.

Una razón final en favor de la veracidad de los datos telescópicos acerca de los tamaños de Venus y Marte es que se correspondían precisamente con las predicciones de todas las teorías astronómicas serias de la época. Este hecho entra en conflicto con la forma en que Feyerabend, y el propio Galileo, presentaron la situación, al deducir, como hicieron, que los datos apoyaban la teoría copernicana frente a sus rivales. Las teorías rivales de la teoría copernicana eran las de Tolomeo y Tycho Brahe, y ambas predecían las mismas variaciones que la teoría copernicana en cuanto al tamaño. Variaciones en la distancia a la Tierra, que conducen a los cambios predichos en el tamaño aparente, surgen en el sistema tolemaico debido a que los planetas se aproximan a

la Tierra y se alejan de ella a medida que atraviesan los epiciclos impuestos a los deferentes, los que más tarde equidistarían de la Tierra. Ocurren en el sistema de Tycho Brahe, en el que los planetas, excepto la Tierra, giran en órbitas alrededor del Sol, a la vez que el Sol mismo gira alrededor de una Tierra inmóvil; por la misma razón suceden en la teoría copernicana, puesto que las dos son geoméricamente equivalentes. Derek J. De S. Price (1969) ha demostrado con gran generalidad que esto debe ser así una vez que los sistemas son ajustados para encajar las posiciones angulares observadas de los planetas y del Sol. Osiander, en su introducción a *Sobre las revoluciones de las esferas celestes* de Copérnico, reconoce que los tamaños aparentes de los planetas habían supuesto un problema para las teorías astronómicas importantes desde la Antigüedad.

Hemos revisado la manera como argumentó Galileo en favor de la aceptación de algunos hallazgos importantes al telescopio, manera eficaz, a mi juicio, como lo demuestra el hecho de que convenció a todos sus rivales históricos en un breve lapso. Pero al hacer su alegato, Galileo dio el primer paso en lo que había de ser una tendencia común en la ciencia, esto es, el reemplazo de los datos a simple vista por los obtenidos por medio de instrumentos, a la vez que violaba "el criterio mismo de la ciencia" y originaba un cambio en dicho criterio.

¿Qué influencia tiene su logro en la discusión a favor y en contra del método?

CAMBIO A TROZOS DE TEORÍA, MÉTODO Y MODELO

¿Cómo fue posible que Galileo se las arreglara para modificar las normas enfrentándose racionalmente a argumentos tales como los de John Worrall, que dicen que era imposible? Pudo hacerlo así porque había mucho en común entre él y sus rivales. Había bastante coincidencia en cuanto a sus objetivos. Entre otras muchas cosas, compartían el objetivo de dar una descripción de los movimientos de los cuerpos celestes que se apoyara en la evidencia empírica. Después de todo, el *Almagisto* de Tolomeo está lleno de registros de posiciones planetarias, y Tycho Brahe es famoso por sus complicados cuadrantes y cosas similares, que incrementaron de forma dramática la precisión de dichos

registros. Los oponentes de Galileo no tenían más opción sensata que aceptar algunas observaciones suyas de menor entidad, tales como la observación de que una lámpara parece más grande de lo que realmente es su tamaño a cierta distancia de noche, y que Venus parece menor a la luz del día que en la oscuridad de la noche. Observaciones compartidas como éstas, con el trasfondo de un objetivo también compartido fueron suficientes para que Galileo pudiera convencer a sus oponentes, usando "hábil técnicas de persuasión" que no encerraban más que argumentos directos, de manera tal que se mostraron dispuestos a abandonar "el criterio mismo de la ciencia" y a aceptar algunos datos telescópicos en lugar de la contrapartida a simple vista.

En un estadio cualquiera de su desarrollo, una ciencia consiste en algunos objetivos específicos de llegar a un conocimiento de determinado tipo, en los métodos necesarios para cumplir sus objetivos y en normas que permitan juzgar en qué medida se han conseguido, además de hechos y teorías particulares que representan el estado actual de la representación en cuanto concierne a la realización de dichos objetivos. Cada detalle particular de la red de entidades estará sujeto a revisión a la vista de los resultados de la investigación. Hemos discutido las maneras en que las teorías y los hechos son falibles (recuérdese que los líquidos superrefrigerados refutan la afirmación de que los líquidos no pueden fluir hacia arriba) y hemos dado ejemplo en la sección anterior de un cambio en el método y en las normas. También puede cambiar la forma detallada que toma el objetivo de una ciencia. Sigue un ejemplo de ello.

El trabajo experimental de Robert Boyle es considerado, con justicia, como una contribución importante a la revolución científica del siglo XVII. Se pueden distinguir dos aspectos algo conflictivos en la obra de Boyle, que representan las maneras vieja y nueva de hacer ciencia. Boyle defendió la "filosofía mecanicista" en sus escritos más filosóficos. De acuerdo con esta filosofía, el mundo material se considera consistente en trozos de materia y se toma por obvio que existe sólo este tipo de materia. Los objetos de un tamaño observable consisten en un arreglo de corpúsculos microscópicos de materia y el cambio debe ser entendido como un rearrreglo de estos corpúsculos. Las únicas propiedades que tienen los corpúsculos de materia son su tamaño específico, su forma y el movimiento que cada uno posee, además de la propiedad de impenetrabilidad, que sirve para distinguir la

materia del espacio vacío. El movimiento de un corpúsculo se modifica al chocar con otro, y este mecanismo es la fuente de toda actividad y cambio en la naturaleza. La explicación de un proceso físico requerirá remontarse hasta los movimientos, choques y rearreglos de los corpúsculos implicados. Al dar expresión a una versión de este punto de vista, Boyle se adscribía a la nueva visión de un mundo mecánico que parecía la alternativa apropiada a la visión de Aristóteles. En ella, las explicaciones adecuadas eran explicaciones últimas. Apelaban a las formas, tamaños, movimientos y choques de los corpúsculos, mientras que no se pensaba que estas nociones necesitaran de una explicación. Desde este punto de vista, la finalidad de la ciencia es la de dar explicaciones últimas.

Boyle, además de abogar por la filosofía mecanicista, llevó a cabo experimentos, particularmente en neumática y química. Sus éxitos experimentales, tal y como implican sus propias notas, no proporcionaron un conocimiento científico del tipo requerido por la filosofía mecanicista. Los experimentos de Boyle sobre la física del aire, especialmente los que llevó a cabo con ayuda de una bomba para evacuar la mayor parte del aire de una cámara de vidrio, le condujeron a explicar una serie de fenómenos, tales como el comportamiento de los barómetros dentro y fuera de la cámara de vacío, en términos de peso y elasticidad del aire. Llegó incluso a proponer una versión de la ley, que lleva su nombre, que conecta presión y volumen de una masa fija de gas. Pero sus explicaciones no eran científicas desde el punto de vista de la filosofía mecanicista, puesto que no eran últimas. Recurrir al peso y a la elasticidad no era admisible hasta que estas mismas propiedades no hubieran sido explicadas en términos de mecanismos corpusculares. No es necesario decir que Boyle no podía satisfacer esta exigencia. Con el tiempo, llegó a valorarse el que la ciencia experimental de Boyle buscara explicaciones útiles a la vez que posibles. En contraste, se llegó a pensar que una explicación mecanicista en sentido estricto era inalcanzable. De hecho, a finales del siglo XVII se había abandonado el objetivo de explicaciones últimas en física, objetivo que empezó a parecer utópico, particularmente cuando se lo comparaba con los logros de la ciencia experimental.

La idea general es, por lo tanto, que en un tiempo determinado pueden modificarse progresivamente partes cualesquiera de la red de objetivos, métodos, normas, teorías y hechos observacionales que

constituyen una ciencia, y que las partes restantes de la red servirán de trasfondo contra el cual se darán las razones del cambio. No obstante, no será ciertamente posible dar razones para cambiar todo lo de la red de una vez, pues entonces no habría suelo en el que asentarse para argumentar. De este modo, si fuera típico de la ciencia el que los científicos rivales ven todo diferente desde el punto de vista de sus paradigmas respectivos, y viven en mundos distintos, basta el punto que no comparten nada, sería en verdad imposible captar un sentido objetivo según el cual la ciencia progresa. Pero no hay situaciones en la ciencia, ni en su historia, ni, en rigor, en nada que respondan a esta caricatura. No necesitamos una concepción universal, ahistórica, del método científico para dar una justificación objetiva del progreso en la ciencia; además, es posible dar una explicación objetiva de cómo se puede mejorar el método.

UN INTERLUDIO DESENFADADO

Puedo imaginar cómo responderían a la línea que acabo de tomar John Worrall y otros oponentes al relativismo, defensores del método universal. Dirían, por ejemplo, de mi exposición de Galileo que, aunque ilustra un cambio de normas, implica una llamada a normas más altas, más generales. Por ejemplo, tanto Galileo como sus rivales exigían que sus explicaciones de las órbitas planetarias tenían que ser soportadas por las pruebas adecuadas. Una vez que han quedado expuestos esos supuestos generales, argumentarían mis críticos, son ellos los que constituyen el método universal y los que forman precisamente el telón de fondo contra el cual han de juzgarse progresivos los cambios propuestos por Galileo. Sin tal telón, les oigo decir, no puedes sostener que el cambio es progresivo.

Voy a hacer una concesión. Supongamos que tratamos de formular ciertos principios generales a los que podríamos esperar que se adhirieran desde Aristóteles hasta Stephen Hawking. Supongamos que el resultado es algo parecido a "tómense en serio los argumentos y las pruebas disponibles y no se persiga un tipo de conocimiento, o nivel de confirmación, que esté más allá del alcance de los métodos a la mano". Llamemos a esto la versión del sentido común del método

científico. Concedo que existe un método universal para el sentido común. Pero acto seguido trataré de eliminar todo sentimiento de presunción que pudiera alegrar a John Worrall y sus aliados por haber logrado esta concesión de parte mía. Señalaré en primer lugar que, si este sentido común universal es correcto y adecuado, tanto ellos como yo mismo podemos cerrar nuestro negocio, pues no se necesita de ningún filósofo profesional para decir, valorar o defender una cosa de este tenor. Más seriamente ahora, señalaré que, si perseguimos el tema más a fondo y exigimos que se den más detalles en cuanto a lo que pueda servir de prueba y confirmación y qué tipos de afirmación pueden ser defendidos y cómo, veremos entonces que estos detalles varían de una ciencia a otra y de un contexto histórico a otro.

Pudiera ser que una formulación del método del sentido común no fuera una tarea lo bastante exigente como para mantener en activo a los filósofos de la ciencia. No obstante, sugiero que basta con darle valor para resistir ante ciertas tendencias en el estudio contemporáneo de la ciencia. Tengo en la mente a esos sociólogos de la ciencia y post-modernistas (llamémosles 'levellers', para mayor brevedad [N.T.: niveladores, grosso modo, el ala izquierda de la revolución de Cromwell]) que denigran, o niegan, un estatus especial al conocimiento científico sobre la base de que el establecimiento de sus credenciales involucra necesariamente el interés de los científicos y grupos de científicos, su estatus financiero y social, los intereses profesionales y cosas de este estilo, de forma muy similar a lo que sucede con otras tareas sociales. En respuesta a esto, sugiero que existe una distinción que da el sentido común entre, digamos, el propósito de mejorar el conocimiento de cómo se combinan los elementos químicos y el de mejorar la posición social de los químicos profesionales. Llegaría incluso a sugerir que, si existen movimientos académicos que desafían abiertamente el sentido común, quienes si lo tienen deberían pedir que se les retiraran los fondos. Resulta curioso que los filósofos tradicionales de la ciencia hayan contribuido a preparar una situación que abre el camino a los *levellers*. Son ellos quienes han supuesto que sólo puede alcanzarse una distinción entre la ciencia y otros tipos de conocimiento con la ayuda de una concepción filosóficamente articulada del método universal. En consecuencia, cuando fallan estos intentos de la manera que han mostrado los capítulos anteriores de este libro, se abren las puertas para que entren los *levellers*. Michael Mulkey (1979), sin

duda uno de los más modestos entre los *levellers*, representa uno de los muchos ejemplos posibles de un analista de la ciencia que concluye que es necesaria una categorización sociológica de la ciencia en vista del fracaso de lo que denomina "el punto de vista estándar" [*No debiera pensarse que mis observaciones en este párrafo implican que no hay lugar para un análisis político y social de la ciencia tal como funciona en la sociedad. Así trato de esclarecerlo en *Science and its fabrications* (1980, capítulo 8). No pretendo tampoco que mis observaciones sirvan de rechazo a todo lo que se hace bajo el nombre de "estudios sociales de la ciencia", pues muchos trabajos contemporáneos han producido ideas valiosas y perspicaces sobre la naturaleza del trabajo científico. Van dirigidas sólo en contra de los que piensan de ellos mismos que han elaborado un conocimiento sociológico o de otro tipo de tan alto rango que pueden, desde ese punto de vista, decidir que el conocimiento científico no goza de ninguna situación especial.]

Hemos llegado al punto en el que estaba el debate en la filosofía de la ciencia hace unos quince años. No podemos dejar aquí el asunto puesto que en este lapso de tiempo se han desarrollado dos movimientos importantes que requieren atención. Uno de ellos comprende el intento de dar una justificación del método universal adaptando una versión de la teoría de probabilidades. Lo investigaremos en el capítulo siguiente. El segundo movimiento, dedicando una atenta mirada al experimento y a lo que encierra, ha tratado de contrarrestar lo que, a su juicio, son excesos de las explicaciones de la ciencia, en boga durante algún tiempo, con predominio de la teoría. Este camino se discute en el capítulo 13.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Mi alegato en contra del método universal se encuentra con algo más de detalle en *Science and its fabrication* (Chalmers, 1990, capítulo 2). "Galileo's telescopic observations of Venus and Mars" (Chalmers, 1985) y "The Galileo that Feyerabend missed" (Chalmers, 1986) contienen una crítica y una mejora del estudio de Galileo hecho por Feyerabend. Laudan (1977, 1984) comprenden un intento diferente al mío, por encontrar un camino intermedio entre el método universal y el anarquismo. Mas detalles sobre lo que digo en relación con el trabajo de Boyle se puede encontrar en "The lack of excellence of Boyle's mechanical philosophy" (Chalmers, 1993) y "Ultimate explanation of science" (Chalmers, 1996).

12. EL PUNTO DE VISTA BAYESIANO

INTRODUCCIÓN

Muchos de nosotros tuvimos la suficiente confianza en la predicción del regreso más reciente del cometa Halley como para reservar con mucha antelación fines de semana en el campo, lejos de las luces de la ciudad, para poder observarlo. Nuestra esperanza no se vio defraudada. Los científicos tienen bastante confianza en la seguridad de sus predicciones como para enviar al espacio naves tripuladas. Cuando algo se torció en una de ellas, nos impresionó, aunque quizás no nos sorprendió, que los científicos, con la ayuda de los ordenadores, pudieran calcular rápidamente cómo utilizar el combustible restante para hacer funcionar el motor del cohete de tal manera que la nave entrara en una órbita que lo devolvería a la Tierra. Estas historias sugieren quizá que la medida en que la falibilidad de las teorías, enfatizada hasta ahora en nuestro relato por los filósofos, desde Popper a Feyerabend, ha sido equivocada o exagerada. ¿Puede conciliarse con ellas la afirmación popperiana de que la probabilidad de todas las teorías científicas es igual a cero? Conviene subrayar en conexión con esto que la teoría utilizada por los científicos en mis dos historias era la teoría newtoniana, una teoría que ha sido falsada de diversas maneras a principios de este siglo, según la concepción de Popper (y de muchos otros). Seguramente ha habido algún error serio.

Un grupo de filósofos que piensan que ha existido un error radical, y cuyos intentos de corregirlo se han hecho populares en las últimas dos décadas, son los bayesianos, así llamados debido a que fundamentan sus puntos de vista en la teoría de probabilidades probada por el matemático del siglo XVIII Thomas Bayes. Los bayesianos consideran que es inapropiado adscribir probabilidad cero a una teoría bien confirmada, y buscan algún tipo de inferencia inductiva que proporcione probabilidades distintas de cero para evitar las dificultades del tipo descrito en el capítulo 4. Por ejemplo, querrían mostrar cómo y

por qué se puede atribuir una probabilidad alta a la teoría newtoniana cuando se la utiliza para calcular la órbita del cometa Halley o de una nave espacial. En este capítulo se presentan un bosquejo y una valoración crítica de su punto de vista.

EL TEOREMA DE BAYES

El teorema de Bayes concierne a las probabilidades condicionales, es decir, probabilidades de proposiciones que dependen de (y de aquí que estén condicionadas por) las pruebas que soportan dichas proposiciones. Por ejemplo, las probabilidades asignadas por un jugador a cada caballo de una carrera estará condicionada por el conocimiento que tenga el jugador sobre la forma de cada caballo en el pasado. Aún más, dichas probabilidades estarán sujetas a cambio a la luz de nuevas pruebas, si, por ejemplo, encuentra a su llegada al hipódromo que uno de los caballos está sudando profusamente y parece claramente enfermo. El teorema de Bayes prescribe cómo se han de modificar las probabilidades a la luz de pruebas nuevas.

En el contexto de la ciencia, el tema es cómo asignar probabilidades a teorías o hipótesis en vista de las pruebas. Sea $\mathbf{P}(\mathbf{h}/\mathbf{e})$ la probabilidad de una hipótesis \mathbf{h} en función de la evidencia \mathbf{e} , $\mathbf{P}(\mathbf{e}/\mathbf{h})$ denota la probabilidad que se ha de asignar a la prueba \mathbf{e} en el supuesto de que la hipótesis \mathbf{h} sea correcta. $\mathbf{P}(\mathbf{h})$ es la probabilidad asignada a \mathbf{h} en ausencia de todo conocimiento de \mathbf{e} , y $\mathbf{P}(\mathbf{e})$ la probabilidad asignada a \mathbf{e} en ausencia de cualquier suposición respecto de la verdad de \mathbf{h} . El teorema de Bayes se puede escribir:

$$\mathbf{P}(\mathbf{h}/\mathbf{e}) = \mathbf{P}(\mathbf{h}) \cdot \mathbf{P}(\mathbf{e}/\mathbf{h}) : \mathbf{P}(\mathbf{e})$$

Se denomina a $\mathbf{P}(\mathbf{h})$ *probabilidad previa*, puesto que es la probabilidad asignada a la hipótesis antes de toda consideración de la prueba \mathbf{e} , y se denomina a $\mathbf{P}(\mathbf{h}/\mathbf{e})$ *probabilidad posterior*, la probabilidad después de tomar en cuenta la prueba \mathbf{e} . La fórmula nos dice cómo modificar la probabilidad de una hipótesis para llegar a una nueva y revisada probabilidad en vista de alguna prueba especificada.

La fórmula indica que la probabilidad previa $P(h)$ se modifica por un factor de escala $P(e/h):P(e)$ en función de la prueba e . Se puede ver fácilmente que esto está de acuerdo con intuiciones comunes. El factor $P(e/h)$ es una medida de la probabilidad de e dado h . Tomará un valor máximo de 1 si e se sigue de h y valor mínimo, 0, si la negación de e se sigue de h . (Las probabilidades toman siempre valores entre 1 que representa la certeza, y 0, que representa la imposibilidad.). La medida en que una prueba soporta una hipótesis es proporcional al grado con que la hipótesis predice la prueba, lo que parece bastante razonable. El divisor del factor de escala, $P(e)$ es una medida de lo probable que se considera que será la prueba si no se supone la verdad de la hipótesis h . Así, si se considera que una prueba es extremadamente probable, tanto si suponemos una hipótesis como si no, la hipótesis no recibe un apoyo importante cuando se confirma la prueba, mientras que si la prueba es muy improbable a menos que se suponga la hipótesis, entonces la hipótesis recibirá una alta confirmación si se confirma la prueba. Por ejemplo, si alguna nueva teoría de la gravitación predijera que los objetos pesados caen a la Tierra, no recibiría una confirmación significativa por la observación de la caída de una piedra, dado que se esperaría que la piedra cayera de todas maneras. Por otra parte, si la nueva teoría predijera una pequeña variación de la gravedad con la temperatura, la teoría recibiría una elevada confirmación por el descubrimiento de ese efecto, pues se consideraría muy poco probable sin la nueva teoría.

Un aspecto importante de la teoría bayesiana de la ciencia es que los cálculos de las probabilidades previa y posterior siempre tienen lugar contra un trasfondo de suposiciones que se dan por válidas, esto es, se da por supuesto lo que Popper llama conocimiento de fondo. Así por ejemplo, cuando se mencionó en el párrafo anterior que $P(e/h)$ toma el valor 1 cuando e sigue de h , se dio por supuesto que h se tomaba en unión de todo el conocimiento de fondo. Hemos visto en capítulos anteriores que las teorías necesitan ir acompañadas del conocimiento de fondo disponible antes de facilitar predicciones comprobables. Los bayesianos incorporan estas consideraciones. Se supone a lo largo de todo este análisis que las probabilidades se calculan contra un trasfondo de conocimiento supuesto.

Es importante aclarar en qué sentido el teorema de Bayes es en efecto un *teorema*. Si bien no entraremos aquí en detalles, observamos

que existen algunos supuestos mínimos acerca de la naturaleza de la probabilidad que, tomados en conjunto, constituyen el llamado “cálculo de probabilidades”. Tanto bayesianos como no bayesianos aceptan estos supuestos. Se puede demostrar que negarlos tiene una serie de consecuencias indeseables. Se puede demostrar, por ejemplo, que un sistema de juego que viole el cálculo de probabilidades es “irracional”, en el sentido de que hace posible colocar apuestas en todos los resultados posibles de un juego, carrera o lo que sea, de tal modo que los participantes en uno u otro lado de la apuesta ganarían, cualquiera que fuera el resultado. (Los sistemas de apuestas que permiten esta posibilidad se denominan “apuestas holandesas”. Violan el cálculo de probabilidades.) El teorema de Bayes puede deducirse de las premisas que constituyen el cálculo de probabilidades. En este sentido, el teorema es en sí mismo incontestable.

Hemos introducido el teorema de Bayes y hemos tratado de señalar que la forma en que prescribe que se pueda modificar la probabilidad de una hipótesis en vista de las pruebas capta algunas intuiciones directas acerca del peso de las pruebas en las teorías. Vamos ahora a insistir con más fuerza en la cuestión de la interpretación de las probabilidades.

BAYESIANISMO SUBJETIVO

Los bayesianos están en desacuerdo entre ellos mismos sobre la cuestión fundamental referente a la naturaleza de las probabilidades involucradas. A un lado de la división tenemos los bayesianos “objetivos”. Según éstos, las probabilidades son las que los agentes racionales *deberían de* subscribir en vista de la situación objetiva. Trataré de señalar el meollo de su postura con un ejemplo de las carreras de caballos. Supongamos que tenemos delante una lista de los caballos participantes en una carrera y que no se nos da ninguna información acerca de los caballos. Podría decirse entonces que, sobre la base de algún “principio de indiferencia”, la única manera racional de asignar probabilidades a la verosimilitud de ganar que tendría cada caballo es la de distribuir igualmente las probabilidades entre los participantes. Ya con estas probabilidades previas “objetivas” listas, el teorema de Bayes

manda cómo deben ser modificadas estas probabilidades en vista de cualquier prueba, de modo que las probabilidades posteriores que resulten serán las que un agente racional *debería de* aceptar. Un problema importante y notorio que encuentra este esquema, en el campo de la ciencia al menos, es el relativo a cómo asignar probabilidades previas objetivas a las hipótesis. Parece ser preciso que se haga una lista de todas las hipótesis posibles en un dominio y que distribuyamos probabilidades entre ellas, quizás asignando la misma probabilidad a cada una según el principio de indiferencia. Pero, ¿de dónde saldría tal lista? Podría pensarse que el número de hipótesis posibles en un dominio es infinita, lo que daría probabilidad cero a todas y el juego bayesiano no puede comenzar. Todas las teorías tienen probabilidad cero y Popper gana. ¿Cómo puede llegarse a una lista finita de hipótesis que permita una distribución objetiva de probabilidades previas distintas de cero? Mi opinión es que el problema es insuperable, y tengo también la impresión, por la literatura actual, de que la mayoría de los bayesianos están llegando a este punto de vista. Volvamos, por tanto, al bayesianismo subjetivo.

Para el bayesianismo subjetivo, las probabilidades que ha de manejar el teorema de Bayes representan grados distintos de creencia. Argumentan que se puede desarrollar una interpretación consistente de la teoría de probabilidades sobre esta base, y que, además, es una interpretación que puede servir debidamente a la ciencia. Se puede aprehender parte de su racionalidad refiriéndonos a los ejemplos suscitados en el párrafo inicial de este capítulo. Cualquiera que sea la fuerza de los argumentos que atribuyen probabilidad cero a todas las hipótesis y teorías, no es sencillamente verdad, dicen los bayesianos subjetivos, que la gente en general y los científicos en particular asignen probabilidad cero a teorías bien confirmadas. En mi caso al menos, el hecho de que reservé mi viaje a la montaña para observar el cometa Halley sugiere que tienen razón. Los científicos dan por supuestas muchas leyes en su trabajo. El uso incondicional que hacen los astrónomos de la ley de la refracción de la luz, y de la ley de Newton los que intervienen en el programa espacial, demuestran que asignan una probabilidad cercana a 1 a dichas leyes, sí no igual a la unidad. Los bayesianos subjetivos toman sencillamente los grados de creencia en las leyes que los científicos de hecho tienen como la base de las probabilidades previas en sus cálculos bayesianos. Escapan de

este modo a las constricciones de Popper de que la probabilidad de todas las hipótesis universales debe ser cero.

El bayesianismo tiene mucho sentido en el contexto del juego. Hemos visto que una condición suficiente para evitar las apuestas holandesas es la adhesión al cálculo de probabilidades, dentro del cual puede demostrarse el teorema de Bayes. Los esquemas bayesianos se aprovechan de esto trazando una estrecha analogía entre los sistemas de la ciencia y del juego. El grado de creencia que tiene un científico en una hipótesis es análogo a la probabilidad que se le concede a un caballo de que gane una carrera. Hay en esto un posible origen de ambigüedad que debe ser analizado. Sí nos aferramos a la analogía con las carreras de caballos, las probabilidades que el apostador considera justas pueden interpretarse tanto como relativas a sus grados privados y subjetivos de creencia como a sus creencias expresadas en la práctica por su conducta en las apuestas. No son necesariamente la misma cosa. Los apostadores pueden salirse del dictado de las probabilidades en las que creen sí se aturden en el hipódromo, o sí pierden los nervios porque su estrategia arriesga una suma grande. No todos los bayesianos hacen la misma elección entre estas alternativas al aplicar a la ciencia el cálculo bayesiano. Por ejemplo, Jon Dorling (1979) piensa que las probabilidades miden lo que se refleja en la práctica científica, y Howson y Urbach (1989) piensan que miden los grados subjetivos de creencia. Una dificultad de la primera posición radica en saber qué es lo que en la práctica científica se supone que corresponde al comportamiento en las apuestas. El identificar las probabilidades con grados subjetivos de creencia, como hacen Howson y Urbach, tiene al menos la ventaja de dejar claro a qué se refieren las probabilidades.

Parecería que comprender la ciencia y el razonamiento científico en términos de las creencias subjetivas de los científicos es un punto de partida decepcionante para quienes buscan una concepción objetiva de la ciencia. Howson y Urbach tienen una respuesta a esta acusación, e insisten en que la teoría bayesiana constituye una teoría *objetiva* de la inferencia científica. Es decir, dados un conjunto de probabilidades previas y alguna prueba nueva, el teorema de Bayes dicta de modo objetivo cuáles deben ser las probabilidades nuevas, las posteriores, vista dicha prueba. No hay ninguna diferencia a este respecto entre el bayesianismo y la lógica deductiva, puesto que la lógica tampoco tiene nada que decir acerca del origen de las proposiciones

que constituyen las premisas de una deducción; dice simplemente qué sigue de dichas proposiciones una vez que han sido dadas. Se puede llevar un paso más adelante la defensa bayesiana. Se puede argüir que las creencias de los científicos particulares, por mucho que difieran en un comienzo, convergen si reciben la información adecuada de las pruebas. Es fácil ver de manera informal cómo puede suceder esto. Supongamos que dos científicos comienzan estando fuertemente en desacuerdo acerca de la probable verdad de la hipótesis h , que predice un resultado experimental, inesperado de otro modo. El que atribuye una probabilidad alta a h pensará que e es menos improbable que aquel que asigna una probabilidad baja a h . De este modo, $P(e)$ será alta para el primero y baja para el segundo. Supongamos ahora que e se confirma experimentalmente. Los dos científicos tendrán que ajustar las probabilidades de h por un factor $P(e/h):P(e)$. Sin embargo, puesto que suponemos que e se sigue de h , $P(e/h)$ es 1 y el factor de escala es $1 : P(e)$. Por consiguiente, el científico que comenzó con una probabilidad baja para h la escalará con un factor mayor que el científico que comenzó con una probabilidad alta para h . Según llegan más pruebas positivas, el que dudaba al comienzo se verá obligado a escalar la probabilidad de manera tal que se aproximará eventualmente a la del científico ya convencido. De este modo, razonan los bayesianos, opiniones subjetivas que difieren grandemente pueden acercarse de una manera objetiva en respuesta a la evidencia.

APLICACIONES DE LA FÓRMULA DE BAYES

El párrafo anterior ha sido un anticipo de las formas en que los bayesianos intentan captar y sancionar modos típicos de razonar en ciencia. En esta sección mostraremos otros ejemplos de los bayesianos en acción.

En los capítulos anteriores señalamos que existe una ley de rendimientos decrecientes al comprobar una teoría con la experimentación. Tan pronto como una teoría ha sido confirmada por un experimento una vez, los científicos no considerarán que la repetición del mismo experimento bajo las mismas circunstancias confirme la teoría en tan alto grado como el primer experimento. Esto es explicado fácilmente

por los bayesianos. Si la teoría **T** predice el resultado experimental **E**, la probabilidad $P(E/T)$ es igual a 1, de modo que el factor por el que hay que aumentar la probabilidad de **T** en vista de un resultado positivo **E** es $1 : P(E)$. Cada vez que se lleva a cabo con éxito el experimento, más probable es que el científico espere que resulte de nuevo exitoso la vez siguiente. Esto es, $P(E)$ aumentará. Por consiguiente, la probabilidad de que la teoría sea correcta aumentará una pequeña cantidad en cada repetición.

Se pueden destacar otros puntos en favor del esquema bayesiano a la vista de ejemplos históricos. De hecho, creo que una razón clave para el prestigio ascendente de los bayesianos ha sido su actividad en casos históricos de la ciencia, tendencia que inició Jon Dorling (1979). En nuestro análisis de la metodología de Lakatos observamos que, según dicha metodología, lo importante es la confirmación de un programa, y no las falsaciones aparentes, que pueden achacarse a los supuestos del cinturón protector más que al núcleo central. Los bayesianos aseveran que pueden captar la racionalidad de esta estrategia. Veamos cómo lo hacen estudiando el ejemplo histórico utilizado por Howson y Urbach (1989, pp. 97-102).

El ejemplo se refiere a una hipótesis presentada por William Prout en 1815. Prout, impresionado por el hecho de que los pesos de los elementos químicos relativos al peso atómico del hidrógeno son, en general, cercanos a números enteros, conjeturó que los átomos de los elementos constan de números enteros de átomos de hidrógeno. Es decir, Prout pensó que los átomos de hidrógeno eran como ladrillos elementales de edificación. La cuestión sobre la mesa es cuál fue la respuesta racional de Prout y sus seguidores ante el hecho de que el peso atómico del cloro relativo al hidrógeno (medido en 1815) era de 38,53, esto es, no un número entero. La estrategia bayesiana es la de asignar probabilidades que reflejan las probabilidades previas que Prout y sus seguidores pudieran haber atribuido a su teoría, junto con los aspectos relevantes del conocimiento de fondo, y entonces usar el teorema de Bayes para calcular cómo cambian dichas probabilidades en vista del descubrimiento de una prueba problemática, la del valor no entero para el peso atómico del cloro. Howson y Urbach intentan mostrar que, cuando se hace así, el resultado es que la probabilidad de la hipótesis de Prout cae sólo un poco, mientras que la probabilidad de que las mediciones fueran precisas cae dramáticamente. En vista

de esto, parece bastante razonable que Prout retuviera la hipótesis (el núcleo central) y culpara a algunos aspectos del proceso de medición (el cinturón protector). Parecería que se ha proporcionado una racionalidad clara a lo que en la metodología de Lakatos aparecía como "decisiones metodológicas" que no estaban fundamentadas. Aún más, parecería que Howson y Urbach, que siguen en esto a Dorling, han dado una solución general al llamado "problema de Duhem-Quine". Frente al problema de qué parte de la red de supuestos tiene la culpa de una falsación aparente, la respuesta de los bayesianos es la de introducir las probabilidades previas apropiadas y calcular las probabilidades posteriores. Estas mostrarán qué supuestos se hundan hasta una probabilidad baja y, por consiguiente, qué supuestos deberían ser abandonados para maximizar la posibilidad de un éxito futuro.

No entraré en los detalles de los cálculos del caso Prout, ni de ningún otro ejemplo de los que han dado los bayesianos, pero sí diré lo suficiente para dar una idea de cómo proceden. La hipótesis **h** de Prout, y el efecto de la evidencia **e**, el peso atómico no entero del cloro, sobre la probabilidad que se le ha de asignar, debe ser enjuiciado en el contexto del conocimiento de fondo **a**. El aspecto más importante de este conocimiento de fondo es la confianza que se pueda tener en las técnicas disponibles para medir pesos atómicos y el grado de pureza de los materiales químicos. Es preciso estimar las probabilidades previas de **h**, **a** y **e**. Howson y Urbach sugieren un valor de 0,9 para $P(\mathbf{h})$, basándose en la evidencia histórica de que los proutianos estaban muy convencidos de la verdad de su hipótesis. Dan a $P(\mathbf{a})$ un valor algo más bajo de 0,6, sobre la base de que los químicos eran muy conscientes del problema de las impurezas y de que había variaciones en los resultados de diferentes mediciones del peso atómico de elementos particulares. Se fija la probabilidad $P(\mathbf{e})$ suponiendo que la alternativa a **h** es una distribución aleatoria de pesos atómicos; así, por ejemplo, a $P(\mathbf{e}/\text{no } \mathbf{h} \ \& \ \mathbf{a})$ se le asigna una probabilidad de 0,01, fundándose en que, si el peso atómico del cloro se distribuye aleatoriamente en un intervalo unidad, tendría una posibilidad de 1/100 de ser 35,83. Estas estimaciones de probabilidades, y algunas otras similares, se introducen en el teorema de Bayes para obtener las probabilidades posteriores $P(\mathbf{h}/\mathbf{e})$ y $P(\mathbf{a}/\mathbf{e})$, para **h** y **a**. El resultado es 0,878 para la primera y 0,073 para la última. Obsérvese que la probabilidad de **h**, la hipótesis de Prout, ha caído sólo una pequeña cantidad desde la original

de 0,9, mientras que la probabilidad de **a**, la suposición de que las mediciones son confiables, ha caído dramáticamente desde 0,6 hasta 0,073. Una respuesta razonable de los proutianos, concluyen Howson y Urbach, era mantener su hipótesis y dudar de las mediciones. Señalan que no importa mucho qué valores absolutos de los números se introducen en los cálculos, siempre que sean del orden que refleje las actitudes de los proutianos conservadas en la literatura histórica.

El esquema bayesiano se presta a criticar algunas de las concepciones comunes sobre la inconveniencia de las hipótesis *ad hoc* y otros asuntos relacionados con éste. Antes en este libro, propuse la idea, siguiendo a Popper; de que las hipótesis *ad hoc* no son deseables debido a que no son comprobables independientemente de las pruebas que condujeron a su formulación. Una idea relacionada con esto es que las pruebas que se usan para construir una teoría no pueden ser usadas de nuevo como prueba de dicha teoría. Desde el punto de vista bayesiano, aunque estas nociones proporcionan a veces respuestas adecuadas sobre la correcta confirmación de las teorías por las pruebas, otras veces se extravían y, lo que es más importante, es errónea la racionalidad que subyace. El intento de los bayesianos por hacerlo mejor es de la manera siguiente.

Los bayesianos concuerdan con la ampliamente extendida opinión de que una teoría es confirmada mejor por diversas clases de pruebas que por una de una clase en particular. Existe una racionalidad bayesiana simple que explica por qué esto debería ser así. La clave es que los esfuerzos por confirmar una teoría con una sola clase de pruebas tienen rendimientos decrecientes. Esto es consecuencia de que cada vez que se confirma la teoría por la misma prueba, aumenta gradualmente la probabilidad que expresa el grado de creencia de que se comportará en el futuro de la misma manera. En contraste, puede ser muy baja la probabilidad previa de que una teoría sea confirmada por una nueva clase de pruebas. En tales casos, al introducir los resultados de la confirmación, una vez que ésta sucede, en la fórmula bayesiana se consigue un aumento importante en la probabilidad asignada a la teoría. Así, no se discute la importancia de pruebas independientes. Sin embargo, Howson y Urbach insisten en que, desde el punto de vista bayesiano, si se han de desechar ciertas hipótesis por que son *ad hoc*, la razón correcta para hacerlo no es la ausencia de pruebas independientes. Más aún, niegan que los datos utilizados en la construcción de una teoría no puedan ser usados para confirmarla.

Una dificultad importante que encuentra el intento de excluir las hipótesis *ad hoc* por la exigencia de pruebas independientes es que esto es demasiado débil, y admite hipótesis de una manera que choca al menos con nuestras intuiciones. Por ejemplo, consideremos el intento de un rival de Galileo de mantener su suposición de que la Luna es esférica frente a las observaciones de Galileo de sus montañas y cráteres, proponiendo la existencia de una substancia transparente, cristalina, que envuelve la Luna observable. Este ajuste no puede ser rechazado por el criterio de comprobación independiente, porque fue probado independientemente, como lo demuestra el hecho de que ha sido refutado por la ausencia de interferencia de tales esferas cristalinas durante varios alunizajes. Greg Bamford (1993) ha destacado esto, junto con una serie de otras dificultades que surgen en los intentos de definir la noción de *ad hoc* por filósofos de la tradición popperiana, y sugiere que están tratando de definir una noción técnica para lo que en realidad no es más que una idea del sentido común. Aunque Bamford no hace su crítica desde un punto de vista bayesiano, la respuesta de Howson y Urbach es similar, en cuanto que sostienen que las hipótesis *ad hoc* son desechadas simplemente porque se consideran implausibles, y se les asigna una probabilidad baja debido a esto. Supongamos que una teoría **t** se encuentra en dificultades debido a alguna prueba problemática y es modificada añadiendo la suposición **a**, de modo que la nueva teoría **t** es (**t & a**). Entonces, un resultado directo de la teoría de probabilidades es que $P(\mathbf{t \& a})$ no puede ser mayor que $P(\mathbf{a})$. Por tanto, desde un punto de vista bayesiano, la teoría modificada tendrá una probabilidad baja simplemente sobre la base de que $P(\mathbf{a})$ es poco probable. La teoría del rival de Galileo podría ser rechazada por cuanto su sugerencia es implausible. No hay nada más en esto, ni nada más es necesario.

Volvamos ahora al caso del uso de datos para construir una teoría, y la negación de que esos datos puedan ser tomados en cuenta para soportarla. Nowson y Urbach (1989, pp. 275-80) dan ejemplos en contra. Consideremos una urna que contiene bolas e imaginemos que comenzamos con la suposición de que todas las bolas son blancas y ninguna de color. Supongamos que sacamos bolas mil veces, reemplazando la bola y sacudiendo la urna tras cada saque, y que el resultado es que hay 495 bolas blancas. Ajustamos ahora nuestra hipótesis de modo que sea que la urna contenga bolas blancas y de color en números

iguales. ¿Está esta hipótesis soportada por la prueba usada para llegar a los números iguales de la revisión? Howson y Urbach sugieren, razonablemente que sí lo está y muestran por qué sobre fundamentos bayesianos. El factor crucial que lleva a que aumente la probabilidad de la hipótesis de los números iguales, de resultados del experimento que sacó 495 bolas blancas, es la probabilidad de sacar ese número si la hipótesis de los números iguales es falsa. Una vez que se ha acordado que esa probabilidad es pequeña, el resultado de que el experimento confirme la hipótesis de los números iguales sigue directamente del cálculo bayesiano, a pesar de que la hipótesis fue usada en la construcción de los datos.

Algunas versiones de la crítica típica que se le hace a menudo al esquema bayesiano son sorprendentes, pero creo que la interpretación defendida por Howson y Urbach pueden contrarrestarlas. Para utilizar el teorema de Bayes es necesario poder evaluar $P(e)$, la probabilidad previa de la prueba que se está considerando. En un contexto en el que se estudia h , es conveniente escribir $P(e)$ como $P(e/h) \cdot P(h) + P(e/\text{no } h) \cdot P(\text{no } h)$, una identidad inmediata en teoría de probabilidades. El bayesiano necesita poder estimar la probabilidad de la evidencia suponiendo que la hipótesis es verdadera, que bien pudiera ser la unidad si la evidencia se deduce de la hipótesis, pero también la probabilidad de la evidencia de ser falsa la hipótesis. Este es el factor problemático. Parecería que es necesario estimar la posibilidad de la prueba a la luz de todas las hipótesis que no son h . Esto parece un obstáculo importante, puesto que ningún científico particular puede estar en posición de conocer todas las posibles alternativas a h , especialmente si, como ha sugerido alguien, deben incluirse todas las hipótesis no inventadas todavía. La respuesta que les queda a Howson y Urbach es insistir en que las probabilidades de su cálculo bayesiano representan probabilidades personales, esto es, probabilidades que los individuos atribuyen de hecho a varias proposiciones. El valor de la probabilidad de que cierta prueba sea verdadera respecto de las alternativas a h será decidido por el científico a luz de lo que en su caso sepa (lo que ciertamente excluirá las hipótesis aún no inventadas). Así, por ejemplo, al ocuparse del caso Prout, Howson y Urbach suponen que la única alternativa posible a la hipótesis de Prout es la de que los pesos atómicos estén distribuidos aleatoriamente, basándose en la evidencia histórica de que ésta era la alternativa en que pensaban los

proutianos. Howson y Urbach pueden evitar los problemas particulares mencionados aquí dada la naturaleza totalizadora de su paso a las probabilidades subjetivas.

En el cuadro que he dibujado de los elementos del análisis bayesiano de la ciencia, me he concentrado principalmente en la posición diseñada por Howson y Urbach porque me parece que es la que está más libre de inconsistencias. Debido a la forma como interpretan las probabilidades, en términos de los grados de creencia que tienen de hecho los científicos, su sistema permite que se atribuyan probabilidades distintas de cero a teorías e hipótesis, da cuenta precisa de cómo se deben modificar las probabilidades vistas las pruebas, y es capaz de ofrecer una racionalidad de lo que muchos piensan que son los rasgos clave del método científico. Howson y Urbach adornan su sistema con el estudio de casos históricos.

CRÍTICA DEL BAYESIANISMO SUBJETIVO

Como hemos visto, el bayesianismo subjetivo, el punto de vista que consistentemente comprende las probabilidades como el grado de creencia que los científicos tienen de hecho, tiene la ventaja de evitar muchos de los problemas que acosan a las alternativas bayesianas que buscan probabilidades objetivas de algún tipo. El paso a las probabilidades subjetivas es para muchos un precio demasiado alto a pagar por el lujo de poder asignar probabilidades a las teorías. Una serie de consecuencias desafortunadas siguen tan pronto como se aceptan las probabilidades subjetivas en la medida en que Howson y Urbach, por ejemplo, insisten en que las aceptemos.

El cálculo bayesiano es descrito como un modo objetivo de inferencia que sirve para transformar probabilidades previas en probabilidades posteriores en vista de las pruebas aportadas. Si vemos así las cosas, la consecuencia es que cualquier desacuerdo en la ciencia entre proponentes de programas de investigación rivales, paradigmas, o lo que sea, reflejado en las creencias (posteriores) de los científicos, debe tener su origen en las probabilidades previas sostenidas por los científicos, puesto que se supone que las pruebas son dadas y se considera que la inferencia es objetiva. Pero las probabilidades previas son totalmente

subjetivas y no están sujetas a un análisis crítico. Reflejan simplemente el grado variable de creencia que tiene de hecho cada científico en particular. Por consiguiente, quienes de nosotros suscitan preguntas acerca de los méritos relativos de las teorías en competencia y acerca del sentido en que se puede decir que la ciencia progresa, no recibirán respuesta de los bayesianos subjetivos, a no ser que se conformen con la referencia a las creencias que los científicos individualmente sucede que tienen para comenzar su trabajo.

Si el bayesianismo subjetivo es la clave para comprender la ciencia y su historia, una de las fuentes más importantes de información a la que necesitamos tener acceso para dicha comprensión es el grado de creencia que los científicos tienen o tuvieron. (La otra fuente de información son las pruebas, lo cual se analizará más adelante). Así, por ejemplo, para entender la superioridad de la teoría ondulatoria de la luz sobre la teoría corpuscular, será preciso algún conocimiento de los grados de creencia que Fresnel y Poisson, por ejemplo, aportaron al debate a principios de los años treinta del siglo pasado. Hay dos problemas en esto. Uno es el de poder acceder al conocimiento de grados privados de creencia. (Recuérdese que Howson y Urbach distinguen entre creencias privadas y actos, e insisten que su teoría trata de las primeras, de modo que no podemos inferir creencias de los científicos a partir de lo que hacen, o incluso de lo que escriben.) El segundo problema es la implausibilidad de la idea de que necesitemos tener acceso a las creencias privadas para captar el sentido en que, digamos, la teoría ondulatoria de la luz representaba un adelanto respecto de su predecesora. El problema se intensifica cuando observamos el grado de complejidad de la ciencia moderna y la medida en que implica trabajo en colaboración. (Recuérdese mi comparación, en el capítulo 8, con los obreros que construyen una catedral). Un ejemplo extremo, y revelador, es la descripción que hace Peter Galison (1997) de la naturaleza del trabajo en la física fundamental de partículas actual, en donde se hace intervenir abstrusas teorías matemáticas para explicar el mundo, a través de un trabajo experimental que involucra elaboradas técnicas informáticas y una instrumentación de la ingeniería más avanzada. En situaciones como ésta no existe una persona que capte todos los aspectos del complejo trabajo. El físico teórico, el programador de ordenadores, el ingeniero mecánico y el físico experimentador, todos tienen habilidades distintas que se reúnen para ayudar en una empresa

en colaboración. Si hay que entender la progresividad de esta empresa centrándose en los grados de creencia, ¿de quién será el grado de creencia que elijamos, y por qué?

El hecho de que los grados de creencia dependen de las probabilidades previas en el análisis de Howson y Urbach es el origen de otro problema. Parecería que, con tal que un científico crea con bastante fuerza en su teoría (y no hay nada en el bayesianismo subjetivo que impida grados de creencia tan fuertes como se quiera), ninguna prueba en contrario, por muy sólida o amplia que sea, le debilitará su creencia. Este aspecto queda ilustrado por el caso de Prout, precisamente el estudio que aportan Howson y Urbach en apoyo de su postura. Recordemos que en dicho estudio los proutianos comenzaban con una probabilidad previa de 0,9 para su teoría de que los pesos atómicos son múltiplos del peso atómico del hidrógeno, y una probabilidad previa de 0,6 para la suposición de que las mediciones del peso atómico reflejaban con una precisión razonable el peso atómico real. Las probabilidades posteriores, calculadas en vista del valor de 35,83 obtenido para el cloro, eran de 0,878 para la teoría de Prout y 0,073 para la suposición de que los experimentos eran confiables. Así, los proutianos estaban en lo correcto al aferrarse a su teoría y desechar las pruebas. He de señalar aquí que el incentivo original detrás de la hipótesis de Prout eran los valores enteros de una serie de pesos atómicos de elementos distintos del cloro, medidos por las mismas técnicas que los proutianos consideraban ahora tan poco dignas de confianza que le asignaban una probabilidad tan baja como 0,073. ¿No revela esto en primer lugar que si los científicos son lo bastante dogmáticos pueden acomodar cualquier prueba adversa? Si es así, el bayesiano subjetivo no tiene ninguna manera de tildar tal actividad de mala práctica científica. No se pueden enjuiciar las probabilidades previas. Deben ser aceptadas tal y como son dadas. Como los propios Howson y Urbach (1989, p. 273) subrayan, ellos "no están obligados a legislar nada en relación con los métodos que adopte la gente a la hora de asignar probabilidades previas"

Los bayesianos parecen oponerse a la afirmación popperiana de que la probabilidad de todas las teorías debe ser cero, por cuanto identifican las probabilidades con los grados de creencia que puedan tener de hecho los científicos. Sin embargo, la posición bayesiana no es tan sencilla, pues les es necesario asignar probabilidades contrastadas

con los hechos, que no pueden ser identificadas simplemente con los grados de creencia que en realidad se tengan. Veamos como ejemplo el problema de cómo ha de contar en la teoría la evidencia anterior. ¿Cómo pueden las observaciones de la órbita de Mercurio ser una confirmación de la teoría general de la relatividad, si las observaciones precedieron a la teoría en vanas décadas? Para calcular la probabilidad de la teoría de Einstein a la luz de esta evidencia, el bayesiano subjetivo tiene que, entre otras cosas, proporcionar una medida a la probabilidad que un seguidor de Einstein habría dado a la posibilidad de que la órbita de Mercurio tuviera la precesión que tiene *sin conocimiento de la teoría de Einstein*. Esta probabilidad no es una medida del grado de creencia que un científico tiene en realidad, sino una medida del grado de creencia que habría tenido de no haber sabido lo que de hecho sabe. Por decirlo de una manera suave, la condición de estos grados de creencia, y la dificultad de cómo valorarlos, plantean serios problemas.

Volvamos ahora a la naturaleza de las "pruebas", tal como figuran en el bayesianismo subjetivo. Hemos tratado las pruebas como algo dado y que se introduce en el teorema de Bayes para convertir probabilidades previas en probabilidades posteriores. Sin embargo, como debería de haber quedado claro del análisis de los primeros capítulos de este libro, las pruebas están lejos de ser dadas directamente en la ciencia. La postura que adoptan Howson y Urbach (1989, p. 272) es explícita y está totalmente de acuerdo con su esquema general.

La teoría bayesiana que proponemos es una teoría de inferencia a partir de datos. No decimos nada sobre si es correcto aceptar los datos, ni siquiera cuando la convicción es absoluta. Pudiera no ser así, y sería una locura concederle esa confianza. La teoría de apoyo bayesiana es una teoría sobre cómo el dar por verdaderos unos enunciados de prueba afecta a la creencia en algunas hipótesis. Cómo se llega a aceptar la verdad de las pruebas y si se está en lo correcto al aceptarlas como verdaderas, son asuntos irrelevantes desde el punto de vista de la teoría.

Ésta es, con seguridad, una posición inaceptable por parte de quienes intenten escribir un libro sobre el *razonamiento científico*, pues ¿no es cierto que buscamos una descripción de lo que cuenta como prueba apropiada en ciencia? Ciertamente, un científico no responderá, ante una afirmación de alguna prueba, preguntándole al

científico que la hace con qué fuerza la cree, sino buscando información sobre la naturaleza del experimento que proporcionó la prueba, qué precauciones se tomaron, cómo se estimaron los errores, etc. Se le exigirá a una buena teoría del método científico que dé una descripción de las circunstancias bajo las cuales se puede considerar que las pruebas son adecuadas e indique con precisión las normas que *debería* respetar el trabajo empírico en ciencia. Los científicos experimentales, ciertamente, cuentan con muy numerosos medios para desechar un trabajo mal hecho, y no apelando a grados subjetivos de creencia.

En particular si están respondiendo a las críticas, Howson y Urbach acentúan la medida en que tanto la probabilidad previa como las pruebas que se han de introducir en el teorema de Bayes son grados subjetivos de creencia sobre los que el bayesianismo subjetivo no tiene nada que decir. Pero ¿cómo se puede llamar a lo que queda de su posición una teoría del método científico? Todo lo que queda es un teorema del cálculo de probabilidades. Supongamos que concedemos a Howson y Urbach que este teorema, tal y como ellos lo interpretan, es en verdad un teorema de rango igual a la lógica deductiva. Esta concesión sirve para resaltar lo limitado de su postura. Todo lo que su teoría del método científico dice acerca de la ciencia equivale a la observación de que la ciencia se adhiere a los dictados de la lógica deductiva. La gran mayoría, al menos, de los filósofos de la ciencia no tendrían ningún problema en aceptar que la ciencia da por válida la lógica deductiva, pero desearían que se les dijera mucho más.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Dorling (1979) fue un artículo influyente que asentó el bayesianismo subjetivo en su tendencia moderna, y Howson y Urbach (1989) es una defensa sostenida y descarada. Horwich (1982) es otro intento de entender la ciencia en término de probabilidad subjetiva. Rosenkrantz (1977) es un intento de desarrollar una descripción bayesiana de la ciencia incluyendo probabilidades objetivas. Earman (1992) es una defensa crítica, aunque técnica, del programa bayesiano. Mayo (1996) contiene una crítica sostenida al bayesianismo.

13. EL NUEVO EXPERIMENTALISMO

INTRODUCCIÓN

Con ver un fracaso en la nueva concepción bayesiana de la inferencia científica no avanzaremos mucho en la caracterización de lo que es distintivo del conocimiento científico. Popper planteó problemas al positivismo y al inductivismo al subrayar la dependencia de la teoría que tiene la observación y el hecho de que las teorías siempre trascienden las pruebas, de modo que nunca pueden derivarse de ellas. La concepción de Popper de la ciencia se basaba en la idea de que las mejores teorías son aquellas que sobreviven las pruebas más severas. Sin embargo, su concepción era incapaz de servir de guía acerca de cuándo la responsabilidad de una prueba fallida debería recaer en la teoría, y no en algún elemento del trasfondo de conocimientos; no pudo decir tampoco nada lo bastante positivo acerca de las teorías que han sobrevivido a las pruebas. Todos los intentos subsiguientes que hemos discutido implicaban llevar más *lejos* que Popper la idea de la dependencia de la teoría. Lakatos introdujo los programas de investigación, a mantener o desechar según decisiones convencionales, que consistían, por ejemplo, en culpar de las falsaciones aparentes a las hipótesis auxiliares y no a los principios del núcleo central. Sin embargo, no pudo proporcionar los fundamentos de tales decisiones, que, en todo caso, eran demasiado débiles para especificar cuándo había llegado el momento de abandonar un programa de investigación en favor de otro. Kuhn introdujo los paradigmas en lugar de los programas de investigación, ocasionando así un elemento de dependencia del paradigma de mucho más alcance que la dependencia de la teoría de Popper, de tal modo que Kuhn se tropezaba con más dificultades que Lakatos a la hora de dar respuesta clara a la cuestión del sentido en que se puede decir que un paradigma representa un avance respecto de aquél al que reemplaza. Se puede decir que Feyerabend lleva hasta

el extremo el movimiento de dependencia de la teoría al abandonar la idea de métodos y normas específicos de las ciencias y adhiriéndose a Kuhn en calificar las teorías rivales de inconmensurables. Los bayesianos pueden ser considerados también como partícipes de lo que llamo la tradición de la dependencia de la teoría. Para ellos, las suposiciones teóricas de fondo, que informan el juicio acerca de los méritos de las teorías científicas, son incorporadas mediante las probabilidades previas.

Para un cierto grupo de filósofos, el cúmulo de problemas que afligen a la filosofía de la ciencia contemporánea deben ser afrontados abordando en sus fuentes los movimientos hacia la dependencia radical de la teoría. Si bien no desean regresar a la idea positivista de que los sentidos proporcionan una base para la ciencia sin problemas, sí buscan una base relativamente segura, no en la observación sino en el experimento. Seguiré a Robert Ackermann (1989) y me referiré a esta tendencia reciente como "el nuevo experimentalismo". Según sus proponentes, los experimentos pueden tener, en palabras de Ian Hacking (1983, p. vii) "vida propia", independiente de la teoría de gran alcance. Se dice que los experimentalistas tienen una serie de estrategias prácticas para establecer la realidad de los efectos experimentales sin necesidad de recurrir a una teoría de gran alcance. Mas aún, si se considera el progreso científico como la acumulación del conocimiento experimental, se puede entonces restablecer la idea de progreso acumulativo en la ciencia, sin la amenaza de las afirmaciones de que existen las revoluciones científicas que implican cambios en las grandes teorías.

EL EXPERIMENTO CON VIDA PROPIA

Comenzamos esta sección con un relato histórico, tomado en gran parte de Gooding (1990). A finales del verano de 1820 llegó a Gran Bretaña información del descubrimiento de Oersted de que el efecto magnético de un alambre que transporta una corriente circula en cierto modo alrededor del alambre. Faraday llevó a cabo un trabajo experimental con el fin de esclarecer el significado de este descubrimiento y de desarrollarlo más. Al cabo de unos pocos meses había construido

lo que, en efecto, era un motor eléctrico primitivo. Selló con corcho un tubo de vidrio por los dos extremos. Un alambre que atravesaba el corcho superior por su centro terminaba en un gancho del que pendía verticalmente un segundo alambre. Su extremo inferior era libre de girar alrededor de la punta de un cilindro de hierro dulce que penetraba en la base del cilindro a través del corcho. Se mantenía un contacto eléctrico entre el extremo inferior del alambre colgante y la pieza de hierro mediante un depósito de mercurio sobre el corcho inferior. Para activar este "motor", se colocaba un polo de una barra magnética adyacente a la punta de la pieza de hierro que emergía del corcho inferior, a la vez que un alambre conductor conectaba la pieza de hierro al cable que salía del corcho superior a través de una pila eléctrica. La corriente causaba que el extremo inferior del alambre colgante girara alrededor de la pieza magnetizada de hierro, manteniéndose en contacto con el mercurio mientras giraba. Faraday envió enseguida modelos del aparato a sus colegas de toda Europa, junto con instrucciones de cómo hacerlo funcionar. Les indicaba que podían invertir el sentido del giro, bien invirtiendo las conexiones a la batería, bien el imán.

¿Es útil, o es apropiado, considerar que este hallazgo de Faraday es dependiente de la teoría y falible? Se puede decir que depende de la teoría en sentido muy débil. Los competidores de Faraday en el continente no habrían sido capaces de seguir sus instrucciones si no hubieran sabido qué eran un imán, el mercurio o una pila eléctrica. Pero esto no significa nada más que la refutación de la idea extrema empirista de que los hechos deben ser establecidos directamente por la entrada de datos sensoriales a la mente, que no conocería nada de ninguna otra manera. Nadie puede negar la afirmación de que quien no distingue un imán de una zanahoria no está en capacidad de apreciar qué es un hecho verificado en electromagnetismo. Seguramente no es sensato usar el término teoría en un sentido tan general que permita hacer una teoría con "los imanes no son zanahorias". Aún más, interpretar toda frase como "dependiente de la teoría" no ayuda a entender las diferencias reales entre personalidades del estilo de Faraday y Ampere. Como es bien sabido, Faraday trataba de comprender los fenómenos eléctrico y magnético en términos de líneas de fuerza que parten de cuerpos cargados eléctricamente y cubren el espacio que los rodea, mientras que los teóricos del continente pensaban en fluidos

eléctricos existentes en los cuerpos aislantes y que fluían por conductores, con elementos del fluido actuando entre sí a distancia. Estas eran las teorías en juego, y la apreciación del efecto de motor de Faraday no era "dependiente de la teoría" en el sentido de que dependiera de la aceptación o el conocimiento de alguna versión de una de las teorías rivales. Dentro del electromagnetismo de la época, el motor de Faraday constituía un efecto verificado experimentalmente y neutro respecto de las teorías, y todas éstas estaban obligadas a tomarlo en cuenta.

Tampoco sirve de ayuda considerar que el efecto de motor de Faraday es falible. Es cierto que los motores de Faraday no funcionan a veces, porque el imán es demasiado débil, o porque el alambre está tan inmerso en el mercurio que encuentra una resistencia excesiva a la rotación, o por cualquier otra causa. Por consiguiente, es falso el enunciado "todo alambre, colocado en una disposición experimental de acuerdo con la descripción de Faraday, gira". Pero esto indica simplemente que es inapropiado tratar de captar la esencia del descubrimiento de Faraday con enunciados de este tipo. Faraday descubrió un efecto experimental nuevo, lo demostró construyendo una versión de su aparato que funcionaba y dio instrucciones a sus competidores que les permitieron construir aparatos que también funcionaban. El fallo ocasional no es ni sorprendente ni relevante. La explicación teórica del motor de Faraday que sería aceptada hoy difiere en aspectos importantes de las ofrecidas por Faraday y Ampere, pero permanece el hecho de que los motores de Faraday normalmente funcionan. Es difícil imaginar cómo los adelantos futuros en la teoría podrían llevar a la conclusión de que los motores de Faraday no funcionan (aunque bien pudieran quedar anticuados por algún descubrimiento futuro de otros efectos experimentales). Visto de este modo, los efectos experimentales que se pueden producir de modo controlado no son falibles, están ahí para siempre. Más aún, si entendemos el progreso en ciencia en términos de la acumulación de tales efectos, tenemos entonces una comprensión de su crecimiento que es independiente de la teoría.

Un segundo ejemplo servirá también de apoyo a este modo de ver las cosas. El detallado estudio de Jed Buchwald (1989) sobre la carrera experimental de Heinrich Hertz señala en qué medida Hertz intentó producir efectos experimentales nuevos. Algunas de sus pretensiones no recibieron la aceptación general, y no es difícil ver por qué. Hertz

había estudiado el electromagnetismo a través de Helmholtz y veía las cosas en términos del marco teórico de éste, que era uno más de los diversos modos que había en la época de acercarse al electromagnetismo (las alternativas principales eran las de Weber y Maxwell). Sólo se podía apreciar y defender, que los descubrimientos experimentales de Hertz constituían efectos nuevos, si se apreciaban y defendían los detalles refinados de la interpretación teórica que Hertz dio a sus hallazgos. Estos resultados dependían de la teoría en alto grado, y, como un nuevo experimentalista podría bien argüir, ésta es precisamente la razón por la cual no se aceptaba generalmente que constituyeran efectos nuevos. Las cosas fueron completamente distintas tan pronto como Hertz produjo ondas eléctricas. Se podía demostrar que tales ondas existían de manera independiente de cuál fuera la teoría general que se aceptara. Hertz fue capaz de exhibir este nuevo efecto de modo controlado. Produjo ondas estacionarias y mostró que pequeños detectores soltaban un chisporroteo máximo en las crestas y ninguno en los nodos. En absoluto consiguió esto fácilmente, ni se podían reproducir los resultados con facilidad, como encontró Buchwald al tratar de repetirlos. Pero yo no estoy diciendo que los experimentos fueran fáciles, digo simplemente que el hecho de que los experimentos demostraran la existencia de un nuevo fenómeno producido experimentalmente se podía apreciar sin el recurso a una u otra de las teorías electromagnéticas en competencia, y esto lo prueba la rapidez con la que las ondas de Hertz fueron aceptadas en todas partes.

Por lo tanto, la producción de efectos experimentales controlados puede lograrse y ser apreciada independientemente de las teorías de alto nivel. En una vena similar, el nuevo experimentalista podrá señalar una serie de estrategias de que disponen los experimentadores para verificar sus afirmaciones que no implican llamada alguna a ninguna teoría de alto nivel. Consideremos, por ejemplo, cómo argüiría un experimentalista que una observación particular mediante un instrumento representa algo real y no un artificio. Los relatos de Ian Hacking (1983, pp. 186-209) en referencia al uso del microscopio ilustran bien este punto. Se graba en un trozo de cristal una retícula en miniatura con cuadrados rotulados y se la reduce después fotográficamente de manera que los rótulos quedan invisibles. Se mira la retícula reducida en el microscopio y aparece completa, con los cuadrados rotulados. Ya esto es una indicación de que el microscopio magnífica, y

lo hace de forma confiable, un hecho, por cierto, que no depende de una teoría que explique cómo funciona un microscopio. Pensemos ahora en un biólogo que mira a través de un microscopio electrónico una placa de glóbulos rojos montada sobre la retícula. (Hacking informa de una secuencia real contada por un científico.) Se observan algunos cuerpos densos dentro de la célula. El científico se pregunta si están dentro de la célula o son artificios del instrumento. (Sospecha lo segundo.) Anota cuáles de los cuadrados en la retícula contienen los cuerpos densos. Mira a continuación la muestra en un microscopio de fluorescencia y observa que los mismos cuerpos aparecen de nuevo en la misma situación en la retícula. No puede haber ninguna duda de que lo que ha observado representa cuerpos en la sangre y no artificios. Todo lo que se necesita conocer para que este razonamiento sea convincente es que los dos microscopios funcionan según principios físicos completamente distintos, de modo que la posibilidad de que ambos produzcan los mismos artificios es altamente improbable. El razonamiento no requiere un conocimiento preciso del funcionamiento de ninguno de los instrumentos.

DEBORAH MAYO SOBRE LA PRUEBA EXPERIMENTAL RIGUROSA

Deborah Mayo (1996) es una filósofa de la ciencia que ha intentado captar las implicaciones del nuevo experimentalismo de un modo filosóficamente riguroso. Mayo se centra en la forma detallada como las afirmaciones se validan por los experimentos y se ocupa de identificar precisamente cuáles afirmaciones resultan justificadas y cómo lo son. Una idea clave que subyace su tratamiento es que sólo se puede decir que una afirmación está soportada por un experimento si se han investigado y eliminado las diversas maneras en que la afirmación pudiera ser equivocada. Sólo se puede decir que una afirmación ha sido soportada por el experimento si ha sido probada rigurosamente por él, y una prueba rigurosa, tal y como la interpreta convenientemente Mayo, debe ser tal que la afirmación no pasaría probablemente la prueba de ser falsa.

Se puede ilustrar su idea con algunos ejemplos sencillos. Supongamos que se prueba la ley de Snell de la refracción de la luz mediante

experimentos muy toscos en los que amplios márgenes de error son atribuibles a las mediciones de ángulos de incidencia y refracción, y supongamos que los resultados muestran ser compatibles con la ley dentro de estos márgenes. ¿Ha sido verificada la ley por experimentos que la han ensayado rigurosamente? Desde la perspectiva de Mayo, la respuesta es no, porque, debido a la tosquedad de las mediciones, la ley de refracción podría pasar la prueba aunque fuera falsa, y verdadera otra ley que no difiriera mucho de la de Snell. Un ejercicio que guié durante mis días de maestro sirve para elucidar este punto. Mis estudiantes habían realizado algunos experimentos no muy cuidadosos para probar la ley de Snell. Entonces les presenté algunas leyes alternativas de la refracción que fueron propuestas en la Antigüedad y en la Edad Media, antes del descubrimiento de la ley de Snell, e invité a los estudiantes a ensayarlas con las mediciones que habían usado para probar la ley de Snell. Todas las leyes alternativas pasaron la prueba, debido a los amplios márgenes de error que habían atribuido a sus medidas. Esto demuestra claramente que los experimentos en cuestión no constituían una prueba rigurosa de la ley de Snell. La ley habría pasado la prueba incluso si hubiera sido falsa, y verdadera una de las alternativas históricas.

Un segundo ejemplo servirá para ilustrar las razones que hay detrás de la postura de Mayo. Tomé dos tazas de café esta mañana y tengo dolor de cabeza esta tarde. ¿Se confirma así la afirmación: “el café de la mañana me produjo el dolor de cabeza”? La postura de Mayo capta la razón por la cual la respuesta es “no”. Antes de que se pueda decir que la afirmación ha sido probada rigurosamente, y por lo tanto confirmada, debemos eliminar los modos diversos en que la afirmación podría estar equivocada. Quizás mi dolor de cabeza se deba a la cerveza vietnamita particularmente fuerte que bebí anoche, o al hecho de que me levanté temprano, o que me estoy encontrando con que esta sección es particularmente difícil de escribir, etc. Si ha de ser verificada una conexión causal entre beber café y dolores de cabeza, será necesario llevar a cabo experimentos controlados que sirvan para eliminar otras posibles causas. Debemos tratar de establecer resultados muy poco probables de ocurrir a menos que en efecto el café cause dolores de cabeza. Un experimento constituye un soporte de una afirmación sólo si se han eliminado las posibles fuentes de error, de modo que la afirmación no pasaría probablemente la prueba a menos de ser

cierta. Esta idea sencilla sirve para captar algunas intuiciones comunes acerca del razonamiento experimental de modo nítido y Mayo las amplía con el objeto de ofrecer algunas visiones estimulantes.

Consideremos la llamada “paradoja de la tachuela”, que voy a ilustrar con un ejemplo. Imaginemos que la teoría de Newton, T , ha sido confirmada observando minuciosamente el movimiento de un cometa y que se ha cuidado de eliminar fuentes de error debidas a la atracción de planetas vecinos, a la refracción de la atmósfera terrestre, etc. Supongamos que ahora construimos la teoría T' adhiriendo a la teoría de Newton, como con una tachuela, un enunciado del tipo de “las esmeraldas son verdes”. ¿Queda confirmada T' por la observación del cometa? Si sostenemos que una predicción p confirma una teoría si p se sigue de la teoría y es confirmada en un experimento, entonces T' (y un gran número de teorías construidas de forma similar) es confirmada por las observaciones en cuestión, en contra de nuestras intuiciones. De aquí la “paradoja de la tachuela”. Sin embargo, desde el punto de vista de Mayo no se confirma la teoría y la “paradoja” queda disuelta. Dados nuestros supuestos acerca de la eliminación de las posibles fuentes de error, podemos decir que era poco probable que la órbita del cometa se hubiera adecuado a la predicción newtoniana de no ser cierta la teoría de Newton. No se puede decir lo mismo acerca de T' , puesto que la probabilidad de que el cometa responda a la predicción newtoniana quedaría totalmente inalterada si algunas esmeraldas fueran azules y, por tanto, T' falsa. T' no es confirmada por el experimento en cuestión porque este experimento no ensaya las diversas maneras como “las esmeraldas son verdes” podría ser falso. Las observaciones de los cometas pueden probar rigurosamente T , pero no T' .

Mayo amplía esta línea de razonamiento a casos menos triviales. Insiste en tener a raya la especulación teórica identificando las conclusiones teóricas que van más allá de la evidencia experimental alcanzada. Su análisis de la prueba hecha por Eddington de la predicción de Einstein sobre la curvatura de la luz en un campo gravitacional aclara este punto.

Eddington aprovechó un eclipse de sol para observar la posición relativa de estrellas cuya posición hacia que su luz pasara cerca del sol en su camino hacia la tierra. Comparó las posiciones relativas con las que observó más tarde dentro del año, cuando las estrellas ya no estaban alineadas y próximas al Sol. Se detectó una diferencia medible.

Mirando los detalles de los experimentos del eclipse, Mayo argumenta que la ley de la gravedad de Einstein, que es consecuencia de su teoría general de la relatividad, fue confirmada, pero que la propia teoría general de la relatividad no lo fue. Veamos por qué.

Si se acepta que los experimentos del eclipse confirman la teoría general de la relatividad, debe ser posible argumentar que los resultados tenían escasa probabilidad de ocurrir si la teoría general fuera falsa. Deberíamos ser capaces de eliminar lazos erróneos entre la teoría general y los resultados. Esto no era posible en el caso en cuestión porque, de hecho, existe toda una serie de teorías del espacio-tiempo y la teoría de Einstein es sólo una de ellas. Todas predicen la ley de la gravedad de Einstein y, por lo tanto, los resultados de los experimentos del eclipse. Si una de estas teorías fuera verdadera, y la de Einstein falsa, podrían esperarse exactamente los mismos resultados de dichos experimentos. Por consiguiente, los experimentos no constituían una prueba rigurosa de la teoría general de Einstein. No servían para distinguir entre ésta y las alternativas conocidas. Afirmar que los experimentos del eclipse soportan la teoría general de la relatividad es ir más allá de lo que prueba la evidencia experimental.

La situación es distinta cuando se considera la afirmación más restringida de que los experimentos del eclipse confirmaban la ley de gravedad de Einstein. Ciertamente, las observaciones estaban de acuerdo con la ley, pero, antes de que sea lícito aceptarlas como prueba de la ley, debemos eliminar otras posibles causas de la adecuación. Sólo entonces podremos decir que los desplazamientos observados no habrían ocurrido de no ser cierta la ley de Einstein. Mayo presenta con algún detalle cómo fueron consideradas y eliminadas las alternativas a la ley de Einstein, incluyendo las alternativas newtonianas, derivadas de la ley de atracción de la inversa de los cuadrados entre el Sol y los fotones con una masa supuesta. La ley de la gravedad de Einstein fue rigurosamente probada por los experimentos del eclipse y la teoría general de la relatividad no.

Los nuevos experimentalistas se ocupan generalmente de captar un dominio del conocimiento experimental que pueda ser confiablemente verificado independientemente de una teoría de alto nivel. La postura de Mayo se ajusta bien a esta aspiración. Desde su punto de vista, las leyes experimentales pueden ser confirmadas mediante ensayos rigurosos según las líneas expuestas antes. El crecimiento del

conocimiento científico debe entenderse como la acumulación y extensión de tales leyes.

APRENDIZAJE POR EL ERROR Y REVOLUCIONES DESENCADENANTES

Los resultados experimentales confirman una afirmación cuando se puede argumentar que están libres de error y cuando los resultados no serían probables si fuera falsa. No obstante, hay algo más que esto en el enfoque de Mayo sobre la importancia del error experimental. Se ocupa de cómo los experimentos bien realizados nos permiten aprender del error. Visto desde esta perspectiva, un experimento que sirve para detectar un error en un aserto previamente aceptado, cumple tanto una función positiva como negativa. Es decir, no sirve sólo como falsación del aserto, sino que también identifica positivamente un efecto que no se conocía antes. El papel positivo de la detección de un error en ciencia se ilustra bien con la reformulación que hace Mayo de la noción de ciencia normal de Kuhn.

Recordemos nuestro examen, en el capítulo 8, de las respuestas en conflicto dadas por Popper y Kuhn a la pregunta de por qué la astrología falla a la hora de ser calificada de ciencia. Según Popper, la astrología no es una ciencia porque es infalsable. Kuhn señala que esto es inadecuado porque la astrología era (y es) falsable. En los siglos XVI y XVII, cuando la astrología era "respetable", los astrólogos hacían predicciones comprobables, muchas de las cuales resultaron falsas. Las teorías científicas también hacen predicciones que resultan ser falsas. La diferencia, según Kuhn, consiste en que la ciencia es capaz de aprender constructivamente de las "falsaciones", mientras que la astrología no. Para Kuhn, existe en la ciencia normal una tradición de resolver problemas que faltaba en la astrología. Hay más en la ciencia que la falsación de teorías. Está también la manera como se superan constructivamente las falsaciones. Resulta irónico desde este punto de vista que Popper, que caracterizó alguna vez su propio método con el lema "aprendemos de nuestros errores", fallara justamente porque su concepción negativa, falsacionista, no captó un concepto adecuado positivo de cómo la ciencia aprende de sus errores (falsaciones).

Mayo se pone en esto del lado de Kuhn, al identificar ciencia normal con experimentación. Veamos algunos ejemplos del papel positivo que desempeña la detección de errores. La observación de los rasgos problemáticos de la órbita de Urano presentaba dificultades a la teoría newtoniana, dentro del trasfondo del conocimiento de la época. Pero el lado positivo del problema fue que se pudo averiguar el origen de la dificultad, lo que condujo al descubrimiento de Neptuno de la forma que ya hemos descrito. Otro episodio que mencionamos antes se refiere a los experimentos de Hertz sobre los rayos catódicos, que le llevaron a concluir que no eran desviados por un campo eléctrico. J. J. Thomson pudo demostrar que estaba equivocado, en parte porque se dio cuenta de que los rayos ionizaban el gas residual en los tubos de descarga, lo cual llevaba a una acumulación de iones cargados en los electrodos y a la formación de campos eléctricos. Al conseguir presiones más bajas en los tubos y disponer más adecuadamente los electrodos, Thomson detectó la influencia, que Hertz no vio, de los campos eléctricos en los rayos catódicos. Pero también aprendió algo acerca de los nuevos efectos relativos a la ionización y la acumulación de cargas espaciales. En el contexto de los experimentos sobre las desviaciones, eran éstos los impedimentos que había que eliminar. Sin embargo, resultaron ser importantes en sí mismos. La ionización de gases por el paso a su través de partículas cargadas habría de ser fundamental para el estudio de dichas partículas en las cámaras de niebla. El conocimiento detallado del experimentador acerca de los efectos presentes en un aparato le dan la posibilidad de aprender del error.

Mayo hace algo más que simplemente trasladar a la práctica experimental la noción de ciencia normal de Kuhn. Señala el camino por el cual la capacidad del experimento de detectar y corregir el error puede ser suficiente para provocar una revolución científica o para contribuir a ella, una tesis decididamente no kuhniana. El mejor ejemplo de Mayo se refiere a los experimentos sobre el movimiento browniano llevados a cabo por Jean Perrin a finales de la primera década de este siglo. Las observaciones, detalladas, ingeniosas y muy prácticas que hizo Perrin del movimiento de las partículas brownianas establecieron, más allá de toda duda razonable, que dicho movimiento es aleatorio. Esto, junto con sus observaciones de la variación con la altura de la densidad de distribución de las partículas, permitió que Perrin demostrara, de forma tan concluyente como se pudiera desear, que el

movimiento de las partículas viola la segunda ley de la termodinámica a la vez que se ajusta a predicciones detalladas de la teoría cinética. No se puede ser más revolucionario. Podría contarse una historia similar sobre cómo las investigaciones experimentales acerca de la radiación de un cuerpo negro, la desintegración radioactiva y el efecto fotoeléctrico, por ejemplo, obligaron al abandono de la física clásica y constituyeron elementos importantes de la nueva teoría cuántica durante las primeras décadas del siglo XX.

Va implícito en la actitud del nuevo experimentalista el negar que los resultados experimentales sean invariablemente dependientes de la "teoría" o del "paradigma", por cuanto que no se puede apelar a ellos para decidir entre teorías. Lo razonable de esto tiene su origen en que se centra en la práctica experimental, en cómo se usan los instrumentos, se eliminan los errores, se idean comprobaciones cruzadas y se manipulan los especímenes. En la medida en que la vida experimental se mantenga independiente de la teoría especulativa, los productos de esta vida actuarán como restricciones importantes a la teoría. Las revoluciones científicas son "racionales" por cuanto se nos imponen mediante los resultados experimentales. Los extremos de las visiones de la ciencia que la consideran dominada por la teoría o el paradigma han perdido contacto con uno de sus componentes más distintivos, la experimentación, y no saben reconocerle su sentido.

EL NUEVO EXPERIMENTALISMO EN PERSPECTIVA

Los nuevos experimentalistas han mostrado cómo se pueden establecer resultados experimentales y producir efectos experimentales mediante una serie de estrategias que comprenden operaciones prácticas, verificaciones cruzadas y control y eliminación de errores, de un modo que puede ser, y por lo común lo es, independiente de una teoría de alto nivel. Como consecuencia, pueden dar una explicación del progreso de la ciencia, que interpretan como la acumulación de conocimientos experimentales. Al adoptar la idea de que las mejores teorías son aquellas que superan las pruebas más rigurosas, y al entender por prueba experimental rigurosa de una afirmación aquella en la cual ésta probablemente falle si es falsa, los nuevos experimentalistas

muestran cómo el experimento puede ayudar en la comparación de teorías radicalmente diferentes y cómo, también, puede servir para desatar revoluciones científicas. Una atención cuidadosa a los detalles de los experimentos y a lo que realmente verifican sirve para controlar las teorías y ayuda a distinguir entre lo que ha sido justificado por el experimento y lo que especulativo.

No hay ninguna duda de que el nuevo experimentalismo ha puesto con los pies en la tierra a la filosofía de la ciencia de un modo apreciable y que está ahí como una censura útil para algunos de los excesos del esquema de la dependencia de la teoría. No obstante, creo que sería un error verlo como la respuesta total a nuestra pregunta acerca del carácter de la ciencia. El experimento no es tan independiente de la teoría como pudiera sugerir el énfasis de las secciones anteriores de este capítulo. El enfoque saludable e informativo sobre la vida del experimento no debiera cegarnos al hecho de que la teoría tiene también una vida importante.

Los nuevos experimentalistas tienen razón al insistir en que es un error ver en cada experimento un intento por responder a una pregunta planteada por la teoría y en que así se subestima el hecho de que el experimento puede tener vida propia. Galileo no tenía ninguna teoría que verificar sobre las lunas de Júpiter cuando dirigió hacia el cielo su telescopio y, desde entonces, muchos fenómenos nuevos han sido descubiertos explotando las oportunidades abiertas por nuevos instrumentos o nuevas tecnologías. Por otra parte, sigue siendo cierto que la teoría guía a menudo el trabajo experimental y que ha señalado el camino hacia el descubrimiento de nuevos fenómenos. Después de todo, fue la predicción de la teoría general de la relatividad de Einstein lo que motivó las expediciones de Eddington para estudiar el eclipse, y fue la extensión de Einstein a la teoría cinética de los gases lo que condujo a Perrin a investigar el movimiento browniano de la manera que lo hizo. De forma similar, temas teóricos fundamentales sobre si la tasa de cambio de la polarización de medios dieléctricos tendría efectos magnéticos, igual que la conducción de corriente, pusieron a Hertz en la senda experimental que culminó en la producción de ondas de radio, y el descubrimiento de Arago del punto brillante en el centro de la sombra de un disco resultó de un ensayo directo de la teoría ondulatoria de la luz de Fresnel.

Guíe o no la teoría al experimentador en la dirección correcta, los nuevos experimentalistas tienden a captar el sentido en que el conocimiento

miento experimental puede ser justificado independientemente de una teoría de alto nivel. Ciertamente, Deborah Mayo ha dado una explicación detallada y convincente de cómo se pueden justificar de manera confiable los resultados experimentales mediante una serie de técnicas de eliminación de errores y la estadística de errores. Sin embargo, tan pronto como surge la necesidad de dar un significado a los resultados experimentales que vaya más allá de las situaciones experimentales en que fueron producidos, es preciso hacer referencia a una teoría.

Mayo se esfuerza en mostrar cómo la estadística de errores puede aplicarse a experimentos cuidadosamente controlados para llegar a la conclusión de que los experimentos de ese tipo proporcionan resultados especificados con un alto grado (especificado) de probabilidad. Los resultados experimentales registrados son tratados como una muestra de todos los resultados posibles que podrían lograrse con experimentos de ese tipo, y la estadística de errores se puede aplicar para atribuir probabilidades a la población sobre la base de la muestra. Una pregunta básica aquí es qué es lo que cuenta como experimento del mismo tipo. Todos los experimentos difieren uno de otro en algunos aspectos, en tanto que, por ejemplo, son llevados a cabo en tiempos diferentes, en laboratorios diferentes, usando instrumentos distintos, etc. La respuesta común al interrogante es que los experimentos deben ser similares en aspectos relevantes. Sin embargo, los juicios acerca de lo que pueda ser relevante se hacen recurriendo al conocimiento presente, y están, por tanto, sujetos a cambio cuando este conocimiento mejora. Imaginemos, por ejemplo, a Galileo llevando a cabo una serie de experimentos, a partir de cuyos resultados concluye que la aceleración debida a la gravedad es una constante (y permitamos, en contra de los hechos, que Galileo use la moderna estadística de errores, e imaginemos que es capaz de atribuir una probabilidad baja a la posibilidad de un experimento futuro que resultara en su contra). Desde una posición moderna, se puede ver que la confianza de Galileo en su valor de la aceleración le traicionaría si, en una ocasión futura, se encontrara trabajando muy por encima del nivel del mar. Trabajando, como hizo Galileo, en un contexto en el que se suponía que la tendencia a caer era una propiedad inherente a los cuerpos pesados, que poseían justamente en virtud de ser objetos materiales, no parecería que la altura sobre el nivel del mar fuera relevante y

que la muestra de Galileo no fuera representativa. Los juicios sobre qué cuenta como experimento de tipo similar se hacen contra un trasfondo teórico.

Dejando de lado estos problemas, las consideraciones teóricas se hacen cruciales tan pronto como se ve que los resultados experimentales tienen una significación que va más allá de las condiciones específicas en que se produjeron. Esto es evidente, por ejemplo, en la manera como la propia Deborah Mayo argumenta que los experimentos del eclipse confirmaron la ley de la gravedad de Einstein. Tal y como Mayo explica, esto implicaba mostrar que los resultados eran incompatibles con las mejores estimaciones newtonianas de los fenómenos y con cualquier otra alternativa que pudiera pensarse, como el recurso de Oliver Lodge a un mecanismo del éter. Se encontró que estas alternativas, una a una, eran deficientes. Mayo (1996, p. 291) cita con aprobación a Dyson y Crommelin, que escriben en un artículo en *Nature*. "Parece que somos así conducidos a la ley de Einstein por cansancio, como única explicación satisfactoria." No pretendo negar que esto demuestra que era razonable aceptar en ese tiempo la teoría de la gravedad de Einstein en vista de estas circunstancias. Pero una parte crucial del argumento radica en el supuesto de que no hay, de hecho, alternativas aceptables. Mayo no puede excluir la posibilidad de que alguna modificación de la teoría newtoniana o una teoría del éter, desconocidas aún, sean capaces de explicar los resultados de los experimentos del eclipse. Por esta razón es ella prudente y no intenta atribuir probabilidades a las hipótesis, de modo que su argumentación acerca de las leyes científicas y las teorías se reduce a la afirmación de que han resistido pruebas rigurosas mejor que cualquier otro competidor disponible. La única diferencia entre Mayo y los popperianos es que ella tiene una versión superior de lo que es una prueba rigurosa. Las consideraciones teóricas desempeñan un papel crucial.

Los nuevos experimentalistas insisten en que los experimentadores tienen a su disposición técnicas poderosas para verificar el conocimiento experimental de manera sólida y confiable, relativamente independiente de una teoría sutil. En la medida en que sean seguras estas afirmaciones, parecería que se pueden reprimir los excesos del falibilismo y defender un concepto acumulativo del progreso científico, entendido como crecimiento confiable del conocimiento experimental. Sin embargo, una vez que se ha admitido que consideraciones

teóricas del tipo de las que he analizado en esta sección desempeñan un papel crucial, debe aceptarse entonces un grado de falibilismo correspondiente.

El nuevo experimentalismo no ha mostrado cómo se pueda eliminar de la ciencia la teoría, a veces de alto nivel. Es importante observar, en conexión con esto, que un factor importante en las decisiones sobre la confiabilidad de la mecánica newtoniana, en el contexto de los vuelos espaciales, es la medida en que, dadas las velocidades esperadas, se puede demostrar que las desviaciones son despreciables, a la *luz de la teoría de la relatividad*. Es un ejemplo de que en ciencia existe, indudablemente, una importante "vida de la teoría". Los principios de la mecánica cuántica, empleados, por ejemplo, en los refinamientos del microscopio electrónico, o incluso la conservación de la energía, usada en toda la ciencia, son mucho más que generalizaciones a partir de experimentos particulares. ¿Qué tipo de vida tienen en ciencia, y cómo se relaciona esa vida con el experimento?

Algunos de los nuevos experimentalistas parecen querer trazar una línea entre el conocimiento experimental bien verificado, de una parte, y la teoría de alto nivel, de otra. (Deborah Mayo parece ir en esa dirección cuando distingue entre la teoría general de la relatividad, de una parte, y una teoría de la gravedad algo más restringida, apoyada en los experimentos de Eddington, por otra.) Algunos han llevado esto hasta el extremo de aseverar que sólo las leyes experimentales hacen afirmaciones verificables sobre cómo es el mundo. La teoría de alto nivel tiene un papel de algún modo organizativo o heurístico, y no el de hacer afirmaciones acerca de cómo es el mundo. Estas consideraciones nos conducen en la dirección de los temas analizados en los dos capítulos finales.

APÉNDICE: ENCUENTROS FELICES ENTRE TEORÍA Y EXPERIMENTO

Muchos están de acuerdo en que el mérito de una teoría se demuestra por la medida en que supera pruebas rigurosas. Sin embargo, existe una amplia clase de confirmaciones en ciencia que no se corresponden fácilmente con esta imagen, a menos que se tome un gran cuidado en caracterizar la rigurosidad de las pruebas. Los casos que tengo en

mente implican consonancias significativas entre la teoría y la observación, en circunstancias en las que una ausencia de ellas no diría nada en contra de la teoría. La idea se expresará mejor con un ejemplo.

Una situación común en ciencia consiste en hacer una predicción nueva a partir de una teoría, en unión de algunos supuestos auxiliares complicados y quizás dudosos. Si la predicción se confirma, es razonable suponer que la teoría gana un apoyo importante. Por otro lado, si no se confirma, el problema podría estar tanto en las hipótesis auxiliares como en la teoría. Por consiguiente, podría parecer que el ensayo de la predicción no constituiría una prueba rigurosa de la teoría. Sin embargo, la teoría recibe un apoyo importante si se confirma la predicción. Neil Thomason (1994 y 1998) ha desarrollado este aspecto con algún detalle. Un buen ejemplo es el siguiente. La teoría copernicana predice que Venus debería mostrar fases de un modo particular, como la Luna, en correlación con su cambio de tamaño aparente, *dando por supuesto que Venus es opaco*. Desde un punto de vista histórico, como Copérnico y Galileo enunciaron explícitamente, la frase que he puesto en cursiva era en gran medida una cuestión abierta. Cuando Galileo, usando su telescopio, observó las fases de Venus del modo precisamente predicho por la teoría copernicana más la hipótesis de que Venus era opaco, este hecho, muy razonablemente, fue aceptado como una prueba que apoyaba sólidamente la teoría (y la hipótesis auxiliar). De no haber sido observadas las fases, se podría haber culpado a la hipótesis auxiliar tanto como a la teoría, de tal modo que el ejercicio, en cierto sentido, no constituía una prueba particularmente rigurosa del sistema copernicano.

Una situación emparentada con ésta y que es bastante común, comprende la exploración de una teoría en un contexto enredado en el que el significado de las observaciones está lejos de ser claro. En este caso, una correspondencia detallada entre la predicción teórica y la observación puede servir para confirmar tanto la teoría como la interpretación de la observación, mientras que si la correspondencia falla, esto indica simplemente que hay que seguir trabajando. Un ejemplo implica el uso del microscopio electrónico para observar dislocaciones en cristales. Las dislocaciones, imperfecciones en el arreglo, por lo común regular, de los átomos en los sólidos cristalinos, habían sido predichas sobre bases teóricas a mediados de los años treinta de este siglo para explicar la resistencia, ductilidad y plasticidad de los sólidos. A comienzos de los cincuenta, el microscopio

electrónico había sido desarrollado hasta un punto que algunos llegaron a creer que podrían observarse con él las redes de los cristales y las dislocaciones, a pesar de que la teoría de la interacción electrón/espécimen no se había desarrollado lo bastante como para dar una predicción definida en un sentido u otro. En 1956, Jim Menter (1956) y Peter Hirsch et al. (1956) produjeron imágenes en el microscopio electrónico que identificaron como muestras de dislocaciones. Algunas de las maneras como justificaron esta interpretación de las complicadas imágenes concuerdan mucho con las técnicas resaltadas por los nuevos experimentalistas. Por ejemplo, se observó que los efectos de una operación práctica, como la flexión de los cristales, estaba de acuerdo con la suposición de que las imágenes eran realmente de redes de cristales, a la vez que daban resultados que se apoyaban mutuamente con los efectos de distintos procesos físicos, como los rayos X o la difracción del electrón. Sin embargo, más en relación con el aspecto que estoy tratando de hacer ver aquí es la medida en que la adecuación entre teoría y observación sirvió para confirmar ambas. Menter, por ejemplo, aplicó la teoría de Abbe del microscopio a la formación de imágenes electrónicas por los cristales, y pensó que la importante correspondencia que encontró entre sus predicciones y el modelo observado confirmaba su teoría y también la interpretación de las imágenes como imágenes de redes de cristales. Hirsch observó que las dislocaciones se desplazaban precisamente de la forma predicha por la teoría de las dislocaciones predominante, y pensó que esto confirmaba tanto la teoría como el hecho de que sus imágenes representaban dislocaciones. En ambos casos, la adecuación feliz entre teoría y observación constituyó un apoyo importante para la teoría. Por otra parte, las situaciones experimentales eran tan enredadas y mal comprendidas que permitían una gran cantidad de explicaciones para fallos que no involucraran la teoría de las dislocaciones puesta a prueba. Creo que se puede esperar que ocurra comúnmente en la ciencia experimental el tipo de situaciones que he descrito aquí.

La caracterización que hace Mayo de la rigurosidad puede incorporar estos ejemplos. [En un comienzo pensé que mis casos eran contraejemplos a la posición de Deborah Mayo también, pero ella me ha convencido de lo contrario en correspondencia privada]. Preguntará si habrían sido probables las confirmaciones

de ser falsa la teoría. Tanto en el caso de mi ejemplo copernicano como en el de las dislocaciones, la respuesta es que no habrían sido muy probables. Por consiguiente, las teorías relevantes recibieron en cada caso un apoyo importante de las coincidencias observadas entre las predicciones teóricas y las observaciones. El concepto de rigurosidad de Mayo está de acuerdo con la práctica científica.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Hacking (1983) fue un trabajo precursor del nuevo experimentalismo. Otras obras en esa categoría son Franklin (1986) y Franklín (1980), Galison (1987) y Galison (1997) y Gooding (1990). Un resumen de la posición está en Ackermann (1989). La defensa filosófica más sofisticada de la postura es Mayo (1996).

14. ¿POR QUÉ EL MUNDO HABRÍA DE OBEDECER LEYES?

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores nos hemos ocupado de cuestiones *epistemológicas*, esto es, aquellas que se refieren a cómo el conocimiento científico se justifica apelando a pruebas y a la naturaleza de dichas pruebas. En este capítulo y en el siguiente dirigiremos la atención a cuestiones *ontológicas*, cuestiones acerca de las clases de cosas que hay en el mundo. ¿Qué tipos de entidades supone, o muestra, la ciencia moderna que existen en el mundo? Una parte de la respuesta a esta pregunta se ha dado por supuesta en este libro hasta ahora. Se ha supuesto que existen cosas tales como leyes que rigen el acontecer del mundo y cuyo descubrimiento es el asunto de la ciencia. Este capítulo se ocupa del tipo de entidades que son estas leyes.

Es un lugar común la idea de que el mundo está regido por leyes y que la tarea de la ciencia es descubrirlas. Sin embargo, lo que involucra esta pregunta está lejos de ser cosa sin problemas. Robert Boyle destacó un problema fundamental en el siglo XVII. La noción de ley se origina en la esfera social en la que tiene un sentido directo. Las leyes de la sociedad son o no obedecidas por los individuos, que las comprenden tanto como las consecuencias que trae el violarías. Comprendidas las leyes de este modo natural, ¿cómo se puede decir que los sistemas materiales de la naturaleza obedecen leyes? Pues mal se podrá decir que les es posible entender las leyes que han de obedecer y, en todo caso, se supone que una ley fundamental aplicable en ciencia no tiene excepciones, de modo que no hay correlación con el individuo que viola una ley social y asume las consecuencias. ¿Qué es lo que hace que la naturaleza se adapte a leyes? Parecería que ésta es una pregunta razonable y directa, y sin embargo no se la contesta fácilmente. Supongo que la respuesta de Boyle, esto es, que Dios hace que la materia

se comporte según las leyes que Él ha ordenado, deja mucho que desear desde un punto de vista moderno. Veamos si podemos hacer algo mejor.

LAS LEYES COMO REGULARIDADES

Una respuesta común a la pregunta “¿Qué hace que la materia se conduzca según leyes?” es negar su legitimidad. Esta línea de pensamiento fue expresada vigorosamente por el filósofo David Hume y ha sido muy influyente desde entonces. Desde el punto de vista de Hume, es un error suponer que el acontecer según leyes está causado por algo. En rigor, la idea toda de causalidad en la naturaleza es puesta en duda. El razonamiento es como sigue. Cuando, por ejemplo, chocan dos bolas de billar, podemos observar sus movimientos inmediatamente antes e inmediatamente después de la colisión, y podremos ser capaces de descubrir una manera regulada en que sus velocidades antes del impacto se relacionan con sus velocidades después, pero lo que no podremos ver es nada que se añada a esto y que pueda ser identificado como el efecto causal de una bola sobre otra. Desde este punto de vista, causación no es otra cosa que conexión regular, y las leyes toman la forma “Sucesos del tipo A van invariablemente acompañados o seguidos de sucesos del tipo B”. Por ejemplo, la ley de caída de Galileo tomaría la forma “Siempre que se suelta un objeto pesado cerca de la superficie de la Tierra, éste cae al suelo con una aceleración uniforme”. Ésta es la llamada visión de las leyes como regularidad. Nada hace que la materia se conduzca de acuerdo a leyes, puesto que las leyes no son otra cosa que regularidades *de facto* entre sucesos.

Un conjunto típico, y revelador, de objeciones a la idea de las leyes como regularidad encierra la afirmación de que no distingue entre regularidades accidentales y las que son del tipo de leyes. Popper da el ejemplo de que “ningún moa vive más de cincuenta años”. Bien podría ser verdad que ningún moa, una especie extinguida, vivió nunca más de cincuenta años. pero pudiera ser que algunos lo hubieran hecho de haber sido más favorables las condiciones ambientales, y ésta es la razón por la que nos inclinamos a no aceptar la generalización como una ley de la naturaleza. Pero llena los requisitos de una ley sobre

la base de que es una regularidad excepcional. Pudiera ser cierto que los obreros de Londres dejan las herramientas siempre que suenan las sirenas de las fábricas en Manchester al final de un día de trabajo, pero, aunque esta generalización no conozca excepciones, difícilmente llenará los requisitos de una ley de la naturaleza. Abundan los ejemplos de este tipo, lo que sugiere que hay algo más que una simple regularidad en una ley de la naturaleza. Otra dificultad con el concepto de regularidad es que no logra identificar la dirección de la dependencia causal. Existe una conexión de regularidad entre el hábito de fumar y el cáncer de pulmón, pero esto es porque el fumar causa cáncer de pulmón, y no al revés, y ésta es la razón por la cual podemos tener esperanza en que disminuyan los casos de cáncer si se elimina el hábito de fumar, pero no en combatir el hábito al descubrir una cura del cáncer. Que los sucesos exhiban una cierta regularidad no es condición suficiente para que ésta constituya una ley, pues hay más en el comportamiento de una ley que la mera regularidad.

Aparte de las dificultades que encuentra la idea de la regularidad como condición suficiente para una ley, algunas consideraciones simples acerca de las leyes, tal y como figuran en ciencia, sugieren que la regularidad no es tampoco una condición necesaria. Si se toma seriamente la opinión de que las leyes describen conexiones regulares, sin excepciones, entre sucesos, entonces no cumpliría los requisitos ninguna de las afirmaciones que comúnmente se aceptan como leyes científicas. La ley de la caída de los cuerpos de Galileo mencionada antes es un caso pertinente. Las hojas caen raramente al suelo en otoño con una aceleración uniforme, lo que haría falsa a la ley según una visión no matizada de la regularidad. De forma similar, el principio de Arquímedes, que afirma en parte que los objetos más densos que el agua se hunden, es refutado por las agujas que flotan. Si se pretende que las leyes sean regularidades sin ninguna excepción, será entonces muy difícil encontrar serias aspirantes a leyes por falta de las regularidades apropiadas y, lo que es aún más interesante, la mayoría de las generalizaciones, si no todas, tomadas por leyes en la ciencia no cumplirán los requisitos necesarios.

Existe una respuesta inmediata a estas observaciones desde el punto de vista de la práctica científica, e incluso del sentido común. Después de todo, se entiende muy bien por qué en otoño las hojas no caen al suelo de forma regular. Reciben la influencia de las corrientes y

la resistencia del aire que actúan como una perturbación, como la tensión superficial que impide que las agujas se hundan. Debido a que los procesos físicos se ven estorbados por influencias perturbadoras, las leyes que los caracterizan necesitan ser probadas en circunstancias experimentales preparadas de tal modo que los impedimentos resulten eliminados o controlados. Las regularidades importantes para la ciencia y que son señal de un comportamiento del estilo de una ley son por lo común el resultado, ganado con esfuerzo, de una experimentación detallada. Piénsese, por ejemplo, en los extremos a que tuvo que llegar Henry Cavendish para conseguir que las esferas se atrajeran según la ley del inverso del cuadrado y en cómo llegó J.J. Thomson a tener éxito, donde Hertz había fracasado, en mostrar la deflexión regular de electrones en movimiento en un campo eléctrico.

Una respuesta obvia que el defensor de la idea de la ley como regularidad puede dar a estas observaciones consiste en expresarla en forma condicional. Se pueden formular las leyes de la forma: 'sucesos del tipo A van seguidos, o acompañados, con regularidad de sucesos del tipo E, siempre que no esté presente ningún factor perturbador'. Así, la ley de Galileo se transformaría en "los objetos pesados caen a la tierra con aceleración uniforme, siempre que no encuentren una resistencia variable o no sean desviados por el viento o por otros factores perturbadores". La frase "otros factores perturbadores" señala el problema general de cómo se puede formular un enunciado preciso de las condiciones que ha de satisfacer una ley para que se pueda aplicar. Dejaré de lado esta dificultad, puesto que creo que en esto la idea de regularidad se enfrenta con otra dificultad mucho más fundamental. Si aceptamos la caracterización de las leyes como regularidades enunciadas en forma condicional, tendremos que aceptar también que las leyes se aplican sólo cuando se satisfacen las condiciones. Como la satisfacción de las condiciones adecuadas se obtendrá normalmente sólo mediante montajes experimentales especiales, nos vemos obligados a concluir que las leyes científicas se aplican por lo general sólo dentro de las situaciones experimentales y no fuera de ellas. La ley de caída de los cuerpos de Galileo se aplicaría sólo cuando los objetos pesados se dejan caer en situaciones en las que la resistencia del aire y otras similares han sido eliminadas. De este modo, las hojas de otoño no están sujetas a la ley de caída de Galileo, según esta versión revisada de la idea de regularidad. ¿No choca esto con nuestra intuición?

¿No queremos decir que la hoja de otoño se rige por la ley de caída, pero que también es regida por las leyes de la resistencia del aire y la aerodinámica, de tal modo que la caída es el complicado resultado de varias leyes que actúan juntas? Como la idea de regularidad en su forma condicional restringe la aplicabilidad de las leyes a aquellas situaciones experimentales en las que se cumplen las condiciones adecuadas, es incapaz de decir nada sobre lo que sucede fuera de esas condiciones. Según esto, ¿la ciencia sería incapaz de decir por qué las hojas suelen terminar en el suelo!

Esta dificultad recuerda el problema que surge cuando el nuevo experimentalismo pretende agotar de forma exhaustiva lo que se puede decir del conocimiento científico. Pues, como vimos en el capítulo anterior, si bien pudiera ser cierto que el nuevo experimentalismo puede captar un sentido fuerte en la comprensión del progreso de la ciencia como una acumulación constante de conocimiento experimental, si se queda en esto no permitirá dar cuenta de cómo el conocimiento alcanzado dentro de ciertas situaciones experimentales pueda ser transferido fuera de dichas situaciones y usado en otro lugar. ¿Cómo explicaríamos el uso que hace el ingeniero de la física, el empleo de la datación radioactiva en geología histórica, o la aplicación de la ley de Newton al movimiento de los cometas? Si se supone que las leyes científicas se aplican tanto fuera como dentro de las situaciones experimentales, entonces dichas leyes no pueden identificarse con las regularidades alcanzables en las situaciones experimentales. La idea de las leyes como regularidad no lo permiten.

LAS LEYES COMO REPRESENTACIONES DE POTENCIAS O DISPOSICIONES

Existe una salida simple a los problemas que surgen con la idea de ley que hemos analizado. Implica tomar en serio lo que está implícito en gran parte del sentido común y en la ciencia, y es el hecho de que el mundo material es activo. Las cosas suceden en el mundo espontáneamente. y suceden porque las entidades del mundo poseen la capacidad, o la potencia, o la disposición, o la tendencia a actuar y comportarse de la manera que lo hacen. Las pelotas rebotan porque son

elásticas. Las advertencias de los envases que declaran que un contenido es venenoso, inflamable o explosivo nos dicen que puede ser eso o que tiene tendencia a actuar así. Al especificar la masa y la carga de un electrón se indica cómo responderá a campos eléctricos o magnéticos. Un elemento importante de lo que es una cosa, es aquello que es capaz de hacer o de llegar a ser. Necesitamos caracterizar las cosas en términos de su ser potencial, igual que su ser en acto, como observó correctamente Aristóteles. De igual modo que la capacidad de crecer hasta convertirse en una encina es parte importante de lo que es una bellota, así la capacidad de repeler cargas distintas y atraer cargas iguales, e irradiar al ser acelerado, es una parte importante de lo que es ser un electrón. Experimentamos con sistemas para averiguar cómo están dispuestos para actuar.

Si admitimos cosas tales como disposiciones, tendencias, potencias y capacidades en nuestra representación de los sistemas materiales, las leyes de la naturaleza pueden representar estas disposiciones, tendencias, potencias o capacidades. La ley de la caída de los cuerpos de Galileo describe la disposición que poseen los objetos pesados de caer al suelo con una aceleración uniforme, y la ley de la gravitación de Newton describe el poder de atracción entre los cuerpos con masa. Si interpretamos de esta manera las leyes, no tendremos necesidad de esperar que describan secuencias de sucesos en el mundo, puesto que éstos serán comúnmente el resultado de varias disposiciones, tendencias, potencias o capacidades actuando en conjunto de forma compleja. El hecho de que la tendencia a caer de una hoja de acuerdo con la ley de Galileo se vea estropeada por el efecto de viento no es razón para dudar de que la tendencia continuó actuando sobre la hoja según la ley. Desde este punto de vista, es fácil entender por qué son necesarios los experimentos para espigar información relevante a la identificación de una ley. Las tendencias que corresponden a la ley que se investiga necesitan ser separadas de las otras tendencias, y esta separación requiere la intervención práctica apropiada. Dadas las irregularidades de los lechos marinos y de la atracción del sol y los planetas, además de la Luna, no podemos esperar llegar a una justificación precisa de las mareas partiendo de la teoría de Newton y las condiciones iniciales. Sin embargo, la gravedad es la causa más importante de las mareas y existen los experimentos apropiados para identificar la ley de la gravedad.

Las causas y las leyes están íntimamente ligadas, según el punto de vista que estoy defendiendo. Los sucesos están causados por la acción de entidades particulares que tienen el poder de actuar como causas. La atracción gravitacional de la Luna es la causa principal de las mareas, las partículas cargadas causan la ionización responsable de las trazas en la cámara de niebla, y cargas oscilantes causan las ondas de radio emitidas por un transmisor. Las descripciones de las formas de actuar de las potencias activas involucradas en estos casos constituyen las leyes de la naturaleza. La ley del inverso de los cuadrados de la gravitación describe cuantitativamente el poder de atraer que poseen los cuerpos con masa, y las leyes de la teoría electromagnética clásica describen, entre otras cosas, la capacidad de atraer e irradiar que tienen los cuerpos cargados. Las potencias activas de la naturaleza hacen que las leyes sean verdaderas cuando lo son. Tenemos así una respuesta sencilla a la pregunta de Boyle. Las potencias y capacidades de entidades particulares, operativas cuando interactúan entre sí, obligan a esas entidades a comportarse de acuerdo con leyes. El comportamiento del tipo de una ley es producto de una causación eficiente. Boyle se encontró con problemas con las leyes, y necesitó invocar a Dios, justamente porque rehusó adscribir propiedades disposicionales a la materia.

La mayoría de los filósofos se resisten a aceptar una ontología que incluya disposiciones o potencias por cuanto les parece primitiva. No comprendo su renuencia. Quizás las razones son en parte históricas. Las potencias tienen mala fama desde el uso místico y oscuro que se les dio en la tradición mágica del Renacimiento; se dice también que fueron explotadas por los aristotélicos de manera demasiado libre so capa de formas. El rechazo que hizo Boyle de las propiedades activas en su filosofía mecanicista pudo ser una reacción, quizás una sobre-reacción, a los excesos de aquellas tradiciones, y pudo ser también motivado por preocupaciones teológicas. Sin embargo, no tiene por qué haber nada de misterioso o sospechoso epistemológicamente en recurrir a potencias, tendencias y cosas similares. Las afirmaciones que se refieran a ellas pueden estar sujetas a rigurosas pruebas empíricas tanto como cualquier otra afirmación. Más aún, por muy adversos que sean muchos filósofos a las propiedades disposicionales, los científicos recurren sistemáticamente a ellas y su trabajo se vería impedido sin ellas. Es importante señalar a este respecto que Boyle en su ciencia

experimental, en contraposición con su filosofía mecanicista, empleó libremente propiedades disposicionales tales como la acidez y el resorte del aire. La elasticidad en sus varias formas fue algo embarazoso para los filósofos mecanicistas del siglo XVII. Hobbes se quejó de que la atribución por parte de Boyle de elasticidad al aire era equivalente a admitir que el aire se movía por sí mismo. Boyle y otros científicos del siglo XVII continuaron usando el concepto de elasticidad y nunca pudieron explicarlo sin referirse a propiedades disposicionales, ni nadie lo ha conseguido desde entonces. No entiendo qué base tienen los filósofos para cuestionar, o sentir la necesidad de argüir en pro de su desaparición, este uso común, en verdad ubicuo, que los científicos hacen de las propiedades disposicionales.

La visión de que las leyes caracterizan las disposiciones, potencias, capacidades o tendencias de las cosas tiene el mérito de que reconoce de partida algo que está implícito en toda práctica científica, esto es, que la naturaleza es activa. Esclarece lo que hace que los sistemas se comporten según leyes, y relaciona las leyes con la causalidad de una manera natural. Ofrece también una solución inmediata al problema, encontrado en el capítulo anterior, relativo al traslado del conocimiento adquirido en disposiciones experimentales más allá de ellas mismas. Una vez que se ha aceptado la suposición de que las entidades del mundo son lo que son en virtud de las potencias y capacidades que poseen -- y sostengo que esta suposición está implícita en la práctica científica así como en la vida cotidiana --, entonces, se puede suponer que las leyes que describen dichas potencias y capacidades, identificadas en las disposiciones experimentales, se aplican también fuera de éstas. Sin embargo, no puedo dejar así las cosas en buena conciencia, puesto que existen leyes importantes en ciencia que se ajustan difícilmente a este esquema.

LA TERMODINÁMICA Y LAS LEYES DE CONSERVACIÓN

Llamaré visión causal de las leyes a la opinión, que he bosquejado y defendido en el párrafo anterior, de que las leyes caracterizan potencias causales. Hay leyes importantes en física que no encajan bien dentro de este esquema. No encajan la primera y segunda leyes de la

termodinámica, ni tampoco una serie de leyes de conservación en la física fundamental de partículas. La primera ley de la termodinámica declara que la energía de un sistema aislado es constante. La segunda ley, que afirma que la entropía de un sistema aislado no puede decrecer, tiene consecuencias tales como que el calor fluya de los cuerpos calientes a los fríos y no al revés, y que no exista la posibilidad de extraer energía calórica del mar para hacer trabajo útil al único precio de hacer menguar la temperatura del mar. Una máquina capaz de hacer esto sería una máquina de movimiento perpetuo de la segunda especie, distinta de la máquina que resultara en un aumento de energía y que sería una máquina de movimiento perpetuo de la primera especie. La primera ley de la termodinámica excluye las máquinas de movimiento perpetuo de la primera especie y la segunda ley excluye las máquinas de movimiento perpetuo de la segunda especie. Estas leyes generales tienen consecuencias en el comportamiento de los sistemas físicos y puede utilizarse para predecirlo, independientemente de los detalles de los procesos causales que intervienen. Ésta es la razón por la que no es posible interpretar estas leyes como leyes causales.

Un ejemplo aclarará este punto. El punto de fusión del hielo baja cuando es sometido a presión más elevada que la normal atmosférica. Ésta es la razón por la cual un hilo del que suspende un peso corta un bloque de hielo. Una explicación de esto a nivel molecular está lejos de ser sencilla y, probablemente, no existe una descripción precisa y detallada. Puesto que la presión hace que las moléculas se aproximen entre sí, se esperaría que las fuerzas de atracción entre ellas aumentarían bajo tales circunstancias, lo que conduciría a un aumento en la energía térmica necesaria para separarlas y, por tanto, a una subida de su punto de fusión. Esto es precisamente lo que sucede en un sólido típico cercano al punto de fusión. Pero el hielo no es un sólido típico. Las moléculas de agua están más sueltas en el hielo que en el estado líquido, y es por esto que el hielo es menos denso que el agua. (Lo que no está mal, pues de otro modo los lagos y ríos se helarían empezando por el fondo, y se helarían por completo en periodos de frío prolongado, eliminando así a los peces y a todo lo que evolucionó a partir de los peces como forma viable de vida.) Si se fuerza a las moléculas de hielo a que se aproximen entre sí más de lo normal, disminuye la fuerza entre ellas, de modo que se requiere menos energía térmica para separarlas y desciende el punto de fusión. La forma precisa de cómo dependen

estas fuerzas de las posiciones moleculares es complicada, y depende a su vez de finos detalles de la mecánica cuántica que comprenden fuerzas de intercambio así como fuerzas de Coulomb y no es conocida con precisión.

Dadas las complicaciones expuestas, puede parecer sorprendente que James Thomson pudiera predecir en 1849 la depresión del punto de congelación del agua debida a la presión, anticipándose al descubrimiento empírico del fenómeno. Todo lo que necesitó para su deducción fueron las leyes de la termodinámica, más el hecho conocido empíricamente de que el agua es más densa que el hielo. Thomson ingenió, en el pensamiento, un proceso cíclico que comprendía extraer calor del agua a 0°C y convertirlo en hielo a 0°C . Parecía que esta máquina proporcionaba un medio de extraer calor del agua y convertirlo todo en el trabajo hecho por la expansión implicada, lo cual equivalía a una máquina de movimiento perpetuo de la segunda especie, excluida por la segunda ley de la termodinámica. Thomson se apercibió de que esta conclusión inaceptable quedaba bloqueada si se suponía que el punto de congelación descendía por un aumento de la presión.

El rasgo que quiero destacar en este caso es que la predicción de Thomson fue hecha en la ignorancia de los detalles del proceso causal a nivel molecular. Un rasgo característico, a la vez que una gran solidez, de la termodinámica es que se aplica a nivel macroscópico cualesquiera que sean los detalles del proceso causal subyacente. Es precisamente esta particularidad de las leyes de la termodinámica lo que evita que sean interpretadas como leyes causales.

No se detienen aquí las dificultades del punto de vista causal. El comportamiento de un sistema mecánico puede ser comprendido y predicho especificando las fuerzas que actúan sobre cada componente del sistema y usando las leyes de Newton para rastrear el desarrollo del sistema. Según esta manera de ver, las leyes de Newton pueden fácilmente ser interpretadas como leyes causales que describen la capacidad que tienen los objetos de ejercer fuerzas especificadas y de responder ante ellas. Sin embargo, ésta no es la única manera de tratar los sistemas mecánicos. Las leyes de la mecánica pueden escribirse de forma que tomen la energía, en lugar de las fuerzas, como punto de partida. En las formulaciones de la mecánica de Hamilton y Lagrange, que adoptan este método, lo que se requiere son expresiones de las energías potencial y cinética de un sistema en función de unas coordenadas

cualesquiera necesarias para determinarlas. La evolución de un sistema puede quedar completamente especificada introduciendo estas expresiones en las ecuaciones de movimiento de Hamilton o Lagrange. Esto puede hacerse sin un conocimiento detallado de los procesos causales que intervienen.

James Clerk Maxwell (1965, vol. 2, pp. 783-4), que intentó expresar su teoría electromagnética en la forma de Lagrange, ilustró este punto de manera característicamente vivida. Imaginemos un campanario en el que una complicada maquinaria es movida por cuerdas que cuelgan hasta la habitación del campanero debajo. Supongamos que el número de cuerdas es igual al número de grados de libertad del sistema. Se pueden determinar por medio de experimentos hechos con las cuerdas las energías potencial y cinética del sistema en función de la posición y la velocidad de las cuerdas. Una vez que tengamos estas funciones, podremos escribir las ecuaciones de Lagrange del sistema. Es posible, conocidas la posición y la velocidad de las cuerdas en un instante dado, deducir las posiciones y velocidades en cualquier otro instante. Podemos hacer esto sin necesidad de conocer los detalles de la historia causal de lo que está sucediendo en el campanario. Las ecuaciones de Lagrange no enuncian leyes causales.

Podría objetarse que estas observaciones acerca de la formulación de la mecánica de Lagrange no constituye un serio contraejemplo a la visión causal de las leyes. Podría señalarse, por ejemplo, que si bien el tratamiento lagrangiano del mecanismo del campanario puede funcionar muy bien sin conocer su historia causal detallada, se puede formular esta historia en términos newtonianos y, por tanto, causales, una vez que se ha conseguido el acceso empírico apropiado. Después de todo, podría observarse, las ecuaciones de Lagrange pueden ser derivadas de las de Newton.

Esta última afirmación no es ya verdad (si es que alguna vez lo fue). En la física moderna se interpretan las ecuaciones de Lagrange de forma más general que la versión de dichas ecuaciones que puede derivarse de las leyes de Newton. Las energías implicadas son interpretadas de un modo general que incluye todos los tipos de energía, no sólo la energía resultante del movimiento de los cuerpos sólidos sometidos a la acción de fuerzas. Por ejemplo, la formulación de Lagrange puede incorporar la energía electromagnética, que incluye energías de potencial dependientes de la velocidad y necesita el empleo de cosas

tales como momento electromagnético de un campo, diferente del que es igual a masa por velocidad. Llevadas hasta el límite en la física moderna, las formulaciones de Lagrange (o las correspondientes de Hamilton) no pueden ser reemplazadas por las descripciones causales que subyacen. Por ejemplo, los diversos principios de conservación, tales como el de la conservación de carga y paridad, conectado íntimamente con simetrías en la función lagrangiana de las energías, no se explican por referencia a algún proceso causal subyacente.

El resultado de todo esto se puede resumir como sigue. Un conjunto amplio de leyes de la física pueden ser comprendidas como leyes causales. Cuando esto es posible, existe una respuesta inmediata a la pregunta de Boyle sobre qué es lo que hace que los sistemas se comporten según leyes. La operación de las potencias y capacidades causales caracterizadas por leyes hace que los sistemas las obedezcan. Sin embargo, hemos visto que existen leyes fundamentales en física que no pueden ser interpretadas como causales. En estos casos no hay una respuesta fácil a la pregunta de Boyle. ¿Qué es lo que hace que los sistemas se comporten de acuerdo con la ley de conservación de la energía? No lo sé. Lo hacen, simplemente. No me siento cómodo con esta situación, pero no sé cómo pueda evitarse.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Para una visión de las leyes diferente de la que ha sido caracterizada aquí, y para una crítica detallada de la visión de la regularidad, véase Armstrong (1983). Bhaskar (1978) muestra la manera como el experimento indica la visión causal de las leyes. Cartwright (1983) expresa dudas sobre la idea de que puedan existir leyes fundamentales verdaderas respecto del mundo, pero modifica sus puntos de vista para defender algo parecido a la visión causal en su texto de 1989. El choque entre la manera como muchos filósofos caracterizan las leyes y la noción de ley empleada por los científicos es descrita con ejemplos interesantes en Christie (1994). El material de este capítulo se deriva en gran parte de Chalmers (1999), donde está tratado con algo más de detalle. Otra discusión reciente sobre la naturaleza de las leyes se puede ver en Van Fraassen (1989).

15. REALISMO Y ANTIRREALISMO

INTRODUCCIÓN

Una presunción natural que se hace acerca del conocimiento científico es que dice mucho más sobre la naturaleza del mundo de lo que aparece en la superficie. Nos habla de electrones y de moléculas de ADN, de la curvatura de la luz en campos gravitacionales, y hasta de las condiciones dominantes en el mundo mucho antes de que existieran seres humanos para observarlo. La ciencia no sólo tiene como objetivo proporcionarnos el conocimiento de cosas de ese tipo, sino que en general ha tenido éxito. La ciencia describe el mundo observable y también el que está detrás de las apariencias. Este es un enunciado tosco de *realismo* respecto de la ciencia.

¿Por qué habría de haber alguien que negara el realismo? Ciertamente, muchos filósofos de la ciencia contemporáneos lo hacen. Una fuente de dudas del realismo es la medida en que afirmaciones acerca del mundo inobservable tienen que ser hipotéticas, por cuanto trascienden lo que puede ser firmemente establecido sobre la base de la observación. Parecería que el realismo en la ciencia es demasiado temerario, puesto que afirma más de lo que puede defenderse razonablemente. La reflexión histórica puede reforzar estas dudas. Muchas teorías del pasado que hicieron afirmaciones acerca de entidades inobservables resultaron ser en efecto temerarias en este aspecto, puesto que han sido desechadas. Ejemplo de esto son la teoría corpuscular de la luz, de Newton y la teoría calórica antigua; también la teoría electromagnética de Maxwell, en cuanto que suponía que los campos eléctrico y magnético eran estados de un éter material. El antirrealista puede hacer notar que las partes teóricas han sido desechadas y que sólo se mantienen las partes basadas en la observación. Las observaciones de Newton en relación con la aberración cromática y la interferencia, la ley de Coulomb sobre la atracción y repulsión de

cuerpos cargados y las leyes de Faraday sobre la inducción electromagnética han sido incorporadas a la ciencia moderna. La parte duradera de la ciencia es la que se basa en la observación y en la experimentación. Las teorías son un mero andamiaje del que se puede prescindir cuando deja de ser útil. Esta es la posición típica antirrealista.

Así pues, la posición realista responde a una actitud irreflexiva, de la mayoría de los científicos y de los no científicos. Los realistas preguntarían ¿cómo podrían haber tenido tanto éxito teorías científicas que comprenden entidades inobservables como electrones y campos electromagnéticos si no describieran correctamente el reino de lo inobservable, al menos aproximadamente?". El antirrealista, en respuesta, subraya la inconclusión de las pruebas en favor de la parte teórica de la ciencia y señala que, al igual que las teorías del pasado tuvieron éxito a pesar de que no eran descripciones correctas de la realidad, es razonable suponer lo mismo acerca de las contemporáneas. En este capítulo exploramos este debate.

ANTIRREALISMO GLOBAL: LENGUAJE, VERDAD Y REALIDAD

No creo que tenga utilidad una forma que toma frecuentemente el debate realismo-antirrealismo en la literatura contemporánea. En todo caso, es un debate distinto del que yo y muchos otros deseamos hacer. Los lectores a quienes no impresionen los términos generales y abstractos de esta discusión pueden saltarse esta sección sin problemas. Lo que llamaré antirrealismo global suscita la cuestión de cómo un lenguaje de cualquier tipo, incluido el lenguaje científico, puede entrar en contacto con el mundo, o acoplarse con él. Sus defensores observan que no tenemos modo alguno de enfrentarnos con la realidad y leer datos acerca de ella, ni mediante la observación ni de ninguna otra manera. Podemos ver el mundo sólo desde nuestras perspectivas humanamente generadas y describirlo en el lenguaje de nuestras teorías. Estamos por siempre atrapados en nuestro lenguaje y no podemos salirnos de él para describir la realidad "directamente" de un modo independiente de nuestras teorías. El antirrealismo global niega que tengamos algún acceso a la realidad, y no sólo dentro de la ciencia.

Dudo que algún filósofo contemporáneo serio sostenga que podamos enfrentarnos con la realidad y leer directamente datos acerca de ella. Recuerdo al lector que en este libro dejamos atrás una idea así hacia el capítulo 2. En este sentido somos todos antirrealistas, pero esto no es decir mucho, pues es una tesis muy débil. Se hace más fuerte cuando se pretende que esta falta de acceso a la realidad tenga consecuencias y justifique una actitud escéptica frente a la ciencia y frente al conocimiento en general. La idea parece ser que ningún conocimiento puede gozar de una posición privilegiada como representación del mundo porque carecemos del acceso a él que pudiera servir para justificarla. Este paso es arbitrario. Si bien es cierto que no podemos describir el mundo sin utilizar algún tipo de armazón conceptual, podemos sin embargo comprobar la adecuación de estas descripciones mediante la interacción con él. Descubrimos el mundo no sólo observándolo y describiéndolo, sino también mediante la interacción con él. Como se discutió en el capítulo 1, una cosa es la elaboración de afirmaciones formuladas necesariamente mediante el lenguaje, y otra su verdad o falsedad. Se supone a menudo que la noción de verdad tiene un importante papel en los debates sobre el realismo, así que parece pertinente una discusión de esta noción.

La teoría de la verdad que más satisface a las necesidades de los realistas es la llamada teoría de la verdad como correspondencia. La idea general parece bastante sencilla y puede ser ilustrada con ejemplos sacados del discurso ordinario de tal forma que parezca casi trivial. De acuerdo con la teoría de la verdad como correspondencia, una proposición es verdadera si, y sólo si, se corresponde con los hechos. La proposición "el gato está encima del felpudo" es verdadera si el gato está encima del felpudo, y falsa si no lo está. Una proposición es verdadera si las cosas son como dice la proposición que son, y falsa si no lo son.

Un problema de la idea de verdad es la facilidad con que su uso puede llevar a paradojas. La llamada paradoja del mentiroso puede servirnos de ejemplo. Si afirmo: "Nunca digo la verdad", entonces si lo que digo es verdad, lo que digo es falso. Otro ejemplo bien conocido es el siguiente: "La proposición escrita en la otra cara de esta tarjeta es verdadera", mientras que en la otra cara pone: "La proposición escrita en la otra cara de esta tarjeta es falsa". No es difícil llegar a la conclusión paradójica de que cualquiera de las dos proposiciones es a la vez verdadera y falsa.

El lógico Alfred Tarski demostró cómo se pueden evitar las paradojas en un sistema de lenguaje determinado. El paso crucial es su aseveración de que, cuando se habla de la verdad o falsedad de las proposiciones en un lenguaje, hay que distinguir cuidadosamente las proposiciones en el sistema de lenguaje del que se habla, el "lenguaje objeto", de las proposiciones en el sistema de lenguaje en el que se habla del lenguaje objeto, el "metalenguaje". Con respecto a la paradoja de la tarjeta, si adoptamos la recomendación de Tarski, debemos decidir si las proposiciones de la tarjeta pertenecen al lenguaje del que se habla o al lenguaje en el que se habla. No surge ninguna paradoja si se sigue la regla de que cada una de las proposiciones debe pertenecer al lenguaje objeto o al metalenguaje, pero no a los dos, de manera que ninguna de las dos proposiciones pueda referirse a la otra y a la vez ser objeto de referencia por parte de la otra.

Una idea clave de la teoría de Tarski de la verdad como correspondencia es, pues, que si queremos hablar de la verdad de una proposición determinada, necesitamos un lenguaje más general, un metalenguaje, en el que nos podamos referir tanto a las proposiciones del lenguaje objeto como a los hechos a los que intentan corresponder estas proposiciones del lenguaje objeto. Tarski tuvo que mostrar cómo se puede desarrollar sistemáticamente la idea de la verdad como correspondencia para todas las proposiciones del lenguaje objeto de forma que se eviten las paradojas. La razón de que esto fuera una tarea difícil técnicamente es que todo lenguaje interesante tiene un número infinito de proposiciones. Tarski logró su tarea en lenguajes con un número finito de predicados de posición única, es decir, predicados como "es blanco" o "es una mesa". Su técnica daba por supuesto lo que significa que un predicado sea satisfecho por un objeto. Los ejemplos del lenguaje cotidiano parecen triviales. El predicado "es blanco", por ejemplo, es satisfecho por x si, y sólo si, x es blanco. Partiendo de esta idea de satisfacción para todos los predicados de un lenguaje, Tarski demostró que se puede elaborar una idea de verdad para todas las proposiciones del lenguaje. (Para emplear una terminología técnica, dando por sentada la noción de satisfacción primitiva, Tarski definió la verdad de forma recursiva.)

El resultado de Tarski tuvo ciertamente una gran importancia técnica para la lógica matemática. Causó un gran impacto en la teoría de modelos y tuvo también ramificaciones en la teoría de la prueba. Pero

éstos son temas que van más allá del objetivo de este libro. Tarski demostró también por qué se pueden producir contradicciones cuando se analiza la verdad en los lenguajes naturales e indicó cómo se pueden evitar. Pero yo no creo que hiciera nada más que esto y parece que el propio Tarski creyó lo mismo. Para nuestro propósito, sugiero que no hay nada más en la teoría de la correspondencia de Tarski que lo que está encapsulado en la frase en apariencia trivial "la nieve es blanca" es verdadero si, y sólo si, la nieve es blanca. Es decir, Tarski demostró que la idea de verdad del sentido común puede emplearse de modo que esté libre de las paradojas que parecían amenazarla. Desde este punto de vista, una teoría científica dice verdad acerca del mundo si el mundo es de la manera que dice la teoría que es, y falso si no es así. En la medida en que nuestra discusión sobre el realismo implica una noción de verdad, ésta es la noción de verdad que emplearé.

Quienes defienden el antirrealismo global sostienen que la teoría de la verdad como correspondencia no escapa del lenguaje para describir una relación entre proposiciones y el mundo, como pretende. Si se me pregunta a qué corresponde una proposición como "el gato está encima del felpudo", a menos que me niegue a responder, deberé contestar con una proposición. Replicaré que "el gato está sobre el felpudo" se corresponde con que el gato está sobre el felpudo. Quienes apoyan la objeción que tengo en mente responderán a esto diciendo que, al dar mi respuesta, no he establecido una relación entre una proposición y el mundo, sino entre una proposición y otra. Ésta es una objeción equivocada, como puede mostrarse con una analogía. Si delante de un mapa de Australia me preguntan a qué se refiere el mapa, entonces la respuesta es "a Australia". Si me preguntan a qué se refiere el mapa, no tengo otra alternativa sino la de dar una contestación verbal. El mapa es de una gran masa de tierra llamada Australia. Ni en el caso del gato ni en el del mapa es razonable decir que la respuesta verbal me involucra en la afirmación de que, en el primer caso la proposición "el gato está encima del felpudo", y en el segundo caso el mapa, se refieren a algo verbal. (Me parece que, por ejemplo, el antirrealismo global de Steve Woolgar (1988) encierra la confusión que he tratado de desenmarañar aquí.) Para mí al menos, es perfectamente inteligible y trivialmente correcta la afirmación: "el gato está encima del felpudo" se refiere a un estado de cosas en el mundo y es verdad si el gato está encima del felpudo y falso si no lo está.

Un realista afirmará, típicamente, que la ciencia trata de tener teorías que sean verdaderas, tanto del mundo observable como del inobservable, en las que la verdad se interprete según la noción del sentido común de correspondencia con los hechos. Una teoría es verdadera si el mundo es como la teoría dice que es y falsa si no lo es. La verdad de las proposiciones puede establecerse con facilidad en el caso de gatos encima del felpudo. No es éste el caso, ni mucho menos, cuando se trata de teorías científicas. Lo repito: el tipo de realismo que pretendo explorar no implica la afirmación de que podemos enfrentarnos cara a cara con la realidad y leer cuáles hechos son verdaderos y cuáles falsos.

El debate tradicional respecto de la ciencia entre realistas y antirrealistas se refiere al tema de si las teorías científicas deberían pretender alcanzar la verdad en sentido irrestricto, o si sólo tratan de afirmar algo acerca del mundo observable. Desde los dos lados se ve que la ciencia busca la verdad en algún sentido (en el sentido que yo interpretaré como de correspondencia del tipo discutido antes). Por tanto, ninguno de los dos lados del debate apoya el antirrealismo global. Dejemos, pues, atrás el antirrealismo global y ocupémonos de asuntos serios.

ANTIRREALISMO

El antirrealista sostiene que el contenido de una teoría científica comprende solamente el conjunto de afirmaciones que pueden ser verificadas mediante la observación o la experimentación. A muchos antirrealistas se les puede llamar *instrumentalistas*, y así se les llama a menudo. Para ellos, las teorías no son sino instrumentos útiles que ayudan a correlacionar y predecir los resultados de la observación y de los experimentos. Verdadera o falsa no son términos que convengan a las teorías si se las interpreta apropiadamente. Henri Poincaré (1952, p. 211) ejemplificó esta posición al comparar las teorías a catálogos de bibliotecas. Los catálogos son apreciados por su utilidad, pero sería erróneo pensar de ellos en términos de verdadero o falso. Lo mismo sucede con las teorías para el instrumentalista, que exigirá que las teorías sean generales (cubran bajo su paraguas un amplio conjunto de tipos de observación) y simples, además de cumplir con el requisito

principal de ser compatibles con la observación y la experimentación. Bas van Fraassen (1980) es un antirrealista contemporáneo que no es instrumentalista, en cuanto que piensa que las teorías son realmente verdaderas o falsas. Sin embargo, considera sin interés para la ciencia su verdad o falsedad. Para él, el mérito de una teoría debe juzgarse en términos de su generalidad y su simplicidad y la medida en que está soportada por la observación y conduce a nuevos tipos de observación. Van Fraassen llama "empirismo constructivo" a su posición. Un defensor del nuevo experimentalismo, que vea el desarrollo de la ciencia en términos de crecimiento controlable de los efectos científicos, y nada más, podría ser calificado de antirrealista en el sentido de mi análisis.

Una motivación subyacente al antirrealismo parece ser el deseo de restringir la ciencia a las afirmaciones que puedan ser justificadas por medios científicos, para evitar así la especulación arbitraria. Los antirrealistas pueden recurrir a la historia para justificar su afirmación de que la parte teórica de la ciencia no está establecida con seguridad. Algunas teorías del pasado no sólo han sido desechadas como falsas, sino que ya no se cree que existan algunas de las entidades postuladas por ellas. La teoría corpuscular de la luz de Newton sirvió a la ciencia durante más de cien años. Hoy se la considera falsa y no existen los corpúsculos que la óptica de Newton requería. El éter, que fue central en la óptica ondulatoria del siglo XIX y en la teoría electromagnética, ha sido igualmente descartado, y una idea clave en la teoría de Maxwell, la de que la carga eléctrica no es sino una discontinuidad en una deformación del éter, es considerada errónea hoy. Sin embargo, el antirrealista insistirá en que, a pesar de que estas teorías se han demostrado falsas, no se puede negar que desempeñaron un papel positivo como ayuda para ordenar, e incluso descubrir, fenómenos observables. Después de todo, fueron las especulaciones de Maxwell sobre el magnetismo representando estados del éter lo que le condujo a la teoría electromagnética de la luz y llevaría en su momento al descubrimiento de las ondas de radio. En vista de esto, parece plausible evaluar las teorías únicamente en términos de su capacidad de ordenar y predecir fenómenos observables. Las propias teorías pueden ser desechadas tan pronto como han dejado de ser útiles mientras que pueden mantenerse los descubrimientos experimentales que han propiciado. Igual que fueron descartadas las teorías pasadas y las entidades

inobservables que utilizaron, así se puede esperar que ocurrirá con las actuales. Son simplemente el andamiaje que sirve para erigir la estructura de conocimiento observacional y experimental y pueden desecharse cuando han cumplido con su trabajo.

ALGUNAS OBJECIONES TÍPICAS Y LA RESPUESTA ANTIRREALISTA

El antirrealista presupone que existe una distinción entre el conocimiento a nivel observacional, establecido con seguridad, y el conocimiento teórico, que no puede establecerse con seguridad y se considera a lo sumo como una ayuda heurística. El análisis que se hizo en los primeros capítulos de este libro acerca de la dependencia de la teoría y la falibilidad de la observación y el experimento presenta problemas desde este punto de vista, al menos en la superficie. Si los enunciados observacionales y los resultados experimentales son aceptables en la medida de que puedan resistir pruebas, pero están sujetos a ser reemplazados en el futuro a la luz de nuevas pruebas más sutiles, entonces se abre el camino para que el realista trate las teorías de exactamente la misma manera, y niegue que haya una distinción fundamental o nítida entre el conocimiento observacional y el teórico, distinción sobre la que el antirrealista basa su posición.

Nos ocuparemos de este tema al nivel de la experimentación y no al de la mera observación. Aquí, el antirrealista no necesita negar que la teoría desempeña un papel en el descubrimiento de nuevos efectos experimentales. Puede subrayar, no obstante, como hice yo en el capítulo sobre el nuevo experimentalismo, que los nuevos efectos experimentales pueden ser valorados y manipulados de una forma independiente de la teoría y que este conocimiento experimental no se pierde cuando se da un cambio radical de teoría. Di como ejemplos el descubrimiento de Faraday del motor eléctrico y la producción por Hertz de ondas de radio. Casos como éstos pueden presentarse de manera que sirvan de crédito a la posición antirrealista. Es discutible, sin embargo, que de este modo puedan interpretarse como independientes de la teoría todos los resultados experimentales, tal y como figuran en la ciencia. Intentaré que el problema cristalice invocando de nuevo mi relato acerca del uso del microscopio electrónico para investigar

dislocaciones en cristales. Algunos aspectos de los primeros trabajos podrían ayudar al antirrealista. La validez de las observaciones de dislocaciones fue establecida mediante varias manipulaciones y verificaciones que no confiaban en el recurso a una teoría detallada del microscopio electrónico y de la interacción de los rayos de electrones con los cristales. Sin embargo, a medida que el trabajo se iba haciendo más sofisticado, las interpretaciones de las imágenes observables podían lograrse y fundamentarse por un acuerdo entre los detalles finos y las predicciones de la teoría. No hay duda de que el conocimiento de las dislocaciones ha sido de una importancia práctica inmensa para comprender la resistencia de los materiales y otras muchas propiedades de los sólidos. La tarea de un antirrealista consistiría en mostrar cómo la parte experimentalmente útil de ese conocimiento es formulada y justificada de un modo independiente de la teoría. No intentaré resolver aquí este asunto, pero sí creo que el conocimiento sobre dislocaciones en cristales constituiría un caso muy interesante e informativo.

Otra objeción típica que se le hace al antirrealismo se refiere al éxito de las teorías en sus predicciones. La objeción pregunta cómo podrían las teorías tener éxito en sus predicciones si no fueran verdaderas, al menos aproximadamente. Este argumento parece tener fuerza particular en aquellos casos en los que una teoría conduce al descubrimiento de un nuevo tipo de fenómenos. ¿Cómo podría ser considerada la teoría general de la relatividad como un simple aparato de cálculo habiendo predicho con éxito la curvatura de los rayos de luz por el Sol? ¿Cómo podría sostenerse seriamente que las estructuras atribuidas a las moléculas orgánicas son meros instrumentos, cuando ahora pueden ser observadas "directamente" con microscopios electrónicos?

Los antirrealistas responderían como sigue. Ciertamente estarían de acuerdo en que las teorías pueden conducir al descubrimiento de nuevos fenómenos, pues éste es, en realidad, uno de los *desiderata* que esperan ellos mismos de una buena teoría. (Recuérdese que no forma parte de la posición antirrealista el que no baya lugar para la teoría en la ciencia. Es el estatus de la teoría lo que está en cuestión.) Sin embargo, el hecho de que una teoría sea productiva no es índice de que sea verdadera, como lo prueba el que teorías del pasado hayan sido exitosas en este respecto sin que se puedan considerar verdaderas desde un

punto de vista moderno. La teoría de Fresnel de la luz como ondas en un éter elástico predijo el punto brillante descubierto por Arago y las especulaciones de Maxwell sobre el desplazamiento del éter condujeron a la predicción de las ondas de radio. El realista considera falsa la teoría de Newton a la luz de la teoría de Einstein y de la mecánica cuántica. Y, sin embargo, la teoría de Newton tuvo más de dos siglos de predicciones con éxito antes de ser refutada. ¿No obliga, pues, la historia al realista a admitir que el éxito en las predicciones no es necesariamente índice de verdad?

Dos episodios históricos importantes han sido utilizados en los intentos por desacreditar el antirrealismo. El primero concierne a la revolución copernicana. Como vimos, Copérnico y sus seguidores tropezaron con problemas al defender su afirmación de que la Tierra se mueve. Una respuesta a estos problemas consistía en adoptar una postura antirrealista con respecto a la teoría, negar que hubiera que tomarla literalmente como descripción de los movimientos verdaderos, y exigir simplemente que fuera compatible con las observaciones astronómicas. Una expresión clara de esta opinión fue formulada por Osiander. En el prefacio a la principal obra de Copérnico, *De las revoluciones de los cuerpos celestes*, escribió:

...constituye el deber de un astrónomo componer la historia de los movimientos celestes a través de una observación cuidadosa y hábil. Luego, pasando a las causas de estos movimientos o a las hipótesis acerca de ellos, debe concebir e idear, ya que en modo alguno puede llegar a las causas verdaderas. hipótesis que, al ser asumidas, permitan calcular correctamente los movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto para el futuro como para el pasado. El autor [Copérnico] ha cumplido estos dos deberes de manera excelente, ya que estas hipótesis no necesitan ser verdaderas ni siquiera probables; es suficiente que proporcionen un cálculo coherente con las observaciones. (Rosen, 1962, p. 125).

Al adoptar esta postura, Osiander y quienes pensaban de manera similar a él se liberaron de la necesidad de encarar las dificultades planteadas por la teoría copernicana, en especial las que tenían su origen en la afirmación de que la tierra se mueve. Sin embargo, los realistas como Copérnico y Galileo se vieron obligados a enfrentarse y a tratar de solucionarlas. Esto condujo, en el caso de Galileo, a avances importantes en mecánica. La moraleja que el realista quiere sacar de

esto es que el antirrealismo no es productivo, puesto que barre bajo la alfombra las preguntas difíciles que requieren una solución desde el punto de vista realista.

El antirrealista puede responder que este ejemplo es una caricatura de su posición. Entre las exigencias que un antirrealista hace a las teorías está su insistencia en que las teorías sean generales y unificadas, que abarquen un amplio conjunto de fenómenos. Desde esta perspectiva, el antirrealista debe tratar de recoger la astronomía y la mecánica bajo un solo esquema teórico, y estaría igual de motivado que el realista para abordar los problemas mecánicos asociados con la teoría copernicana. Es irónico, en relación con esto, que el prominente antirrealista Pierre Duhem (1969), en su libro *To save the phenomena*, escogiera la revolución copernicana en apoyo de sus opiniones.

El segundo ejemplo histórico invocado frecuentemente se refiere a la justificación de la teoría atómica a comienzos del siglo XX. En las décadas finales del siglo XIX, Duhem, junto con otros antirrealistas notables, como Ernst Mach y Wilhelm Ostwald, rehusaron aceptar literalmente la teoría atómica. Pensaban que los átomos inobservables, o bien no tienen un lugar en la ciencia, o deberían ser tratados meramente como ficciones útiles. Los realistas toman la justificación de la teoría atómica, a satisfacción de la gran mayoría de los científicos (incluidos Mach y Ostwald, aunque no Duhem) ya en 1910, como una demostración de la falsedad y la esterilidad del antirrealismo. Los antirrealistas cuentan, de nuevo, con una respuesta. Exigen que sólo debiera tratarse como aspirante a verdad o falsedad aquella parte de la ciencia que es susceptible de confirmación por la observación y la experimentación. Sin embargo, deben reconocer que el número de afirmaciones susceptibles de ser confirmadas experimentalmente se extiende a medida que la ciencia progresa y se idean más instrumentos de investigación y técnicas experimentales, de modo que el antirrealista no tiene ningún problema en admitir que la teoría atómica no fue establecida en el siglo XIX, sino en el XX. Esta actitud fue hecha bastante explícita por Ostwald, por ejemplo.

Después de este paseo por el antirrealismo y de haber mostrado que puede ser defendido de algunas de las objeciones que se le hacen, echaremos una mirada ahora a la situación al otro lado de la valla.

REALISMO CIENTÍFICO Y REALISMO CONJETURAL

Comenzaré por dar una versión muy fuerte del realismo, aquélla a la que algunos han dado el nombre de "realismo científico". Según el realismo científico, la ciencia persigue alcanzar enunciados verdaderos acerca de lo que hay en el mundo y cómo se comporta éste, a todos sus niveles y no sólo al nivel de la observación. Más aún, se asevera que la ciencia ha hecho progresos hacia ese fin por cuanto ha llegado a teorías

que son, al menos aproximadamente, ciertas, y descubierto al menos algo de lo que hay. Así, por ejemplo, la ciencia ha descubierto que existen cosas tales como los electrones y los agujeros negros y que, aunque algunas teorías anteriores acerca de estas entidades han sido mejoradas, estas teorías eran aproximadamente verdaderas, como se puede demostrar al derivarlas como aproximaciones a las teorías actuales. No podemos saber si las teorías actuales son ciertas, pero son más ciertas que las anteriores, y mantendrán al menos una verdad aproximada cuando sean reemplazadas en el futuro por otras más precisas. El científico realista pone estas afirmaciones a la par con las propias afirmaciones científicas. Se asegura que el realismo científico es la explicación mejor del éxito de la ciencia y que se puede probar con el trasfondo de la historia de la ciencia y de la ciencia contemporánea de la misma forma que se prueban las teorías científicas frente al mundo. La pretensión de que se puede comprobar el realismo en la historia de la ciencia es la razón que le hace merecer el calificativo de "científico" a este realismo. Richard Boyd (1984) ha presentado una exposición clara del realismo científico del tipo que he resumido aquí.

Un problema clave en esta versión fuerte del realismo se origina en la historia de la ciencia y en la medida en que esta historia revela que la ciencia es falible y revisable. La historia de la óptica proporciona el ejemplo más sólido. La óptica ha sufrido modificaciones fundamentales en los tiempos modernos en su progreso desde la teoría corpuscular de Newton. Para Newton, la luz consistía en rayos de corpúsculos materiales. La teoría de Fresnel, que la substituyó, interpretaba la luz como una onda transversal en un éter elástico omnipresente. La teoría electromagnética de la luz de Maxwell reinterpretó estas ondas de manera que implicaban campos eléctricos y magnéticos fluctuantes, si bien mantuvo la idea de que los campos eran estados del éter. El éter

fue eliminado a principios del siglo XX, quedando los campos como entidades por derecho propio. Pronto se hizo necesario complementar el carácter de onda de la luz con su aspecto de partícula introduciendo los fotones. Supongo que tanto realistas como antirrealistas consideran que esta serie de teorías han significado un progreso de comienzo a fin. ¿Pero cómo se puede reconciliar este progreso con la severidad del realista científico? ¿Cómo se puede interpretar que estas teorías se dirigen siempre hacia una representación cada vez más aproximada de lo que hay en el mundo, cuando lo que es evidente es su drástica fluctuación? Primero se caracteriza la luz en términos de partículas, después de ondas en un medio elástico, después como campos fluctuantes en sí mismos y después como fotones.

Ciertamente, otros ejemplos parecen encajar mejor en la imagen realista. La historia del electrón es uno de estos casos. Al ser descubierto por primera vez en forma de rayos catódicos a finales del siglo XIX, se le interpretó como una partícula diminuta de masa pequeña y con carga eléctrica. Bohr tuvo que modificar esta imagen en su versión primera de la teoría cuántica del átomo, según la cual los electrones giraban en órbitas alrededor de un núcleo central positivo, pero sin emitir radiación alguna, como cabría esperar de partículas cargadas en movimiento circular. Hoy son vistos como entidades cuánticas con spin mitad de un entero, que pueden comportarse como ondas bajo circunstancias apropiadas y obedecen la estadística de Dirac-Fermi en vez de la clásica. Es razonable suponer que a lo largo de esta historia se habla de los mismos electrones y se experimenta con los mismos electrones, sólo que hemos mejorado y corregido constantemente el conocimiento que tenemos de ellos, de manera que hay razones para creer que la secuencia de teorías del electrón se aproxima a la verdad. Ian Hacking (1983) ha señalado una manera como este tipo de perspectiva puede fortalecer la posición realista. Alega que los antirrealistas ponen un énfasis excesivo en lo que puede, o no puede, ser observado, y prestan muy poca atención a lo que puede manejarse prácticamente en la ciencia. Argumenta que se puede mostrar que son reales las entidades de la ciencia una vez que han sido manipuladas de modo controlado y empleadas para producir efectos en alguna otra cosa. Si se pueden producir rayos de positrones y dirigirlos contra un blanco para causar efectos de modo controlado, ¿cómo no habrían de ser reales, a pesar de que no puedan ser observados directamente? Si los

puedes rociar, así dice Hacking, entonces son reales (p. 23). Si se adopta este criterio para juzgar lo que es real, mi ejemplo referente a las partículas de luz y el éter no es quizá significativo en contra del realismo, puesto que nunca se estableció que esas entidades fueran reales manejándolas prácticamente.

Algunos realistas creen que el realismo científico es demasiado fuerte y tratan de debilitarlo de diversas formas. De este tipo es el realismo defendido por Popper y sus seguidores, que puede denominarse realismo conjetural. El realista conjetural subraya la falibilidad del conocimiento y es muy consciente de que teorías del pasado, junto con sus afirmaciones acerca del tipo de entidades que existen en el mundo, han sido falsadas y reemplazadas por teorías superiores que interpretan el mundo de modo bastante diferente. No se puede saber cuáles de nuestras teorías actuales podrán sufrir un destino similar. Así que el realista conjetural no afirmará que las teorías actuales han demostrado ser aproximadamente verdaderas, ni que han identificado de manera concluyente las clases de cosas que hay en el mundo. El realista conjetural no excluirá la posibilidad de que el electrón pueda tener el mismo destino que el éter. Sin embargo, aún sostiene que el *objetivo* de la ciencia es descubrir la verdad acerca de lo que existe realmente y las teorías se valoran por la medida en que se puede decir que cumplen este objetivo. El realista conjetural dirá que el propio hecho de que podamos declarar falsas teorías pasadas indica que tenemos una idea clara del ideal que no han alcanzado.

Si bien el realista conjetural insistirá en que su postura es la más fructífera en ciencia, no llegará a describir su posición como científica. Los realistas científicos aseguran que su postura puede ser contrastada con la historia de la ciencia y puede explicar los éxitos de la ciencia. Esto es demasiado ambicioso para el realista conjetural. Antes de que una teoría pueda ser aceptada por la ciencia como explicación de una serie de fenómenos, es razonable que se exija que haya alguna prueba independiente para la teoría, es decir, independiente de los fenómenos a explicar. Como ha señalado John Worrall (1989b, p. 102), no es cuestión de si el realismo científico responde a esta exigencia, puesto que no se trata de que existan pruebas independientes de la historia de la ciencia que el científico realista tenga que explicar. La cuestión general es que es difícil ver cómo el realismo científico pueda ser confirmado por la evidencia histórica si se toman en serio las severas

exigencias que hace la propia ciencia en cuanto a lo que cuenta como confirmación significativa. El realista conjetural ve su postura más como filosófica que como científica, a ser defendida en términos de los problemas filosóficos que puede resolver.

Un problema importante del realismo conjetural es la debilidad de sus afirmaciones. No afirma que se pueda conocer que las teorías actuales sean verdaderas o aproximadamente verdaderas, ni que la ciencia haya descubierto de forma concluyente algunas de las cosas que existen en el mundo. Dice simplemente que la ciencia se esfuerza por conseguir tales objetivos y que hay maneras de saber cuándo fracasa. El realista conjetural debe admitir que, aun cuando la ciencia lograra teorías verdaderas y representaciones ciertas de lo que hay en el mundo, no habría modo de saberlo. Se podría muy bien preguntar qué diferencia hay entre este punto de vista y el de los más sofisticados antirrealistas a la hora de comprender y valorar la ciencia actual o del pasado.

IDEALIZACIÓN

Una típica objeción al realismo, aducida, por ejemplo, por Duhem (1962, p. 175) es que la teoría no puede ser tomada por una descripción literal de la realidad porque las descripciones teóricas están idealizadas, mientras que el mundo no. Recordemos que la ciencia que aprendimos en la escuela comprendía cosas tales como planos sin rozamiento, masas concentradas en puntos, cuerdas inextensibles, cuando todos sabemos que no hay nada en el mundo que se corresponda con estas descripciones. No debiera tampoco pensarse que éstas son idealizaciones introducidas sólo en los textos elementales, y que descripciones más complicadas que representen el estado real de las cosas serán añadidas más tarde. La ciencia newtoniana hace inevitablemente aproximaciones en astronomía, por ejemplo, al tratar los planetas como masas concentradas en un punto o esferas homogéneas, y otras similares. Cuando se usa la mecánica cuántica para derivar propiedades del átomo de hidrógeno, como su espectro característico, el átomo es tratado como un electrón con carga negativa que se mueve cercano a un protón cargado positivamente y aislado de su entorno. Ningún

átomo real de hidrógeno está nunca aislado de su entorno. Los ciclos de Carnot y los gases ideales son otras idealizaciones que tienen un papel crucial en la ciencia, sin que existan contrapartidas a ellos en el mundo real. Finalmente, desde una perspectiva realista, los parámetros que se adoptan para caracterizar sistemas en el mundo, tales como la posición y la velocidad de un planeta o la carga de un electrón, son tratados como indefinidamente precisos al ser manejados en ecuaciones matemáticas exactas, cuando las mediciones experimentales van siempre acompañadas de un cierto margen de error, de modo que una cantidad medida se denota como $x \pm dx$ donde dx representa el margen de error. La idea general es, pues, que en varios aspectos las descripciones teóricas son idealizaciones que no se corresponden con las situaciones del mundo real.

Mi opinión es que las idealizaciones en ciencia no plantean al realismo las dificultades que a menudo se piensa. En cuanto a la indudable inexactitud de toda medición experimental, no se sigue de ella que las cantidades medidas no tengan valores precisos. Yo argüiría, por ejemplo, que tenemos fuertes pruebas en física de que la carga es absolutamente idéntica en todos los electrones, a pesar de la imprecisión de las medidas de dicha carga. Muchas propiedades microscópicas, tales como la conductividad de los metales y los espectros de los gases, dependen de que los electrones, debido a que son idénticos en el sentido fuerte, obedecen la estadística de Fermi-Dirac y no la de Boltzmann. Este ejemplo no impresionará posiblemente al antirrealista, que ve el electrón como una ficción teórica, pero, al igual que a Hacking, me parece a mí que la manipulación experimental de electrones algo muy común ahora, hace extremadamente implausible la actitud antirrealista.

La idealización aparece de manera instructiva a la luz de la discusión sobre la naturaleza de las leyes del capítulo anterior. Allí se sugería que una clase común de leyes describen los poderes, tendencias, etc. de las cosas particulares para poder actuar o comportarse de una cierta manera. Se subrayó que no debería esperarse que la secuencia observable de acontecimientos reflejaran la acción ordenada de dichos poderes y tendencias, puesto que los sistemas en que operan serán, por lo general, complejos e incluirán la operación simultánea de otros poderes y tendencias. Así, por ejemplo, por muy preciso que intentemos hacer un experimento para medir la deflexión de los rayos

catódicos en un tubo de descarga, no podremos nunca eliminar completamente el efecto de la atracción gravitacional sobre el electrón debida a las masas cercanas, el efecto del campo magnético de la tierra, etc. Si se acepta que el concepto causal de las leyes puede tener sentido en ciencia cuando falla la idea de regularidad, entonces tendremos que pensar que las leyes describen poderes causales que actúan detrás de las apariencias y se combinan con otras potencias para producir los acontecimientos o secuencias de acontecimientos resultantes y que se pueden observar. Es decir, el concepto causal de ley es realista. El antirrealista parece estar obligado a captar el funcionamiento de las leyes en ciencia con alguna versión de la idea de regularidad. Ya analizamos en el capítulo anterior las dificultades a las que se enfrentan.

REALISMO NO REPRESENTATIVO O REALISMO ESTRUCTURAL

Si consideramos las versiones más sofisticadas de realismo y antirrealismo, las dos parecen tener un punto importante en su favor. El realista puede señalar el éxito en sus predicciones de las teorías científicas y preguntar cómo se explicaría este éxito si las teorías fueran meros instrumentos de cálculo. El antirrealista puede replicar indicando que las teorías científicas pasadas tuvieron éxito en sus predicciones, aun cuando el realista se ve obligado a considerarlas falsas. Este trasiego dramático de teorías es el punto clave en favor del antirrealista. ¿Existe una postura que se las arregle para captar lo mejor de ambos mundos? He tratado de hacer esto en el pasado con una postura que llamé realismo no representativo. Esta posición tiene similitudes con la desarrollada por John Worrall (1989b), a la que denomina realismo estructural. Mi expresión no ha encontrado eco. Puede ser que Worrall tenga mejor suerte.

La historia de la óptica nos proporciona el ejemplo más problemático desde el punto de vista realista, porque en él vemos cómo teorías indudablemente exitosas son derribadas con el consiguiente cambio en la comprensión de qué cosa es la luz. Nos concentraremos en este caso para ver en qué medida pueda salvarse la concepción realista. Los realistas popperianos, en su celo por combatir las interpretaciones positivista o inductivista de la ciencia, señalan la falsación de teorías

anteriormente bien confirmadas con el fin de reforzar su opinión de que el conocimiento científico sigue siendo falible, a pesar de las muchas pruebas positivas que pudiera haber en su favor. Con este espíritu, insistirán en que, por ejemplo, la teoría ondulatoria de la luz de Fresnel ha demostrado ser falsa. (No hay éter elástico y la teoría ondulatoria no es capaz de manejar problemas como el efecto fotoeléctrico, en el que la luz exhibe su naturaleza del tipo de partícula). Pero, ¿ayuda, o es justo, descartar la teoría de Fresnel por falsa? Después de todo, la luz se comporta como una onda en una amplia serie de circunstancias. Había algo más en la teoría de Fresnel que el simple éxito de sus predicciones. Captaba acertadamente un aspecto correcto de la luz en una serie amplia de circunstancias, la estructura del tipo de onda que exhibía. La teoría de Fresnel, que llevó a predicciones dramáticamente exitosas, como el famoso punto blanco, tenía éxito en razón de que captaba esta estructura. Worrall subraya este punto centrándose en la estructura *matemática* de la teoría de Fresnel y señala que se conservan en la teoría actual muchas de las ecuaciones que dan detalles de la reflexión y refracción en superficies transparentes. Esto es, desde el punto de vista de la comprensión contemporánea de la materia, las ecuaciones de Fresnel proporcionan descripciones verdaderas, no falsas, de una amplia serie de fenómenos ópticos, no obstante el hecho de que han sido desechadas algunas de las interpretaciones que hace Fresnel de la realidad subyacente a sus ecuaciones.

Así pues, la ciencia es realista en el sentido de que intenta representar la estructura de la realidad, y ha hecho un progreso constante en cuanto que ha tenido éxito al hacerlo con un grado de precisión cada vez más alto. Las teorías científicas del pasado fueron exitosas en sus predicciones en la medida en que, al menos aproximadamente, captaban la estructura de la realidad (de modo que este éxito no es un milagro inexplicado), lo que evita un problema importante con el antirrealismo. Por otra parte, mientras que la ciencia progresa firmemente al refinar constantemente las estructuras atribuidas a la realidad, son a menudo reemplazadas las representaciones que acompañan dichas estructuras (el éter elástico, el espacio como receptáculo de objeto e independiente de ellos). Hay cambios en las representaciones, pero un refinamiento constante de la estructura matemática. de modo que los términos "realismo no representativo" y "realismo estructural" tienen ambos una justificación.

Una característica importante del progreso de la física es la manera como una teoría explica el éxito de que gozó la que reemplaza, yendo más allá de la simple reproducción de sus predicciones. La teoría de la luz de Fresnel fue exitosa porque la luz tiene en verdad propiedades de onda de luz, y este hecho se ve reforzado, no refutado, por la teoría contemporánea. De forma similar, desde el punto de vista de la teoría de la relatividad, se puede apreciar por qué, en una amplia serie de circunstancias, con masas no demasiado grandes moviéndose a velocidades no demasiado próximas a la de la luz, no nos llevará a un error grande tratar el espacio como un receptáculo independiente del tiempo y de los objetos que encierra. Cualquier concepto de progreso en ciencia debe ser capaz de incorporar tales características generales. Una importancia mucho menor tiene cómo se llame la posición que lleve esto a cabo.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Esta discusión se ha basado en una gran medida en los textos de 1982 y 1989b de John Worrall. Leplin (1984) es una colección de artículos sobre el realismo científico. La defensa de Popper del realismo contra el instrumentalismo está en su texto de 1969 (capítulo 3) y en su texto de 1983. Son defensas clásicas del antirrealismo los textos de 1962 y 1969 de Duhem y Poincaré (1952); una versión moderna es van Fraassen (1980).

16. EPÍLOGO

Esta sección final contiene una reflexión sobre lo que se ha logrado en los capítulos anteriores. Suscitaré tres preguntas o problemas de los que me he ocupado al escribir este libro y que siguen preocupándome.

1. ¿He respondido a la pregunta que sirve de título a este libro? ¿Qué es esa cosa llamada ciencia?
2. ¿Qué relación hay entre los ejemplos históricos presentados en el libro y las tesis filosóficas defendidas? ¿Constituyen los ejemplos pruebas a mi favor, o son simplemente ilustraciones?
3. ¿Cómo se relacionan las afirmaciones generales acerca de la ciencia, hechas por los bayesianos y los experimentalistas y examinadas en los capítulos 12 y 13, con los argumentos en contra del método expuestos en el capítulo 11? ¿No es cierto que, si no existe una explicación general de la ciencia, sobra toda discusión?

Mi respuesta es como sigue: Me reafirmo en que no existe una descripción general de la ciencia y del método científico que se aplique a todas las ciencias en todas las etapas históricas de su desarrollo. La filosofía no cuenta, a decir verdad, con los recursos necesarios para hacer tal descripción. En un cierto sentido, la pregunta que sirve de título al libro está equivocada. Sin embargo, hacer una caracterización de las diversas ciencias en distintos estadios es una tarea significativa e importante. He tratado en este libro de realizar dicha tarea para las ciencias físicas, desde la época de la revolución científica en el siglo XVII hasta el presente (si bien me he abstenido de abordar la cuestión de la medida en que las innovaciones modernas, como la mecánica cuántica y la teoría del campo cuántico encierran características cualitativamente nuevas). Esta tarea implica describir la naturaleza de las

ciencias físicas mediante ejemplos históricos apropiados. Los ejemplos históricos son, por tanto, una parte importante de la argumentación y no meras ilustraciones.

Si bien la descripción que se ha presentado de las ciencias físicas no llega a ofrecer una definición universal de ciencia, está lejos de ser inútil a la hora de los debates acerca de lo que puede considerarse, o no, ciencia, por ejemplo, en discusiones sobre el rango de "ciencia de la creación". Supongo que el objetivo de quienes defienden la ciencia de la creación con ese nombre es el de sugerir que tiene un carácter similar al de las ciencias reconocidas, como la física. La postura defendida en este libro permite valorar esta pretensión. Una vez desplegado qué tipo de enunciados de conocimiento se buscan en física, qué clase de métodos hay disponibles para verificarlos y qué éxitos se han conseguido, tenemos lo que necesitamos como base de comparación con la ciencia de la creación. Si se muestran las semejanzas y diferencias que existen entre las disciplinas, tendremos todo lo necesario para realizar una valoración juiciosa y estaremos en posición de apreciar lo que se puede entender legítimamente de la denominación de ciencia en la ciencia de la creación. No es precisa una explicación universal de la ciencia.

En el párrafo penúltimo señalé que mi representación de las ciencias físicas ha de ser defendida con referencia a "ejemplos históricos del tipo apropiado". Es precisa alguna elaboración en esto. Los ejemplos del tipo apropiado tienen relación con la forma como las ciencias físicas funcionan en cuanto *conocimiento*. Se refieren al tipo de afirmaciones que se hacen acerca del mundo en las ciencias físicas y a las maneras como dichas afirmaciones conciernen al mundo y se prueban en él. Conciernen a lo que los filósofos llaman *epistemología* de la ciencia. La filosofía de la ciencia se hace mediante ejemplos históricos que muestran y esclarecen la función epistemológica de la ciencia. El tipo de historia de la ciencia involucrada es selectivo, y no es, ciertamente, el único posible o importante. La producción de conocimiento científico tiene lugar siempre dentro de un contexto social en el que esta finalidad se interrelaciona con otras prácticas que persiguen objetivos distintos, tales como los propósitos personales o profesionales de los científicos, las finalidades económicas de las instituciones que proporcionan fondos, los intereses ideológicos de diferentes grupos religiosos o políticos, etc. Una historia que explore estas

conexiones es a la vez legítima e importante, pero yo creo que está fuera de lugar en cuanto al proyecto de este libro. Existen una serie de “estudios sociales de la ciencia”, hoy día en boga, que aseguran que un estudio epistemológico del tipo del que he ofrecido en este libro no puede lograrse sin prestar la atención debida a todos los sentidos en que la ciencia es social. En este libro no he encarado de frente el reto planteado por estas escuelas de pensamiento. Me he contentado con mostrar que lo que dicen que no se puede hacer puede en verdad hacerse, simplemente haciéndolo. Mi intento por saldar cuentas con los estudios contemporáneos sociales de la ciencia aparece en *Science and its fabrication* (1990), libro en el que espero haber dejado claro que concedo una gran importancia al estudio de los aspectos sociales y políticos de la ciencia. La cuestión es aquí la relevancia epistemológica de dichos estudios.

Permítaseme que vuelva ahora al estado del bayesianismo y nuevo experimentalismo en vista de mi negativa al método universal. El bayesianismo se presenta como un intento de explicar el razonamiento científico en general, como claramente indica el título del texto de Howson y Urbach de 1989. Sin embargo, esta impresión no soporta el análisis. Incluso si aceptamos el aparato bayesiano sin contestación, lo que este aparato proporciona es una manera general de ajustar la probabilidad que se asigna a las creencias a la vista de nuevas pruebas. No identifica el razonamiento científico ni lo distingue de otras áreas del conocimiento. En verdad, la aplicación más útil del bayesianismo está en el juego, más que en la ciencia. Por consiguiente, si el bayesianismo ha de decirnos algo distintivo sobre la ciencia en particular, necesitará ser incrementado con alguna descripción de los tipos de creencia y de las pruebas que les atañen y que tienen su lugar en las ciencias. Sugiero que esto sólo puede hacerse dirigiendo una mirada cuidadosa a las ciencias mismas. Aún más, sugiero que cuando se haga surgirán diferencias en las diversas ciencias, e incluso cambios cualitativos dentro de los métodos de una sola ciencia. Es decir, aunque el esquema bayesiano fuera el correcto, no supondría ninguna amenaza a la negativa al método universal y tendría necesidad de la clase de historia epistemológica de la ciencia que yo defiendo.

Es cierto que los nuevos experimentalistas han revelado algunos rasgos importantes de los experimentos y sus logros dentro de las ciencias físicas y biológicas. Sin embargo, la explicación que esto ofrece

de la ciencia no puede tomarse como *la* explicación universal de la ciencia. Por vía de ejemplo, los experimentalistas han demostrado las capacidades y logros debidos a la experimentación en las ciencias naturales durante los últimos trescientos años y Deborah Mayo ha proporcionado un marco formal para muchos razonamientos experimentales recurriendo a la teoría de errores y a la estadística. Esto no equivale a una explicación universal de la ciencia por dos razones. En primer lugar, el énfasis que pone el nuevo experimentalismo en la manipulación experimental hace que esta explicación sea en gran parte irrelevante para una comprensión de las disciplinas, particularmente en las ciencias sociales e históricas, donde la manipulación experimental es imposible o inapropiada. Es concebible que esta conclusión podría haberse evitado si se identificara ciencia con ciencia experimental, pero esto no serviría para apaciguar a los que desean denominarse a sí mismos científicos de la política, o científicos del cristianismo, por ejemplo. En segundo lugar, como se discutió en el capítulo 13, la nueva descripción experimentalista es incompleta, por cuanto que no incluye una explicación adecuada de los diversos papeles cruciales que representa en ciencia la teoría. El problema es muy evidente, creo yo, en el texto de Peter Galison de 1997, en el que da una explicación rica en lo descriptivo del progreso en la física de las micropartículas en el siglo xx, centrándose en los detectores y contadores de partículas, sus capacidades y su evolución. Lo que no queda claro en su libro es la relación entre la detección experimental de partículas y la teoría de alto nivel, con su simetría y sus principios de conservación, mediante los cuales se comprenden y clasifican las partículas. En el momento de escribir este epílogo, creo que es una tarea destacada y urgente en la filosofía de las ciencias naturales incrementar las visiones de los nuevos experimentalistas con una explicación correspondiente, puesta al día, del papel o papeles de la teoría en las ciencias experimentales, justificada con el estudio de casos ejemplares.

La reflexión histórica siguiente ilustra la dificultad que existe en extraer del trabajo de los nuevos experimentalistas una caracterización o prescripción para la ciencia, y también el tipo de estudio que tengo en mente para esclarecer la relación entre teoría y experimento. La idea de tratar de comprender el mundo manipulándolo experimentalmente no era en absoluto nueva en la época de la revolución científica. La alquimia, entendida en un sentido amplio como precursora

de la química moderna, en cuanto que comprendía la transformación resuelta de la materia, y no en el sentido limitado de la transmutación de los metales en oro, se remonta a la Antigüedad y floreció en el periodo medieval. La práctica no resultó particularmente exitosa, pero esta falta de éxito no puede sencillamente atribuirse a una falta de dirección por la teoría. Una serie de teorías atomísticas, y otras teorías sobre la materia, informaban el trabajo de los alquimistas. Si se deja de lado la teoría y se mira sólo la práctica experimental, se puede discernir un progreso importante en las tradiciones artesanas de los metalúrgicos y farmacéuticos de los siglos XVI y XVII. Sin embargo, el conocimiento involucrado se puede considerar como cualitativamente diferente del de la química que había de surgir a fines del siglo XVII y en el XVIII. Esta última sí implicaba teoría, pero de un nivel muy bajo y muy lejana del atomismo. Lo que era necesario, algo que se añadió a principios de siglo XVIII, era una noción de combinación y re-combinación química de sustancias, incluida la idea de que las sustancias, ya combinadas, continúan existiendo en el compuesto resultante y se pueden recuperar de nuevo mediante las manipulaciones apropiadas. La clasificación de las sustancias en ácidos y álcalis, y las sales producto de la neutralización de una por otra, ofrecía un camino para organizar la investigación de manera que fuera posible el progreso sin la necesidad de una teoría atomística u otra teoría sobre la materia. Hasta bien entrado el siglo XIX no se alcanzó la madurez necesaria para enlazar tales especulaciones con el experimento. De modo que la cuestión del papel del experimento en la ciencia y su relación con la teoría es compleja y se relaciona con la historia, aun en el caso que se restrinja la discusión a la química.

Concluiré con algunas observaciones acerca de la relación existente entre las visiones de la ciencia exploradas en este libro y el trabajo de los científicos. Puesto que he negado que exista una explicación universal de la ciencia utilizable por los filósofos y capaz de ofrecer normas para juzgarla, y puesto que he defendido la idea de que una explicación adecuada de las diversas ciencias sólo puede obtenerse mediante la mirada atenta a las propias ciencias, se podría concluir que sobran las opiniones de los filósofos de la ciencia y que sólo tienen consecuencia las que tienen los propios científicos. Podría pensarse que si he defendido con éxito mi punto de vista debería dejar mi trabajo. Esta conclusión (afortunadamente para mí) no está garantizada.

Si bien es cierto que los propios científicos son en cuanto practicantes los más capaces de conducir la ciencia y no necesitan el consejo de los filósofos, los científicos no son particularmente expertos en distanciarse de su trabajo y describir y caracterizar la naturaleza de dicho trabajo. Los científicos son especialmente buenos a la hora de hacer progreso científico, pero no en articular en qué consiste ese progreso. Esta es la razón por la cual los científicos no están particularmente bien equipados para enfrascarse en debates acerca de la naturaleza y el estatus de la ciencia y no hacen, por lo común, un buen trabajo acerca de la naturaleza y el estatus de la ciencia en controversias tales como, por ejemplo, las relativas a la evaluación de la ciencia de la creación. Este libro no pretende ser una contribución a la ciencia, ni siquiera a la ciencia física, en la cual me he centrado. Más bien, mediante ejemplos históricos en gran medida, he tratado de esclarecer qué clase de cosas son o han sido las ciencias físicas.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Para un estudio de la alquimia en el periodo medieval, y las varias teorías atomísticas involucradas, véase Newman (1994). En Newman y Principe (1998) se puede encontrar una interpretación de la alquimia como química, en lugar de otra más restringida, y una descripción de la invención de la interpretación más restringida de la "alquimia" a finales del siglo XVII. Para una descripción de la introducción de una explicación de la combinación química capaz de servir de base a la nueva ciencia de la química en el siglo XVIII, véase Klein (1991) y Klein (1996).

BIBLIOGRAFÍA

- Ackermann, R. J. (1976), *The Philosophy of Karl Popper*, Amherst, University of Massachusetts Press.
- (1989), «The New Experimentalism», *British Journal for the Philosophy of Science*, 40, 185-190.
- Anthony, H. D. (1948), *Science and its Background*, Londres, Macmillan.
- Armstrong, D. M. (1983), *What Is a Law of Nature?*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ayer, A. J. (1940), *The Foundations of Empirical Knowledge*, Londres, Macmillan.
- Bamford, G. (1993), «Popper's Explications of Ad Hocness: Circularity, Empirical Content and Scientific Practice», *British Journal for the Philosophy of Science*, 44, 335-355.
- Barker, E. (1976), *Social Contract: Essays by Locke, Hume and Rousseau*, Oxford, Oxford University Press.
- Barnes, B. (1982), *T.S. Kuhn and Social Science*, Londres, Macmillan.
- , D. Bloor y J. Henry (1996), *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*, Chicago, University of Chicago Press.
- Bhaskar, R. (1978), *A Realist Theory of Science*, Hassocks, Sussex, Harvester.
- Block, I. (1961), «Truth and Error in Aristotle's Theory of Sense Perception», *Philosophical Quarterly*, 11, 1-9
- Bloor, D. (1971), «Two Paradigms of Scientific Knowledge», *Science Studies*, 1, 101-115.
- Boyd, R. (1984), «The Current Status of Scientific Realism», en J. Leplin (1984), 41-82.
- Brown, H. J. (1977), *Perception, Theory and Commitment: The New Philosophy of Science*, Chicago, University of Chicago Press.
- Buchwald, J. (1989), *The Creation of Scientific Effects*, Chicago, University of Chicago Press.
- Cartwright, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford, Oxford University Press.
- (1989), *Nature's Capacities and Their Measurement*, Oxford, Oxford University Press.

- Chalmers, A. E (1973), «On Learning from Our Misrakes», *British Journal for the Philosophy of Science*, 24, 164-173.
- (1984), «A Non-Empiricist Account of Experiment», *Methodology and Science*, 17, 95-114.
- (1985), «Galileo's Telescopie Ohservations of Venus and Mars», *British Journal for the Philosophy of Science*, 36,175-191.
- (1986), «The Galileo that Feyerabend Missed: An Improved Case Against Method», en J. A. Schuster y R. A. Yeo (eds.), *The Politics and Rhetoric of Scientific Method*. Dordrecht, Reidel, 1-33.
- (1990), *Science and Its Fabrication*, Milton Keynes, Open University Press.
- (1993), «The Lack of Excellency of Boyle's Mechanical Philosophy», *Studies in History and Philosophy of Science*, 24,541-564.
- (1995), «Ultimate Explanation in Science», *Cogito*, 9,141-145.
- (1999), «Making Sense of Laws of Physics», en H. Sankey (ed.), *Causation and Laws of Nature*, Dordrecht, Kluwer.
- Christie, M. (1994), «Philosophers versus Chemists Concerning "Laws of Nature"», *Studies in History and Philosophy of Science*, 25, 613-629.
- Clavelin, M. (1974), *The Natural Philosophy of Galileo*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Cohen, R. S., P K. Feyerabend y M. W. Wartofsky (eds.) (1976), *Essays in Memory of Imre Lakatos*, Dordrecht, Reidel.
- Davies, J.J. (1968), *On the Scientific Method*, Londres, Longman.
- Dorling, J. (1979), «Bayesian Personalism and Duhem's Problem», *Studies in History and Philosophy of Science*, 10,177-187.
- Drake, S. (1957), *The Discoveries and Opinions of Galileo*, Nueva York, Doubleday.
- (1978), *Galileo at Work*, Chicago, Chicago University Press.
- Duhem, P. (1962), *The Aim and Structure of Physical Theory*, Nueva York, Atheneum.
- (1969), *To Save the Phenomena*, Chicago, University of Chicago Press.
- Duncan, M. M. (1976), *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*, Nueva York, Barnes and Nohle.
- Earman, J. (1992), *Bayes or Bust? A Cnt/cal Examination of Bayesian Confirmation Theory*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- Edge, D. O. y M. J. Mulkay (1976), *Astronomy Transformed*, Nueva York, Wiley Interscience.
- Feyerabend, P K. (1970), «Consolations for the Specialist», en I. Lakatos y A. Musgrave (1970), 195-230 [«Consuelos para el especialista», en *La critica y el desarrollo del conocimiento*, Barcelona, Grijalbo, 1975].
- (1975), *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, Londres, New Left Books [*Contra el método*, trad. de la primera versión

- aparecida en los *Minnesota studies in the philosophy of science*, vol. IV, 1970, Barcelona, Ariel, 1974; posteriormente han aparecido al menos dos versiones más. También *Tratado del método*, Tecnos, 1981].
- (1976), «On the Critique of Scientific Reason», en C. Howson (1976, pp. 209-239).
- (1978), *Science in a Free Society*, Londres, New Left Books [*La ciencia en una sociedad libre*, Madrid, Siglo XXI, 1982].
- (1981 a), *Realism, Rationalism and Scientific Method. Philosophical Papers, Volume I* Cambridge, Cambridge University Press.
- (1981 b), *Problems of Empiricism. Philosophical Papers, Volume II*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Franklin, A. (1986), *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1990), *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Galileo (1957), «The Starry Messenger», en S. Drake (1957) [*El mensajero de los astros*, EUDEBA].
- (1967), *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, trad. S. Drake, Berkeley, California, University of California Press [*Diálogos sobre los sistemas máximos*, Aguilar, 1975].
- (1974), *Two New Sciences*, trad. S. Drake, Madison, University of Wisconsin Press [Trad. cast. de J. Sádaba, rev. y con introducción de C. Solís, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional, 1976].
- Galison, P. (1987), *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press.
- (1997), *Image and Logic: A Material Culture of Physics*, Chicago, University of Chicago Press.
- Gaukroger, S. (1978), *Explanatory Structures*, Hassocks, Sussex, Harvester.
- Geymonat, L. (1965), *Galileo Galilei*, Nueva York, McGraw Hill.
- Glymour, C. (1980), *Theory and Evidence*, Princeton, Princeton University Press.
- Goethe, J. W. (1970), *Theory of Colors*, trad. C. L. Eastlake, Cambridge, Mass., MIT Press [*Obras completas*, Madrid, Aguilar, 1973, 3 vols.].
- Gooding, D. (1990), *Experiment and the Making of Meaning: Human Agency in Scientific Observation and Experiment*, Dordrecht, Kluwer.
- Hacking, I. (1983), *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Hanfling, O. (1981), *Logical Positivism*, Oxford, Basil Blackwell.
- Hanson, N. R. (1958), *Patterns of Discovery*, Cambridge, Cambridge University Press [*Patrones de descubrimiento*, Madrid, Alianza, 1977].

- Hempel, C. G. (1966), *Philosophy of Natural Science* Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall [*La filosofía de la ciencia natural*, Madrid, Alianza, 1973].
- Hertz, H. (1962), *Electric Waves* Nueva York, Dover.
- Hirsch, P. B., R. W. Horne y M. J. Whelan, (1956), «Direct Observation of the Arrangements and Motions of Dislocations in Aluminium», *Philosophical Magazine*, 1, 677-684.
- Hooke, R. (1665), *Micrographia*, Londres, Martyn and Allestry.
- Horwich, P (1982), *Probability and Evidence*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Howson, C. (ed.) (1976), *Method and Appraisal in the Physical Sciences*, Cambridge, Cambridge University Press.
- y P. Urhach (1989), *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach*, La Salle, Illinois, Open Court.
- Hoyningen-Huene, P. (1993), *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn's Philosophy of Science*, Chicago, University of Chicago Press.
- Hume, D. (1939), *Treatise on Human Nature*, Londres, Dent [*Tratado de la naturaleza humana*, Madrid, Orbis, 1985].
- Klein, U. (1995), «E. E Geoffroy's Table of Different "Rapports" Observed Between Different Chemical Substances», *Amhix*, 42, 79-100.
- (1996), «The Chemical Workshop Tradition and the Experimental Practice: Discontinuities Within Continuities», *Science in Context*, 9,251-287.
- Kuhn, T. (1959), *The Copernican Revolution*, Nueva York, Random House [*La revolución copernicana*, trad. de Domènec Bergadá, Barcelona, Ariel, 1978].
- (1970a), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press [*La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE,1971].
- (1970b), «Logic of Discovery or Psychology of Research», en I. Lakatos y A. Musgrave (1970), 1-20 [«¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?», en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*].
- (1970c), «Reflections on My Critics», en I. Lakatos y A. Musgrave (1970), 231-278 [«Reflexiones sobre mis críticos», en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*].
- (1977), *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, Chicago, University of Chicago Press [*La tensión esencial*, Madrid, FCE, 1983].
- Lakatos, I. (1968), *The Problem of Inductive Logic*, Amsterdam, North Holland.
- (1970), «Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes», en I. Lakatos y A. Musgrave (1970), 91-196 [«Falsación y la

- metodología de los programas de investigación científica», en I. Lakatos y A. Musgrave (comps.), *La crítica y el desarrollo del conocimiento*].
- (1971), «Replies to Critics», en R. Buck y R. S. Cohen (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science, Volume 8*. Dordrecht, Reidel.
- (1976a), «Newton's Effect on Scientific Standards», en J. Worrall y G. Currie (1978a), 193-222.
- (1976b), *Proofs and Refutations*, Cambridge, Cambridge University Press [*Pruebas y refutaciones*, trad. de C. Solís, 3. ed., Madrid, Alianza, 1986].
- (1978), «History of Science and Its Rational Reconstruction», en J. Worrall y G. Currie (1978a), 102-138 [*Historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, trad. de Diego Ribes, Madrid, Tecnos, 1974].
- y A. Musgrave (eds.) (1970), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press [*La crítica y el desarrollo del conocimiento científico*, Barcelona, Grijalbo, 1975].
- y E. Zahar (1975), «Why Did Copernicus' Programme Supersede Ptolemy's», en R. Westman (ed.), *The Copernican Achievement*, Berkeley, California, University of California Press.
- Larvor, B. (1998), *Lakatos: An Introduction*, Londres, Routledge.
- Laudan, L. (1977), *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*, Berkeley, University of California Press.
- (1984), *Science and Values: The Aims of Science and Their Role in Scientific Debate*, Berkeley, University of California Press.
- Leplin, J. (1984), *Scientific Realism*, Berkeley, University of California Press.
- Locke, J. (1967), *An Essay Concerning Human Understanding*, Londres, Dent.
- Maxwell, J. C. (1877), «The Kinetic Theory of Gases», *Nature*, 16, 245-246.
- (1965), «Illustrations of the Dynamical Theory of Gases», en W. D. Niven (ed.), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, 2 vols., Nueva York, Dover.
- Mayo, D. (1996), *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, Chicago, University of Chicago Press.
- Menter, J. (1956), «The Direct Study by Electron Microscopy Crystal Lattices and Their Imperfections», *Proceedings of the Royal Society: A*, 236, 119-135.
- Mill, J. S. (1975), *On Liberty*, Nueva York, Norton.
- Mulkay, M. (1979), *Science and the Sociology of Knowledge*, Londres, Allen and Unwin.
- Musgrave, A. (1974a), «The Objectivism of Popper's Epistemology», en P.A. Schilpp (1974, 560-596).
- (1974b), «Logical Versus Historical Theories of Confirmation», *British Journal for the Philosophy of Science*, 25, 1-23.

- Nersessian, N. (1984), *Farady to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*, Dordrecht, Kluwer.
- Newman, W R. (1994), *Gebennical Fire: The Lives of George Starkey en American Alchemist in the Scientific Revolution*, Cambridge, Mass., Harvard University Press.
- y L. M. Principe (1998), «Alchemy vs Chemistry: the Etymological Ongins of a Historiographic Mistake», *Early Science and Medicine*: 3, 32-65.
- Nye, M. J. (1980), «N-rays: An Episode in the History and Psychology of Science», *Historical Studies in the Physical Sciences* 11, 125-156.
- O'Hear, A. (1980), *Karl Popper*, Londres, Routledge and Kegan Paul.
- Poincaré, H. (1952), *Science andHypotheses*, Nueva York, Dover [*La ciencia y la hipótesis*, Madrid, Espasa-Calpe, 1974].
- Polanyi, M. (1973), *Personal Knowledge*, Londres, Routledge and Kegan Paul.
- Popper, K. R. (1969), *Conjectures and Refutations*, Londres, Routledge and Kegan Paul [*El desarrollo del conocimiento científico: conjeturas y refutaciones*, Buenos Aires, Paidós, 1967].
- (1972), *The Logie of Scientific Discovery*, Londres, Hutchinson [*La lógica de la investigación científica*, trad. de Víctor Sánchez de Zavala, Madrid, Tecnos, 1967].
- (1974), «Normal Science and Its Dangers», en I. Lakatos y A. Musgrave (1974,51-58).
- (1979), *Objective Knowledge*, Oxford, Oxford University Press [*Conocimiento objetivo*, Madrid, Tecnos, 1974].
- (1983), *Realism and the Aim of Science*, Londres, Hutchinson.
- Price, D. J. de S. (1969), «A Critical Re-estimation of the Mathematical Planetary Theory of Ptolemy», en M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*, Madison, University of Wisconsin Press.
- Quine, W. V. O. (1961), «Two Dogmas of Empiricism», en *From a Logical Point of View*, Nueva York, Harper and Row [«Dos dogmas del empirismo», en *Desde un punto de vista lógico*, trad. de Manuel Sacristán, Barcelona, Ariel, 1962].
- Ravetz, J. R. (1971), *Scientific Knowledge and Its Social Problems*, Oxford, Oxford University Press.
- Rosen, E. (1962), *Three Copernican Treatises*, Nueva York, Dover.
- Rosenkrantz, R. D. (1977), *Inference, Method and Decision: Towards a Bayesian Philosophy of Science*, Dordrecht, Reidel.
- Rowbotham, F.J. (1918), *Story Lives of Great Scientists*, Wells, Gardner and Darton.
- Russell, B. (1912), *Problems of Philosophy*, Oxford, Oxford University Press [*Los problemas de la filosofía*, trad. de Joaquín Xirau y prólogo de Emilio Lledó, Barcelona, Labor, 1975].

- Salmon, W. (1966), *The Foundations of Scientific Inference*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press.
- Schilpp, P. A. (ed.) (1974), *The Philosophy of Karl Popper*, La Salle, Illinois, Open Court.
- Shapere, D. (1982), «The Concept of Observation in Science and Philosophy», *Philosophy of Science*, 49, 485-525.
- Stove, D. (1973), *Probability and Hume's Inductive Skepticism*, Oxford, Oxford University Press.
- Thomason, N. (1994), «The Power of ARCHED Hypotheses: Feyerabend's Galileo as a Closet Rationalist», *British Journal for the Philosophy of Science*, 45, 255-264.
- (1998), «1543 - The Year That Copernicus Didn't Predict the Phases of Venus», en A. Coronas y G. Freeland (eds.), *1543 and All That*, Dordrecht, Reidel.
- Thurher, J. (1933), *My Life and Hard Times*, Nueva York, Harper.
- Van Fraassen, Bas C. (1980), *The Scientific Image*, Oxford, Oxford University Press.
- (1989), *Laws and Symmetry*, Oxford, Oxford University Press.
- Woolgar, S. (1988), *Science: The Very Idea*, Londres, Tavistock.
- Worrall, J. (1976), «Thomas Young and the "Refutation" of Newtonian Optics: A Case Study in the Interaction of Philosophy of Science and History», en Howson (1976, 107-179).
- (1982), «Scientific Realism and Scientific Change», en *Philosophical Quarterly*, 32, 201-231.
- (1985), «Scientific Reasoning and Theory Confirmation», en J. Pitt (ed.), *Change and Progress in Modern Science*, Dordrecht, Reidel.
- (1988), «The Value of a Fixed Methodology», *British Journal for the Philosophy of Science*, 39, 263-275.
- (1989 a), «Fresnel, Poisson and the White Spot: The Role of Successful Predictions in Theory Acceptance», en D. Gooding, S. Schaffer y T. Pinch (eds.), *The Uses of Experiments: Studies of Experiment in Natural Science*, Cambridge, Cambridge University Press.
- (1989b), «Structural realism: The Best of Both Worlds?», *Dialectica*, 43, 99-124
- y G. Currie (eds.) (1978 a), *Imre Lakatos, Philosophical Papers, Volume 1: The Methodology of Scientific Research Programmes*, Cambridge, Cambridge University Press.
- y - (eds.) (1978b), *Imre Lakatos, Philosophical Papers, Volume 2: Mathematics, Science and Epistemology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Zahar, E. (1973), «Why Did Einstein's Theory Supersede Lorentz's?», *British Journal for the Philosophy of Science*: 24, 95-123 y 223-263..

ÍNDICE DE NOMBRES

Abbe, E., 198	Boyd, R., 223
Ackermann, R., 81,182,199	Boyle, R., 159-160,163, 200-201, 206-207,210-211
Adams,J. C., 74,129	Brahe, T., 84, 94, 125,156,157,158
Adler, A., 61,69	Brown, H.J., 17
Althusser, L., xv	Buchwald,J., 184
Ampere, A. M., 183,184	
Anthony, H. D., 1,2	Carnap, R., 56,148
Aquino, Tomás de, 155	Carnot, S., 227
Arago, F., 193,221	Cartwright, N., xvii, 211
Arquímedes, 202	Cavendish, H., 127, 203
Aristarco, 143	Chalmers, A., 24, 37, 81,151,152, 163,211,233
Aristóteles, 2, 15,205	Chang, H., xviii
falsación y, 68,72, 87-88, 90, 91-92,94	Christie, M., 211
ideas de Feyerabend y, 143,144	Clavelin, M., 154
método y, 152, 154-155,161	Clavius, C., 156
paradigmas y, 106, 107, 108, 109,114,134	Cohen, R. S., 140
Armstrong, D. M., 211	Comte, A., 3
Ayer,A.J., 17	Copérnico, N., 16
	falsación y, 77, 82, 84, 87-95
Bamford, G., 174	Feyerabend y, 142, 143, 144, 157
Barnes, B., 17, 122	Lakatos y, 124, 125, 131, 132, 133, 136, 137
Bayes, T., XVII, 164-180 , 181,182, 231,233	lunas de Júpiter y, 21
Berkeley, G., 3	nuevo experimentalismo y, 197, 199
Bhaskar, R., 211	paradigmas y, 98,104,107, 109, 117
Blake, T., xv	realismo y antirrealismo, 221, 222
Block, I., 154-155	
Bloor, D., 17,122	
Bohr, N., 86,127, 224	
Boltzmann, L., 128,227	

Coulomb, A., 209,212
Currie, G., 123, 137, 138,140
Curthoys, J., XII

Dalton, J., 108
Darwin, C., XXI, 10
Davies,J.J., 1
Demócrito, 152
Descartes, R., 103,108
Dickens, C., xx
Dirac, P A. M., 224,227
Dorling, J., 169,171,172, 180
Drake, S.22,157
Duhem, P., 84,172, 222, 226, 230
Duncan, M. M., 16

Earnan, J., 180
Eddington, A., 56, 75,188,193,196
Edge,D.O.,14
Einstein, A., XXI, 33
falsación y, 56, 57, 68, 69, 75, 77
Lakatos y, 132,134
método y, 152
nuevo experimentalismo y, 189, 193,195
paradigmas y, 108, 111, 113, 118, 134
probabilidad y, 179
realismo y antirrealismo, 221

Faraday, M., 33, 100,182-184, 213, 219
Fermi, E., 224, 227
Feyerabend, P., xv, xxi, xxii, 141-
151,181-182
falsación y, 97
Lakatos y, 138,139
objeciones a, 152-153,155,157
paradigmas y, 118
probabilidad y, 164
Franklin,A.,37,199
Fresnel, A. J., 77,119,135,177,193, 221,223,229,230
Freud, S., 56, 57, 61, 69, 96,128

Galileo, XXI, 1,134,136
falsación y, 66, 68, 72
Feyerabend y, 142-147, 150, 153

ley de caída, 2-3,26,93-95,201-204
lunas de Júpiter, 20-22
método objetivo, 23-24
nuevo experimentalismo y, 193, 194-195,197
paradigmas y, 100,111,127
probabilidad y, 174
realismo y antirrealismo, 221
telescopio, 16, 91-92,11,154-158,161,163
Galison,P.,37, 177,199,234
Galle, J., 74,79,127
Gaukroger, 5.154
Geymonat, L., 154
Glymour, C., 55
Goethe, J. W., 64
Gooding, D., 182,199

Hacking, I., 24, 37,182,185,199, 224-225,227
Halley, E., 127,164,168
Hamilton, W. R., 209,211
Hanfling, O., 17
Hanson, N. R., 5,6,17
Hawking, S.161
Helmholtz, H. van, 185
Hempel, C. G., 55,148
Henry,J., 17
Hertz, H., 29-33, 36, 79, 80,184, 185,191,193,203,219
Hirsch, P., 198
Hobbes, T., 207

Hooke, R., 19
Horwich, P, 180
Howson, C., 135, 140,169, 171-180, 233
Hoyningen-Huene, P, 122
Hume, D., 3,47,55, 149,201

Kepler, J., 62, 63, 75, 92, 94, 95, 136
Klein, U., 236
Koertge, N., xii
Kuhn, T., 97, 101-121,181,182
Feyerabend y, 141, 146-147, 150
Lakatos y, 123,130,133,137, 139
nuevo experimentalismo y, 190-
191

Lagrange,J. L., 209-211
Lakatos, I., xi, xii, 33, 55,122,123-140,171,181
falsación y, 84, 85, 86, 97
Feyerabend y, 141, 146,148,150
Laudan, L., 163
Lavoisier, A., 73,108
Lawrence, D. H., XX
Leplin, J., 230
Leverrier, U. J., 74, 129
Locke, J.,3, 17,149
Lodge, O., 195

Mach,E., 118,222
Marx, K., xii, xx, 56,57, 61,69,124, 128,138,146
Maxwell, J. C., 30,31,33,185
falsación y, 76-77, 79, 86-87
leyes y,210
paradigmas y, 100, 103, 106, 108,118
realismo y antirrealismo, 212, 218,221,223
Mayo,D.,37,97,113,140,180,186-
192,194-196,199, 234
Menter,J., 198
Michelson, A. A., 118
Mill,J.S., 147
Morley,L., 118
Mulkay, M.J., 14,162
Musgrave, A., 33, 97,122,132, 140

Nabokov, V,xiíí

Nagel, E., 148
Nersessian, N., 122
Newman, W R., 236
Newton, I., xxi
falsación y, 62-63, 66, 68, 69, 71, 79, 85, 86
Feyerabend y, 144
Lakatos y, 124, 126, 127, 128, 139
leyes y, 204, 205, 206, 209-210
Neptuno y, 73, 74, 79, 84
nuevo experimentalismo y, 188, 189, 195
óptica antes de, 104
paradigmas y, 98, 99, 102-108, 113, 114, 118, 119, 134
probabilidad y, 168
realismo y antirrealismo, 212, 218, 221, 223, 226
revolución copernicana y, 87-88, 94-95
Nye, M. J., 14

O'Hear, A., 81
Oersted, H. C., 182
Osiander, A., 16, 158, 221
Ostwald, W, 222

Pauli, W., 106-107
Perrin, J., 191, 193
Platón, 75

Poincaré, H., 217,230
Poisson, S. D., 77,119, 177
Polanyi, M., 7, 8, 105
Popper, K., xi, XII, 24, 55,120, 121, 181
falsación y, 61, 62, 63, 69, 72,
74,75,81,95-97
Feyerabend y, 142,148
Lakatos y, 123,124,130,131,133
leyes y, 201
nuevo experimentalismo y, 190, 195
objecciones a la inducción, 56, 57
paradigmas y, 113,114,115
probabilidad y, 164,168,169, 173, 174,178
realismo y antirrealismo, 225, 228,230
Post, H., xii
Powers,H., 19
Price, D. J. De S., 158
Principe, L. M., 236
Prout, W., 33,171,172, 178

Quine, W. V. O., XII, 84,172

Roentgen, W, 66
Rosenkranz, R. D., 180
Rowbotham, F.J., 2
Russell, B., 42,55, 75
Russell, D., xv

Salmon W.
Schilpp, P.A., 81,97
Shapere, D., 24
Snell, W. van R., 186,187
Soddy, E, 33
Stove, D., 55
Suchting, W, xii

Tarski, A.,215-215
Thomason, N., 197
Thomson, J. J., 29-30,36,191, 203, 209
Thurber, J., 22
Tolomeo, C., 87, 88, 92, 94, 106, 132,133,143,157,158

Urbach, P., 169,171-180,233

Van Fraassen, B. C., 211, 218, 230

Wartofski, M. W, 140
Weber, W., 185
Wittgenstein, L., xii, 105
Wolfe, A. B., 50
Woolgar, S., 216
Worrall, J., 123, 137, 138, 140
Lakatos y, 135, 138
método y, 153-154, 158, 161
realismo y antirrealismo, 225, 228, 229, 230

Young, Thomas, 135

Zahar, E., 132, 140