

ten demostraciones lógicas que permitan establecer las causas desconocidas a partir de sus efectos conocidos? Francis Bacon y John Stuart Mill propusieron esquemas de ese tipo de demostraciones. Los argumentos son similares, bien se trate de las tablas de presencia, ausencia y grados de Bacon, o de los cánones de Mill. Se trata de averiguar cuál es la condición necesaria y suficiente de un fenómeno. La condición necesaria deberá darse siempre que se presente el efecto; la condición suficiente provoca que se produzca el fenómeno, aunque también puede darse éste sin aquella condición; la condición necesaria y suficiente significa que el fenómeno se producirá siempre que se dé la condición, y sólo si se da. El estudio empírico permite determinar en qué casos concretos existe una relación entre la presunta causa y el efecto, examinando en detalle qué sucede en los diferentes casos: si siempre que se da el efecto está presente la hipotética causa, si siempre que se da esa causa también se da el efecto, etc.

Desde el punto de vista de la pura lógica, mediante este método no pueden establecerse demostraciones concluyentes. El motivo es simple: para que el argumento fuese demostrativo, se requeriría saber que se han examinado todas las posibilidades. Pero esto es imposible: siempre cabe objetar que pueden existir causas desconocidas. Es interesante advertir que este era el argumento que el Papa Urbano VIII enfrentaba a las pruebas de Galileo a favor del heliocentrismo, incluso a cualquier prueba posible: argumentaba que no se podía afirmar la causa a partir del efecto físico, como si hubiera una relación necesaria entre la causa y el efecto, porque esto limitaría la omnipotencia de Dios. Una versión secularizada de este argumento está de moda en la epistemología contemporánea. Pero si se toma en serio esa posición y se es consecuente, fácilmente se acabaría negando la posibilidad y el valor de la ciencia.

De hecho, no puede subestimarse la importancia del método inductivo. Por ejemplo, sirvió a Faraday para probar que las diversas manifestaciones de la electricidad se debían a una misma causa¹⁷. Cuando posteriormente se descubrió que la electricidad se debe al flujo de electrones, quedó patente por qué coincidían los efectos de los diversos fenómenos eléctricos, y la conclusión obtenida mediante inducción recibió un apoyo decisivo.

Puede decirse que la inducción, en este tercer sentido, proporciona demostraciones que no son completamente concluyentes desde el punto de vista lógico, pero esas demostraciones, en determinadas circunstancias, permiten afirmar con suficiente seguridad la validez de la conclusión si se tiene en cuenta el contexto real en el que se plantean los problemas. En definitiva, no es posible deducir de modo puramente lógico la realidad de una causa a partir de efectos concretos, pero esto sólo significa que la inferencia inductiva no se reduce a los procedimientos de la lógica deductiva, sin que ello impida que la inducción, en el senti-

do que ahora se considera, sea relevante para conseguir los objetivos de la ciencia experimental.

En filosofía, suele denominarse demostración *quia* a la que llega a la causa a partir de sus efectos, distinguiéndola de la demostración *propter quid*, que prueba el efecto una vez conocida la causa. Sobre la base del principio de causalidad, la demostración *quia* permite establecer con certeza, en determinados casos, qué tipo de causa debe admitirse para explicar los efectos: por ejemplo, el conocimiento y la libertad que posee el ser humano requieren que exista una naturaleza humana proporcionada a esas dimensiones que no se reducen al ámbito material, de donde se concluye la existencia del alma espiritual; también, la existencia de los entes limitados que componen el universo remite a Dios como causa de su ser. En la ciencia experimental permanecemos en el nivel material, y las demostraciones lógicas inductivas no son concluyentes, aunque pueden ser suficientes en muchos casos.

En un cuarto sentido, la inducción equivale a una extrapolación, o sea, a la suposición de que los datos disponibles sobre un problema pueden completarse de acuerdo con una pauta coherente. Pero es evidente que, en este caso, no existe ningún tipo de argumento lógico. Se trata sólo de un recurso, frecuente en la ciencia experimental, que equivale a la formulación de hipótesis cuya validez deberá ser comprobada.

Por fin, y es el quinto sentido, en ocasiones se considera a la inducción como el estudio de una colección de datos particulares, del cual surgirían las leyes y teorías científicas. No puede subestimarse la importancia de tales estudios. Sin embargo, es imposible obtener leyes y teorías utilizando sólo hechos y lógica. Desde el primer momento, en la formulación de las leyes y teorías intervienen construcciones teóricas. Por ejemplo, mediante balanzas y pesas no puede determinarse si la masa es una magnitud escalar y cómo se relaciona con el peso; apenas se obtendrá algo de interés para la física, a menos que se utilice la segunda ley de Newton y la ley de la gravedad; por tanto, toda una teoría de la mecánica. La suma de datos empíricos es insuficiente para definir una magnitud. La medición sólo es significativa si se dispone de teorías para construir los instrumentos e interpretar los datos. Y las teorías no se obtienen por mera generalización inductiva de casos particulares. Por consiguiente, de la simple observación o recolección de datos empíricos, no se obtienen leyes generales ni teorías. En este sentido, la ciencia experimental no procede mediante un presunto método inductivo que permitiera obtener los enunciados científicos a partir de datos empíricos sin utilizar interpretaciones.

13.4. El método hipotético-deductivo

Cuando se estudia un problema cualquiera, el camino lógico para encontrar soluciones consiste en formular hipótesis acerca de la posible solución y compro-

17. Cfr. R. HARRÉ, *Grandes experimentos científicos*, cit., pp. 171-178.

bar si esas hipótesis están de acuerdo con los datos disponibles. Se utiliza este procedimiento constantemente, tanto en la vida ordinaria como en la investigación científica. Las diferencias en su utilización dependen de que los problemas puedan resolverse mediante hipótesis empíricas, muy próximas al nivel observacional (que es lo que suele suceder en la vida ordinaria), o exijan la formulación de hipótesis más abstractas, que en el caso extremo son sistemas teóricos (que es lo que sucede en las ciencias).

La estructura lógica del método es la misma en todos los casos: la validez de las hipótesis depende de que se consiga comprobar la validez de las consecuencias que de ellas se deducen. Y esta estructura lógica implica que *nunca puede demostrarse estrictamente la verdad de las hipótesis mediante el método hipotético-deductivo, mientras que, por el contrario, es posible demostrar su falsedad*. En efecto, una misma consecuencia puede ser deducida a partir de diferentes premisas, de modo que la comprobación de la validez de las consecuencias no implica lógicamente que las premisas sean correctas. En cambio, si se comprueba que una sola consecuencia es falsa, se sigue que hay algún error en las hipótesis que han servido de premisas para deducirla. Se trata de la *asimetría lógica entre verificación y falsación*, que ocupa un lugar central en la epistemología contemporánea, en buena parte debido a la influencia de Karl Popper.

Las referencias a esta cuestión son constantes en las obras de Popper. Anteriormente **Pierre Duhem** ya había subrayado la imposibilidad de proporcionar demostraciones lógicas estrictas de las construcciones teóricas. Más aún: al considerar el método de la física matemática, Duhem negó que las hipótesis pudieran refutarse de modo concluyente. El punto sobre el que Duhem insistió especialmente es que las construcciones teóricas de la física no pueden siquiera ser refutadas experimentalmente de modo decisivo, criticando así la idea del «experimento crucial» de Francis Bacon, o sea, un experimento que permitiría decidir de modo concluyente cuál de dos hipótesis alternativas es la correcta¹⁸.

También este punto ha sido subrayado en la epistemología actual. El motivo es que, si bien podrían darse refutaciones estrictas si se considera la cuestión desde una perspectiva puramente lógica, las construcciones teóricas contienen aspectos conceptuales que no se reducen a la suma de hechos y lógica.

Sin embargo, *es posible conseguir refutaciones válidas*. Para ello se necesita disponer de construcciones teóricas en las que se utilicen recursos teóricos y criterios empíricos bien establecidos. Evidentemente, la validez de las refutaciones depende de la validez de los supuestos adoptados: *siempre se trata de una re-*

futación contextual, que ha de interpretarse en el contexto de los medios teóricos y empíricos disponibles, y no de una refutación absoluta que sería independiente de cualquier contexto. Pero con frecuencia se consigue establecer sólidamente ese tipo de contextos, tal como lo muestra el desarrollo de las ciencias experimentales.

Por supuesto, *si las refutaciones son contextuales, nunca serán definitivas*. Siempre será posible construir los objetos científicos de modo más preciso o redefinirlos adoptando nuevas perspectivas. Sólo afirmamos que, a pesar de las dificultades lógicas que aparecen cuando se intenta lograr refutaciones concluyentes, de hecho, se pueden construir contextos válidos en los cuales es posible obtener refutaciones válidas.

El caso es más difícil cuando consideramos las *demonstraciones positivas o verificaciones*, ya que entonces no basta disponer de un contexto bien establecido: aunque se obtengan enunciados observacionales válidos en ese contexto, siempre es posible formular diversas teorías que los expliquen. De todos modos, la dificultad disminuye cuando lo que se intenta comprobar son enunciados próximos al nivel observacional. Por ejemplo, una ley experimental puede ser comprobada con facilidad, puesto que relaciona magnitudes estrechamente ligadas a los procedimientos experimentales. En tales casos, puede decirse que se da una verificación o demostración experimental, que, desde luego, será contextual, en el sentido de que su validez depende de los supuestos aceptados. La dificultad mayor surge cuando se intenta verificar un sistema teórico que incluye conceptos y enunciados que se encuentran alejados del nivel observacional. ¿Existen criterios que permitan juzgar la validez de las hipótesis generales?

Señalaremos a continuación *cinco criterios* que, de hecho, se utilizan en la práctica científica, y que pueden aplicarse tanto a las hipótesis de bajo nivel (próximas a la experiencia) como a las de nivel alto (sistemas teóricos). Su fundamento es el siguiente: *cuantas más consecuencias de tipos distintos se confirmen experimentalmente, podemos confiar más en las hipótesis de donde se deducen, sobre todo si se trata de predicciones precisas y que no se conocían anteriormente*. En efecto, no sólo cuenta la cantidad de pruebas, sino su calidad: muchas veces tiene más peso una sola prueba que sea suficientemente específica.

Un *primer criterio* es el *poder explicativo*, o sea, la capacidad de las hipótesis para dar razón de los problemas planteados y de los datos disponibles. Por ejemplo, la estructura en doble hélice del ADN explica la conservación y la transmisión del material genético de modo satisfactorio, y por tanto resulta lógico que ese modelo fuese admitido inmediatamente cuando fue propuesto en 1953. En el nivel de los sistemas teóricos, un argumento en favor de la validez de la teoría de la relatividad y de la mecánica cuántica es que permiten obtener los resultados de la mecánica clásica cuando se establecen los supuestos correspondientes; en efecto, cuando se consideran objetos que se mueven a velocidades muy pequeñas comparadas con la velocidad de la luz y que están dotados de masas relativamen-

18. Cfr. P. DUHEM, *La théorie physique. Son objet. Sa structure*, cit. El capítulo VI de la 2.^a parte está dedicado al tema «La teoría física y la experiencia» (p. 273). En ese capítulo, el apartado II se dedica a mostrar que «una experiencia de física nunca puede refutar una hipótesis aislada, sino sólo todo un conjunto teórico» (p. 278), y el apartado III se titula: «El experimento crucial es imposible en física» (p. 285).

te grandes, de esas teorías se obtienen las fórmulas ya conocidas de la mecánica clásica, cuya validez en muchos ámbitos está bien comprobada.

El segundo criterio es el poder predictivo. En cierto modo es semejante al primero, porque si de una hipótesis se deduce una determinada consecuencia, puede decirse al mismo tiempo que la hipótesis predice y explica esa consecuencia. No se pretende aquí afirmar la tesis discutible de que explicación y predicción son sinónimos, sino sólo subrayar la importancia del poder predictivo en orden a comprobar la validez de las hipótesis. Esa importancia es especialmente notoria cuando se trata de predicciones antes desconocidas; cuando esas predicciones se comprueban, constituyen uno de los argumentos principales en favor de la validez de una teoría. Así, el efecto de un planeta sobre otros tal como lo predecía la mecánica newtoniana condujo al descubrimiento de Neptuno y Plutón en las posiciones calculadas por la teoría. De la relatividad especial se deducía la equivalencia entre masa y energía, expresada en términos cuantitativos, y esa relación se comprobó con éxito y se encuentra en la base de la física atómica y de sus aplicaciones. La relatividad general predijo que la luz está sometida a la gravitación de acuerdo con determinados valores calculables, y la confirmación de ese fenómeno en 1919 significó un apoyo notable a la teoría. El modelo de la gran explosión, propuesto en la década de 1920, recibió un apoyo decisivo cuando Penzias y Wilson detectaron en 1964 la radiación de microondas predicha por la teoría. La detección de las partículas W y Z en 1983, en las condiciones previstas por la teoría electrodébil, fue igualmente una confirmación de gran importancia, como lo sería para las teorías de gran unificación la comprobación de una de sus principales predicciones, la desintegración del protón. Se advierte fácilmente que, en la aplicación de este criterio, no sólo cuenta el número de predicciones comprobadas, sino su carácter específico.

En esa línea, la precisión de las explicaciones y predicciones es un tercer criterio que refuerza a los dos anteriores. En la ciencia experimental, el progreso se debe en buena parte a la exactitud de los cálculos y comprobaciones. Kepler invirtió dos años en sus primeros estudios sobre la órbita de Marte, pero comenzó al detectar un desacuerdo de 8 minutos de arco respecto a los datos de Tycho Brahe, aunque en su época no se concediese mayor importancia a una diferencia de ese tipo. Las predicciones mencionadas anteriormente fueron formuladas y comprobadas con gran precisión. Para comprobar la deflexión gravitatoria de la luz se organizaron expediciones de astrónomos a Brasil y Africa con objeto de realizar mediciones precisas que eran posibles gracias a un eclipse del Sol. La detección de las partículas W y Z supuso varios años de trabajos experimentales en los que intervinieron más de un centenar de científicos, y exigió el desarrollo de nuevas técnicas instrumentales y la construcción de nuevas instalaciones en los laboratorios del CERN en Ginebra. En definitiva, la corroboración de una teoría depende en gran parte de la precisión de las predicciones y mediciones.

La convergencia de pruebas variadas e independientes es un cuarto criterio que refuerza la fiabilidad de las teorías. Por ejemplo, ya se ha mencionado que la validez del modelo de la gran explosión recibió una confirmación importante cuando se detectó la radiación de fondo predicha por la teoría, pero ese modelo es coherente también con los datos obtenidos acerca de otros fenómenos, tales como la abundancia relativa de los elementos ligeros en el universo, y la distribución de la materia a gran escala en el universo; el hecho de que esos fenómenos se estudian y se comprueban de modo independiente es una razón de peso en favor de la teoría que los predice y explica.

En quinto lugar, el apoyo mutuo entre las teorías es una nueva prueba de su validez. De este modo, la teoría atómica fue ganando fiabilidad al integrarse en las explicaciones y predicciones de diversas disciplinas. Además de contar con pruebas específicas, esa teoría constituye un elemento importante de las teorías químicas y de la biología molecular. Las teorías se entrelazan, formando una red en la cual las comprobaciones de algunas consecuencias experimentales refuerzan la validez de todos los elementos de la red teórica. Esto constituye el reverso complementario del argumento de Duhem sobre la irrefutabilidad de las hipótesis aisladas.

Por consiguiente, las dificultades lógicas del método hipotético-deductivo se subsanan, en buena parte, utilizando estos cinco criterios. Así se comprende que, si bien es cierto en pura lógica que ese método no permite establecer definitivamente la validez de las hipótesis sobre la base de sus consecuencias, sin embargo, en muchos casos, es posible obtener demostraciones que poseen un alto grado de rigor, incluso cuando se trata de sistemas teóricos que se encuentran formulados en un nivel alto, alejado de las posibilidades de observación inmediata.

13.5. Verificación y falsación de las hipótesis científicas

Se ha convertido en un lugar común, en la epistemología contemporánea, afirmar que las teorías científicas nunca se pueden *verificar*, e incluso que tampoco se pueden *falsar* de modo concluyente.

Tal como se acaba de señalar, sin embargo, existen criterios que permiten afirmar con una seguridad razonable que una hipótesis es falsa, así como utilizar de modo fiable el método hipotético-deductivo para llegar a conclusiones bien establecidas. Los cinco criterios que se han señalado se aplican continuamente en la actividad científica real, de modo que la imagen que resulta de estas consideraciones corresponde a la ciencia real, al mismo tiempo que explica la validez de sus métodos.

Podrían añadirse otros criterios. Por ejemplo, a veces se cuentan entre estos criterios la *simplicidad* y la *simetría*. Se trata de requisitos formales que, en ocasiones, desempeñan una importante función en la formulación de las construcciones.