

Carl G. Hempel
FILOSOFÍA DE LA CIENCIA NATURAL (1966)
 Madrid: Alianza 2003

Capítulo segundo

LA INVESTIGACION CIENTIFICA: INVENCION Y CONTRASTACION

Como simple ilustración de algunos aspectos importantes de la investigación científica, parémonos a considerar los trabajos de Semmelweis en relación con la fiebre puerperal. Ignaz Semmelweis, un médico de origen húngaro, realizó esos trabajos entre 1844 y 1848 en el Hospital General de Viena. Como miembro del equipo médico de la Primera División de Maternidad del hospital, Semmelweis se sentía angustiado al ver que una gran proporción de las mujeres que habían dado a luz en esa división contraía una seria y con frecuencia fatal enfermedad conocida como fiebre puerperal o fiebre de postparto. En 1844, hasta 260, de un total de 3.157 madres de la División Primera —un 8,2 %— murieron de esa enfermedad; en 1845, el índice de muertes era del 6,8 %, y en 1846, del 11,4. Estas cifras eran sumamente alarmantes, porque en la adyacente Segunda División de Maternidad del mismo hospital, en la que se hallaban instaladas casi tantas mujeres como en la Primera, el porcentaje de muertes por fiebre puerperal era mucho más bajo: 2,3, 2,0 y 2,7 en los mismos años. En un libro que escribió más tarde sobre las causas y la prevención de la fiebre puerperal, Semmelweis relata sus esfuerzos por resolver este terrible rompecabezas¹.

Semmelweis empezó por examinar varias explicaciones del fenómeno corrientes en la época; rechazó algunas que se mostraban incompatibles con hechos bien establecidos; a otras las sometió a contrastación.

Una opinión ampliamente aceptada atribuía las olas de fiebre puerperal a “influencias epidémicas”, que se describían vagamente como “cambios atmosférico-cósmico-telúricos”, que se extendían por distritos enteros y producían la fiebre puerperal en mujeres que se hallaban de postparto. Pero, ¿cómo —argüía Semmelweis— podían esas influencias haber infestado durante años la División Primera y haber respetado la Segunda? Y ¿cómo podía hacerse compatible esta concepción con el hecho de que mientras la fiebre asolaba el hospital, apenas se producía caso alguno en la ciudad de Viena o sus alrededores? Una epidemia de verdad, como el cólera, no sería tan selectiva. Finalmente, Semmelweis señala que algunas de las mujeres internadas en la División Primera que vivían lejos del hospital se habían visto sorprendidas por los dolores de parto cuando iban de camino, y habían dado a luz en la calle; sin embargo, a pesar de estas condiciones adversas, el porcentaje de muertes por fiebre puerperal entre estos casos de “parto callejero” era más bajo que el de la División Primera.

Según otra opinión, una causa de mortandad en la División Primera era el hacinamiento. Pero Semmelweis señala que de hecho el hacinamiento era mayor en la División Segunda, en parte como consecuencia de los esfuerzos desesperados de las pacientes para evitar que las ingresaran en la tristemente célebre División Primera. Semmelweis descartó asimismo dos conjeturas similares haciendo notar que no había diferencias entre las dos divisiones en lo que se refería a la dieta y al cuidado general de las pacientes.

¹ El relato de la labor desarrollada por Semmelweis y de las dificultades con que tropezó constituye una página fascinante de la historia de la medicina. Un estudio detallado, que incluye traducciones y paráfrasis de grandes partes de los escritos de Semmelweis, se puede encontrar en el libro de W. J. Sinclair *Semmelweis: His Life and His Doctrine* (Manchester, Manchester University Press, 1909). Las breves frases citadas en este capítulo están tomadas de esta obra. Los hitos fundamentales en la carrera de Semmelweis están recogidos en el primer capítulo del libro de P. de Kruif *Men Against Death* (Nueva York: Harcourt, Brace & World, Inc., 1932).

En 1846, una comisión designada para investigar el asunto atribuyó la frecuencia de la enfermedad en la División Primera a las lesiones producidas por los reconocimientos poco cuidadosos a que sometían a las pacientes los estudiantes de medicina, todos los cuales realizaban sus prácticas de obstetricia en esta División. Semmelweis señala, para refutar esta opinión, que (a) las lesiones producidas naturalmente en el proceso del parto son mucho mayores que las que pudiera producir un examen poco cuidadoso; (b) las comadronas que recibían enseñanzas en la División Segunda reconocían a sus pacientes de modo muy análogo, sin por ello producir los mismos efectos; (c) cuando, respondiendo al informe de la comisión, se redujo a la mitad el número de estudiantes y se restringió al mínimo el reconocimiento de las mujeres por parte de ellos, la mortalidad, después de un breve descenso, alcanzó sus cotas más altas.

Se acudió a varias explicaciones psicológicas. Una de ellas hacía notar que la División Primera estaba organizada de tal modo que un sacerdote que portaba los últimos auxilios a una moribunda tenía que pasar por cinco salas antes de llegar a la enfermería: se sostenía que la aparición del sacerdote, precedido por un acólito que hacía sonar una campanilla, producía un efecto terrorífico y debilitante en las pacientes de las salas y las hacía así más propicias a contraer la fiebre puerperal. En la División Segunda no se daba este factor adverso, porque el sacerdote tenía acceso directo a la enfermería. Semmelweis decidió someter a prueba esta suposición. Convenció al sacerdote de que debía dar un rodeo y suprimir el toque de campanilla para conseguir que llegara a la habitación de la enferma en silencio y sin ser observado. Pero la mortalidad no decreció en la División Primera.

A Semmelweis se le ocurrió una nueva idea: las mujeres, en la División Primera, yacían de espaldas; en la Segunda, de lado. Aunque esta circunstancia le parecía irrelevante, decidió, aferrándose a un clavo ardiendo, probar a ver si la diferencia de posición resultaba significativa. Hizo, pues, que las mujeres internadas en la División Primera se acostaran de lado, pero, una vez más, la mortalidad continuó.

Finalmente, en 1847, la casualidad dio a Semmelweis la clave para la solución del problema. Un colega suyo, Kolletschka, recibió una herida penetrante en un dedo, producida por el escalpelo de un estudiante con el que estaba realizando una autopsia, y murió después de una agonía durante la cual mostró los mismos síntomas que Semmelweis había observado en las víctimas de la fiebre puerperal. Aunque por esa época no se había descubierto todavía el papel de los microorganismos en ese tipo de infecciones, Semmelweis comprendió que la «materia cadavérica» que el escalpelo del estudiante había introducido en la corriente sanguínea de Kolletschka había sido la causa de la fatal enfermedad de su colega, y las semejanzas entre el curso de la dolencia de Kolletschka y el de las mujeres de su clínica llevó a Semmelweis a la conclusión de que sus pacientes habían muerto por un envenenamiento de la sangre del mismo tipo; él, sus colegas y los estudiantes de medicina habían sido los portadores de la materia infecciosa, porque él y su equipo solían llegar a las salas inmediatamente después de realizar disecciones en la sala de autopsias, y reconocían a las parturientas después de haberse lavado las manos sólo de un modo superficial, de modo que éstas conservaban a menudo un característico olor a suciedad.

Una vez más, Semmelweis puso a prueba esta posibilidad. Argumentaba él que si la suposición fuera correcta, entonces se podría prevenir la fiebre puerperal destruyendo químicamente el material infeccioso adherido a las manos. Dictó, por tanto, una orden por la que se exigía a todos los estudiantes de medicina que se lavaran las manos con una solución de cal clorurada antes de reconocer a ninguna enferma. La mortalidad puerperal comenzó a decrecer, y en el año 1848 descendió hasta el 1,27 % en la División Primera, frente al 1,33 de la Segunda.

En apoyo de su idea, o, como también diremos, de su *hipótesis*, Semmelweis hace notar además que con ella se explica el hecho de que la mortalidad en la División Segunda fuera mucho más baja: en ésta las pacientes estaban atendidas por comadronas, en cuya preparación no estaban incluidas las prácticas de anatomía mediante la disección de cadáveres.

La hipótesis explicaba también el hecho de que la mortalidad fuera menor entre los casos de “parto callejero”: a las mujeres que llegaban con el niño en brazos casi nunca se las sometía a

reconocimiento después de su ingreso, y de este modo tenían mayores posibilidades de escapar a la infección.

Asimismo, la hipótesis daba cuenta del hecho de que todos los recién nacidos que habían contraído la fiebre puerperal fueran hijos de madres que habían contraído la enfermedad durante el parto; porque en ese caso la infección se le podía transmitir al niño antes de su nacimiento, a través de la corriente sanguínea común de madre e hijo, lo cual, en cambio, resultaba imposible cuando la madre estaba sana.

Posteriormente experiencias clínicas llevaron pronto a Semmelweis a ampliar su hipótesis. En una ocasión, por ejemplo, él y sus colaboradores, después de haberse desinfectado cuidadosamente las manos, examinaron primero a una parturienta aquejada de cáncer cervical ulcerado; procedieron luego a examinar a otras doce mujeres de la misma sala, después de un lavado rutinario, sin desinfectarse de nuevo. Once de las doce pacientes murieron de fiebre puerperal. Semmelweis llegó a la conclusión de que la fiebre puerperal podía ser producida no sólo por materia cadavérica, sino también por “materia pútrida procedente de organismos vivos”.

2. Etapas fundamentales en la contrastación de una hipótesis

Hemos visto cómo, en su intento de encontrar la causa de la fiebre puerperal, Semmelweis sometió a examen varias hipótesis que le habían sido sugeridas como respuestas posibles. Cómo se llega en un principio a esas hipótesis es una cuestión compleja que estudiaremos más adelante. Antes de eso, sin embargo, veamos cómo, una vez propuesta, se contrasta una hipótesis.

Hay ocasiones en que el procedimiento es simplemente directo. Pensemos en las suposiciones según las cuales las diferencias en el número de enfermos, o en la dieta, o en los cuidados generales, explicaban las diferencias en la mortalidad entre las dos divisiones. Como señala Semmelweis, esas hipótesis están en conflicto con hechos fácilmente observables. No existen esas diferencias entre las dos divisiones; las hipótesis, por tanto, han de ser rechazadas como falsas.

Pero lo normal es que la contrastación sea menos simple y directa. Tomemos la hipótesis que atribuye el alto índice de mortalidad en la División Primera al terror producido por la aparición del sacerdote con su acólito. La intensidad de ese terror, y especialmente sus efectos sobre la fiebre puerperal, no son tan directamente identificables como las diferencias en el número de enfermos o en la dieta, y Semmelweis utiliza un método indirecto de contrastación. Se pregunta a sí mismo: ¿Qué efectos observables —si los hay— se producirían en el caso de que la hipótesis fuera verdadera? Y argumenta: *si* la hipótesis fuese verdadera, *entonces* un cambio apropiado en los procedimientos del sacerdote iría seguido de un descenso en la mortalidad. Comprueba mediante un experimento muy simple si se da esta implicación; se encuentra con que es falsa, y, en consecuencia, rechaza la hipótesis.

De modo similar, para contrastar la conjetura relativa a la posición de las mujeres durante el parto, razona del siguiente modo: *si* la conjetura fuese verdadera, *entonces* la adopción, en la División Primera, de la posición lateral reduciría la mortalidad. Una vez más, la experimentación muestra que la implicación es falsa, y se descarta la conjetura.

En los dos últimos casos, la contrastación está basada en un razonamiento que consiste en decir que *si* la hipótesis considerada, llamémosle *H*, es verdadera, *entonces* se producirán, en circunstancias especificadas (por ejemplo, si el sacerdote deja de atravesar las salas, o si las mujeres adoptan la posición de lado), ciertos sucesos observables (por ejemplo, un descenso en la mortalidad); en pocas palabras, si *H* es verdadera, entonces también lo es *I*, donde *I* es un enunciado que describe los hechos observables que se espera se produzcan. Convengamos en decir que *I* se infiere de, o está implicado por, *H*; y llamemos a *I* una *implicación contrastadora de la hipótesis H*. (Más adelante daremos una descripción más cuidadosa de la relación entre *I* y *H*.)

En nuestros dos últimos ejemplos, los experimentos mostraban que la implicación contrastadora era falsa, y, de acuerdo con ello, se rechazaba la hipótesis. El razonamiento que llevaba a ese

rechazo podría esquematizarse del siguiente modo:

- Si H es verdadera, entonces también lo es I
 2a] Pero (como se muestra empíricamente) I no es verdadera
 H no es verdadera

Toda inferencia de esta forma, llamada en lógica *modus tollens*², es deductivamente válida; es decir, que si sus premisas (los enunciados escritos encima de la línea horizontal) son verdaderas, entonces su conclusión (el enunciado que figura debajo de la línea) es indefectiblemente verdadera también. Por tanto, si las premisas de (2a) están adecuadamente establecidas, la hipótesis H que estamos sometiendo a contrastación debe ser rechazada.

Consideremos ahora el caso en que la observación o la experimentación confirman la implicación contrastadora, I. De su hipótesis de que la fiebre puerperal es un envenenamiento de la sangre producido por materia cadavérica, Semmelweis infiere que la adopción de medidas antisépticas apropiadas reducirá el número de muertes por esa enfermedad. Esta vez los experimentos muestran que la implicación contrastadora es verdadera. Pero este resultado favorable no prueba de un modo concluyente que la hipótesis sea verdadera, porque el razonamiento en que nos hemos basado tendría la forma siguiente:

- Si H es verdadera, entonces también lo es I
 2b] (Como se muestra empíricamente) I es verdadera
 H es verdadera.

Y este modo de razonar, conocido con el nombre de *falacia de afirmación de consecuente*, no es deductivamente válido, es decir, su conclusión puede ser falsa, aunque sus premisas sean verdaderas³. De hecho, la propia experiencia de Semmelweis puede servir para ilustrar este punto. La versión inicial de su explicación de la fiebre puerperal como una forma de envenenamiento de la sangre presentaba la infección con materia cadavérica esencialmente como la única causa de la enfermedad; y Semmelweis estaba en lo cierto al argumentar que si esta hipótesis fuera verdadera, entonces la destrucción de las partículas cadavéricas mediante el lavado antiséptico reduciría la mortalidad. Además, su experimento mostró que la implicación contrastadora era verdadera. Por tanto, en este caso las premisas de (2b) eran ambas verdaderas. Sin embargo, su hipótesis era falsa, porque, como él mismo descubrió más tarde, la materia en proceso de putrefacción procedente de organismos vivos podía producir también la fiebre puerperal.

Así, pues, el resultado favorable de una contrastación, es decir, el hecho de que una implicación contrastadora inferida de una hipótesis resulte ser verdadera, no prueba que la hipótesis lo sea también. Incluso en el caso de que hayan sido confirmadas mediante contrastación cuidadosa diversas implicaciones de una hipótesis, incluso en ese caso, puede la hipótesis ser falsa. El siguiente razonamiento incurre también en la falacia de afirmación de consecuente:

- Si H es verdadera, entonces lo son también I_1, I_2, \dots, I_n
 2c] (Como se muestra empíricamente), I_1, I_2, \dots, I_n , son todas verdaderas
 H es verdadera

También esto se puede ilustrar por referencia a la hipótesis final de Semmelweis en su primera versión. Como antes señalamos, la hipótesis de Semmelweis entraña también las implicaciones contrastadoras de que entre los casos de parto callejero ingresados en la División Primera el

² Para más detalles, véase otro volumen de esta misma serie: W. Salmon, *Logic*, pp. 24-25. [Hay una versión castellana de este libro publicada por la editorial UTEHA, de México.]

³ Véase Salmon, *Logic*, pp. 27-29.

porcentaje de muertes por fiebre puerperal sería menor que el de la División, y que los hijos de madres que habían escapado a la enfermedad no contraerían la fiebre; estas implicaciones fueron también corroboradas por la experiencia —y ello a pesar de que la primera versión de la hipótesis final era falsa.

Pero la advertencia de que un resultado favorable en todas cuantas contrastaciones hagamos no proporciona una prueba concluyente de una hipótesis no debe inducirnos a pensar que después de haber sometido una hipótesis a una serie de contrastaciones, siempre con resultado favorable, no estamos en una situación más satisfactoria que si no la hubiéramos contrastado en absoluto. Porque cada una de esas contrastaciones podía muy bien haber dado un resultado desfavorable y podía habernos llevado al rechazo de la hipótesis. Una serie de resultados favorables obtenidos contrastando distintas implicaciones contrastadoras, I_1, I_2, \dots, I_n , de una hipótesis, muestra que, en lo concerniente a esas implicaciones concretas, la hipótesis ha sido confirmada; y si bien este resultado no supone una prueba completa de la hipótesis, al menos le confiere algún apoyo, una cierta corroboración o confirmación parcial de ella. El grado de esta confirmación dependerá de diversos aspectos de la hipótesis y de los datos de la contrastación. Todo esto lo estudiaremos en el capítulo 4.

Tomemos ahora otro ejemplo⁴, que atraerá también nuestra atención sobre otros aspectos de la investigación científica.

En la época de Galileo, y probablemente mucho antes, se sabía que una bomba aspirante que extrae agua de un pozo por medio de un pistón que se puede hacer subir por el tubo de la bomba, no puede elevar el agua arriba de 34 pies por encima de la superficie del pozo. Galileo se sentía intrigado por esta limitación y sugirió una explicación, que resultó, sin embargo, equivocada. Después de la muerte de Galileo, su discípulo Torricelli propuso una nueva respuesta. Argüía que la tierra está rodeada por un mar de aire, que, por razón de su peso, ejerce presión sobre la superficie de aquélla, y que esta presión ejercida sobre la superficie del pozo obliga al agua a ascender por el tubo de la bomba cuando hacemos subir el pistón. La altura máxima de 34 pies de la columna de agua expresa simplemente la presión total de la atmósfera sobre la superficie del pozo.

Evidentemente, es imposible determinar, por inspección u observación directa, si esta explicación es correcta, y Torricelli la sometió a contrastación por procedimientos indirectos. Su argumentación fue la siguiente: *si* la conjetura es verdadera, *entonces* la presión de la atmósfera sería capaz también de sostener una columna de mercurio proporcionalmente más corta; además, puesto que la gravedad específica del mercurio es aproximadamente 14 veces la del agua, la longitud de la columna de mercurio mediría aproximadamente 34/14 pies, es decir, algo menos de dos pies y medio. Comprobó esta implicación contrastadora por medio de un artefacto ingeniosamente simple, que era, en efecto, el barómetro de mercurio. El pozo de agua se sustituye por un recipiente abierto que contiene mercurio; el tubo de la bomba aspirante se sustituye por un tubo de cristal cerrado por un extremo. El tubo está completamente lleno de mercurio y queda cerrado apretando el pulgar contra el extremo abierto. Se invierte después el tubo, el extremo abierto se sumerge en el mercurio, y se retira el pulgar; la columna de mercurio desciende entonces por el tubo hasta alcanzar una altura de 30 pulgadas: justo como lo había previsto la hipótesis de Torricelli.

Posteriormente, Pascal halló una nueva implicación contrastadora de esta hipótesis. Argumentaba Pascal que si el mercurio del barómetro de Torricelli está contrapesado por la presión del aire sobre el recipiente abierto de mercurio, entonces la longitud de la columna disminuiría con la altitud, puesto que el peso del aire se hace menor. A requerimiento de Pascal, esta implicación fue comprobada por su cuñado, Périer, que midió la longitud de la columna de mercurio al pie del Puy-de-Dôme, montaña de unos 4.800 pies, y luego transportó cuidadosamente el aparato hasta la cima y

⁴ Que el lector encontrará desarrollado por extenso en el capítulo 4 del fascinante libro de J. B. Conant *Science and Common Sense*, New Haven, Yale University Press, 1951. En el libro de W. F. Magie *A Source Book in Physics* (Cambridge, Harvard University Press, 1963, pp. 70-75) aparecen recogidos una carta de Torricelli exponiendo su hipótesis y la contrastación a que la sometió, y un relato, por un testigo presencial, del experimento del Puy-de-Dôme.

repitió la medición allí, dejando abajo un barómetro de control supervisado por un ayudante. Périer halló que en la cima de la montaña la columna de mercurio era más de tres pulgadas menor que al pie de aquella, mientras que la longitud de la columna en el barómetro de control no había sufrido cambios a lo largo del día.

3. *El papel de la inducción en la investigación científica*

Hemos examinado algunas investigaciones científicas en las cuales, ante un problema dado, se proponían respuestas en forma de hipótesis que luego se contrastaban derivando de ellas las apropiadas implicaciones contrastadoras, y comprobando éstas mediante la observación y la experimentación.

Pero, ¿cómo se llega en un principio a las hipótesis adecuadas? Se ha mantenido a veces que esas hipótesis se infieren de datos recogidos con anterioridad por medio de un procedimiento llamado *inferencia inductiva*, en contraposición a la inferencia deductiva, de la que difiere en importantes aspectos.

En una argumentación deductivamente válida, la conclusión está relacionada de tal modo con las premisas que si las premisas son verdaderas entonces la conclusión no puede dejar de serlo. Esta exigencia la satisface, por ejemplo, una argumentación de la siguiente forma general:

Si p , entonces q
No es el caso que q
 No es el caso que p

No es necesaria una larga reflexión para ver que, independientemente de cuáles sean los enunciados concretos con que sustituyamos las letras p y q , la conclusión será, con seguridad, verdadera si las premisas lo son. De hecho, nuestro esquema representa la forma de inferencia llamada *modus tollens*, a la que ya nos hemos referido.

El ejemplo siguiente es una muestra de otro tipo de inferencia deductivamente válido:

Toda sal de sodio, expuesta a la llama de un mechero Bunsen, hace tomar a la llama un color amarillo
Este trozo de mineral es una sal de sodio

Este trozo de mineral, cuando se le aplique la llama de un mechero Bunsen, hará tomar a la llama un color amarillo

De las argumentaciones de este último tipo se dice a menudo que van de lo general (en este caso, las premisas que se refieren a todas las sales de sodio) a lo particular (una conclusión referente a este trozo concreto de sal de sodio). Se dice a veces que, por el contrario, las inferencias inductivas parten de premisas que se refieren a casos particulares y llevan a una conclusión cuyo carácter es el de una ley o principio general. Por ejemplo, partiendo de premisas según las cuales cada una de las muestras concretas de varias sales de sodio que han sido aplicadas hasta ahora a la llama de un mechero Bunsen ha hecho tomar a la llama un color amarillo, la inferencia inductiva —se supone— lleva a la conclusión general de que todas las sales de sodio, cuando se les aplica la llama de un mechero Bunsen, tiñen de amarillo la llama. Pero es obvio que en este caso la verdad de las premisas *no* garantiza la verdad de la conclusión; porque incluso si es el caso que todas las muestras de sales de sodio hasta ahora examinadas vuelven amarilla la llama de Bunsen, incluso en ese caso queda la posibilidad de que se encuentren nuevos tipos de sal de sodio que no se ajusten a esta generalización. Además, pudiera también ocurrir perfectamente que algunos de los tipos de sal de sodio que han sido examinados con resultado positivo dejen de satisfacer la generalización cuando se encuentren en condiciones físicas especiales (campos magnéticos muy intensos, o algo parecido), bajo las cuales no han sido todavía sometidas a prueba. Por esta razón, con frecuencia se dice que las premisas de una inferencia inductiva implican la conclusión sólo con un grado más o menos alto de probabilidad, mientras que las premisas de una inferencia deductiva implican la

conclusión con certeza.

La idea de que, en la investigación científica, la inferencia inductiva que parte de datos recogidos con anterioridad conduce a principios generales apropiados aparece claramente en la siguiente descripción idealizada del proceder de un científico:

Si intentamos imaginar cómo utilizaría el método científico... una mente de poder y alcance sobrehumanos, pero normal en 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* acerca de su relevancia. En segundo lugar, se analizarían, compararían y clasificarían esos hechos observados y registrados, *sin más hipótesis ni postulados* que los que necesariamente supone la lógica del pensamiento. En tercer lugar, a partir de este análisis de los hechos se harían generalizaciones inductivas referentes a las relaciones, clasificatorias o causales, entre ellos. En cuarto lugar, las investigaciones subsiguientes serían deductivas tanto como inductivas, haciéndose inferencias a partir de generalizaciones previamente establecidas.⁵

Este texto distingue cuatro estadios en una investigación científica ideal: (1) observación y registro de todos los hechos; (2) análisis y clasificación de éstos; (3) derivación inductiva de generalizaciones a partir de ellos, y (4) contrastación ulterior de las generalizaciones. Se hace constar explícitamente que en los dos primeros estadios no hay hipótesis ni conjeturas acerca de cuáles puedan ser las conexiones entre los hechos observados; esta restricción parece obedecer a la idea de que esas ideas preconcebidas resultarían tendenciosas y comprometerían la objetividad científica de la investigación.

Pero la concepción formulada en el texto que acabamos de citar —y a la que denominaré *la concepción inductivista estrecha de la investigación científica*— es insostenible por varias razones. Un breve repaso de éstas puede servirnos para ampliar y suplementar nuestras observaciones anteriores sobre el modo de proceder científico.

En primer lugar, una investigación científica, tal como ahí nos la presentan, es impracticable. Ni siquiera podemos dar el primer paso, porque para poder reunir *todos* los hechos tendríamos que esperar, por decirlo así, hasta el fin del mundo; y tampoco podemos reunir todos los hechos dados *hasta ahora*, puesto que éstos son infinitos tanto en número como en variedad. ¿Hemos de examinar, por ejemplo, todos los granos de arena de todos los desiertos y de todas las playas, y hemos de tomar nota de su forma, de su peso, de su composición química, de las distancias entre uno y otro, de su temperatura constantemente cambiante y de su igualmente cambiante distancia al centro de la Luna? ¿Hemos de registrar los pensamientos fluctuantes que recorren nuestra mente en los momentos de cansancio? ¿Las formas de las nubes que pasan sobre nosotros, el color cambiante del cielo? ¿La forma y la marca de nuestros utensilios de escritura? ¿Nuestras biografías y las de nuestros colaboradores? Después de todo, todas estas cosas, y otras muchas, están entre “los hechos que se han dado hasta ahora”.

Pero cabe la posibilidad de que lo que se nos exija en esa primera fase de la investigación científica sea reunir todos los hechos *relevantes*. Pero ¿relevantes con respecto a qué? Aunque el autor no hace mención de este punto, supongamos que la investigación se refiere a un *problema* específico. ¿Es que no empezáramos, en ese caso, haciendo acopio de todos los hechos —o, mejor, de todos los datos disponibles que sean relevantes para ese problema? Esta noción no está todavía clara. Semmelweis intentaba resolver un problema específico, y, sin embargo, en diferentes etapas de su indagación, reunió datos completamente heterogéneos. Y con razón; porque el tipo concreto de datos que haya que reunir no está determinado por el problema que se está estudiando, sino por el intento de respuesta que el investigador trata de darle en forma de conjetura o hipótesis. Si suponemos que las muertes por fiebre puerperal se incrementan a causa de la aparición terrorífica del

⁵ A. B. Wolfe: “Functional Economics”. En R. G. Tugwell (ed.), *The Trend of Economics*. Nueva York, Alfred A. Knopf, Inc., 1924, p. 450 (las cursivas son del autor).

sacerdote y su acólito con la campanilla de la muerte, habría que reunir, como datos relevantes, los que se produjeran como consecuencia del cambio de recorrido del presbítero; hubiera sido, en cambio, completamente irrelevante comprobar lo que sucedería si los médicos y los estudiantes se hubieran desinfectado las manos antes de reconocer a sus pacientes. Con respecto a la hipótesis de Semmelweis de la eventual contaminación, sin embargo, los datos del último tipo hubieran sido —es claro— relevantes, e irrelevantes por completo los del primero. Los “hechos” o hallazgos empíricos, por tanto, sólo se pueden cualificar como lógicamente relevantes o irrelevantes por referencia a una hipótesis dada, y no por referencia a un problema dado.

Supongamos ahora que se ha propuesto una hipótesis *H* como intento de respuesta a un problema planteado en una investigación: ¿qué tipo de datos serían relevantes con respecto a *H*? Los ejemplos que hemos puesto al principio sugieren una respuesta: Un dato que hayamos encontrado es relevante con respecto a *H* si el que se dé o no se dé se puede inferir de *H*. Tomemos, por ejemplo, la hipótesis de Torricelli. Como vimos, Pascal infirió de ella que la columna de mercurio de un barómetro sería más corta si transportásemos el barómetro a una montaña. Por tanto, cualquier dato en el sentido de que este hecho se había producido en un caso concreto es relevante para las hipótesis; pero también lo sería el dato de que la longitud de la columna de mercurio había permanecido constante o que había decrecido y luego había aumentado durante la ascensión, porque esos datos habrían refutado la implicación contrastadora de Pascal, y, por ende, la hipótesis de Torricelli. Los datos del primer tipo podrían ser denominados datos positiva o favorablemente relevantes a la hipótesis; los del segundo tipo serían datos negativa o desfavorablemente relevantes.

En resumen: la máxima según la cual la obtención de datos debería realizarse sin la existencia de hipótesis antecedentes que sirvieran para orientarnos acerca de las conexiones entre los hechos que se están estudiando es una máxima que se autorrefuta, y a la que la investigación científica no se atiene. Al contrario: las hipótesis, en cuanto intentos de respuesta, son necesarias para servir de guía a la investigación científica. Esas hipótesis determinan, entre otras cosas, cuál es el tipo de datos que se han de reunir en un momento dado de una investigación científica.

Es interesante señalar que los científicos sociales que intentan someter a prueba una hipótesis que hace referencia al vasto conjunto de datos recogidos por la *U. S. Bureau of the Census* (Oficina Estadounidense del Censo) o por cualquier otra organización de recogida de datos, se encuentran a veces con la contrariedad de que los valores de alguna variable que juega un papel central en la hipótesis no han sido registrados sistemáticamente. Esta observación no debe, desde luego, interpretarse como una crítica de la recogida de datos: los que se encuentran implicados en el proceso intentan sin duda seleccionar aquellos hechos que puedan resultar relevantes con respecto a futuras hipótesis; al hacerla, lo único que queremos es ilustrar la imposibilidad de reunir «todos los datos relevantes» sin conocimiento de las hipótesis con respecto a las cuales tienen relevancia esos datos.

Igual crítica podría hacérsele al segundo estadio que Wolfe distingue en el pasaje citado. Un conjunto de “hechos” empíricos se puede analizar y clasificar de muy diversos modos, la mayoría de los cuales no serían de ninguna utilidad para una determinada investigación. Semmelweis podría haber clasificado a las mujeres ingresadas en la maternidad siguiendo criterios tales como la edad, lugar de residencia, estado civil, costumbres dietéticas, etc.; pero la información relativa a estos puntos no hubiera proporcionado la clave para determinar las probabilidades de que una paciente contrajera la fiebre puerperal. Lo que Semmelweis buscaba eran criterios que fueran significativos en este sentido; y a estos efectos, como él mismo acabó por demostrar, era esclarecedor fijarse en aquellas mujeres que se hallaban atendidas por personal médico cuyas manos estaban contaminadas; porque la mortalidad por fiebre puerperal tenía que ver con esta circunstancia, o con este tipo de pacientes.

Así, pues, para que un modo determinado de analizar y clasificar los hechos pueda conducir a una explicación de los fenómenos en cuestión debe estar basado en hipótesis acerca de cómo están

conectados esos fenómenos; sin esas hipótesis, el análisis y la clasificación son ciegos.

Nuestras reflexiones críticas sobre los dos primeros estadios de la investigación —tal como se nos presentan en el texto citado— descartan la idea de que las hipótesis aparecen sólo en el tercer estadio, por medio de una inferencia inductiva que parte de datos recogidos con anterioridad. Hemos de añadir, sin embargo, algunas otras observaciones a este respecto.

La inducción se concibe a veces como un método que, por medio de reglas aplicables mecánicamente, nos conduce desde los hechos observados a los correspondientes principios generales. En este caso, las reglas de la inferencia inductiva proporcionarían cánones efectivos del descubrimiento científico; la inducción sería un procedimiento mecánico análogo al familiar procedimiento para la multiplicación de enteros, que lleva, en un número finito de pasos predeterminados y realizables mecánicamente, al producto correspondiente. De hecho, sin embargo, en este momento no disponemos de ese procedimiento general y mecánico de inducción; en caso contrario, difícilmente estaría hoy sin resolver el muy estudiado problema del origen del cáncer. Tampoco podemos esperar que ese procedimiento se descubra algún día. Porque —para dar sólo una de las razones— las hipótesis y teorías científicas están usualmente formuladas en términos que no aparecen en absoluto en la descripción de los datos empíricos en que ellas se apoyan y a cuya explicación sirven. Por ejemplo, las teorías acerca de la estructura atómica y subatómica de la materia contienen términos tales como “átomo”, “electrón”, “protón”, “neutrón”, “función psi”, etc.; sin embargo, esas teorías están basadas en datos de laboratorio acerca de los espectros de diversos gases, trayectorias de partículas en las cámaras de niebla y de burbujas, aspectos cuantitativos de ciertas reacciones químicas, etc., todos los cuales se pueden describir sin necesidad de emplear estos “términos teóricos”. Las reglas de inducción, tal como se conciben en el texto citado, tendrían, por tanto, que proporcionar un procedimiento mecánico para construir, sobre la base de los datos con que se cuenta, una hipótesis o teoría expresada en términos de algunos conceptos completamente nuevos, que hasta ahora nunca se habían utilizado en la descripción de los datos mismos. Podemos estar seguros de que ninguna regla mecánica conseguirá esto. ¿Cómo podría haber, por ejemplo, una regla general que, aplicada a los datos de que disponía Galileo relativos a los límites de efectividad de las bombas de succión, produjera, mecánicamente, una hipótesis basada en el concepto de un mar de aire?

Cierto que se podrían arbitrar procedimientos mecánicos para «inferir» inductivamente una hipótesis sobre la base de una serie de datos en situaciones especiales, relativamente simples. Por ejemplo, si se ha medido la longitud de una barra de cobre a diferentes temperaturas, los pares resultantes de valores asociados de la temperatura y la longitud se pueden representar mediante puntos en un sistema plano de coordenadas, y se los puede unir con una curva siguiendo alguna regla determinada para el ajuste de curvas. La curva, entonces, representa gráficamente una hipótesis general cuantitativa que expresa la longitud de la barra como función específica de su temperatura. Pero nótese que esta hipótesis no contiene términos nuevos; está formulada en términos de los conceptos de temperatura y longitud, que son los mismos que se usan para describir los datos. Además, la elección de valores “asociados” de temperatura y longitud como datos presupone ya una hipótesis que sirve de guía; a saber, la hipótesis de que con cada valor de la temperatura está asociado exactamente un valor de la longitud de la barra de cobre, de tal modo que su longitud es únicamente función de su temperatura. El trazado mecánico de la curva sirve entonces tan sólo para seleccionar como apropiada una determinada función. Este punto es importante; porque supongamos que en lugar de una barra de cobre examinamos una masa de nitrógeno encerrada en un recipiente cilíndrico cuya tapa es un pistón móvil, y que medimos su volumen a diferentes temperaturas. Si con esto intentáramos obtener a partir de nuestros datos una hipótesis *general* que representara el volumen del gas como una función de su temperatura, fracasaríamos, porque el volumen de un gas es, a la vez, una función de su temperatura y de la presión ejercida sobre él, de modo que, a la misma temperatura, el gas en cuestión puede tener diferentes volúmenes.

Así, pues, incluso en estos casos tan simples los procedimientos mecánicos para la construcción

de una hipótesis juegan tan sólo un papel parcial, pues presuponen una hipótesis antecedente, menos específica (es decir, que una determinada variable física es una función de otra variable única), a la que no se puede llegar por el mismo procedimiento.

No hay, por tanto, “reglas de inducción” generalmente aplicables por medio de las cuales se puedan derivar o inferir mecánicamente hipótesis o teorías a partir de los datos empíricos. La transición de los datos a la teoría requiere imaginación creativa. Las hipótesis y teorías científicas no se *derivan* de los hechos observados, sino que se *inventan* para dar cuenta de ellos. Son conjeturas relativas a las conexiones que se pueden establecer entre los fenómenos que se están estudiando, a las uniformidades y regularidades que subyacen a éstos. Las “conjeturas felices”⁶ de este tipo requieren gran inventiva, especialmente si suponen una desviación radical de los modos corrientes del pensamiento científico, como era el caso de la teoría de la relatividad o de la teoría cuántica. El esfuerzo inventivo requerido por la investigación científica saldrá beneficiado si se está completamente familiarizado con los conocimientos propios de ese campo. Un principiante difícilmente hará un descubrimiento científico de importancia, porque las ideas que puedan ocurrírsele probablemente no harán más que repetir las que ya antes habían sido puestas a prueba o, en otro caso, entrarán en colisión con hechos o teorías comprobados de los que aquél no tiene conocimiento.

Sin embargo, los procesos mediante los que se llega a esas conjeturas científicas fructíferas no se parecen a los procesos de inferencia sistemática. El químico Kekulé, por ejemplo, nos cuenta que durante mucho tiempo intentó sin éxito hallar una fórmula de la estructura de la molécula de benceno hasta que, una tarde de 1865, encontró una solución a su problema mientras dormitaba frente a la chimenea. Contemplando las llamas, le pareció ver átomos que danzaban serpenteando. De repente, una de las serpientes se asió la cola y formó un anillo, y luego giró burlonamente ante él. Kekulé se despertó de golpe: se le había ocurrido la idea —ahora famosa y familiar— de representar la estructura molecular del benceno mediante un anillo hexagonal. El resto de la noche lo pasó extrayendo las consecuencias de esta hipótesis⁷.

Esta última observación contiene una advertencia importante respecto de la objetividad de la ciencia. En su intento de encontrar una solución a su problema, el científico debe dar rienda suelta a su imaginación, y el curso de su pensamiento creativo puede estar influido incluso por nociones científicamente discutibles. Por ejemplo, las investigaciones de Kepler acerca del movimiento de los planetas estaban inspiradas por el interés de aquél en una doctrina mística acerca de los números y por su pasión por demostrar la música de las esferas. Sin embargo, la objetividad científica queda salvaguardada por el principio de que, en la ciencia, si bien las hipótesis y teorías pueden ser libremente inventadas y *propuestas*, sólo pueden ser *aceptadas* e incorporadas al *corpus* del conocimiento científico si resisten la revisión crítica, que comprende, en particular, la comprobación, mediante cuidadosa observación y experimentación, de las apropiadas implicaciones contrastadoras.

Es interesante señalar que la imaginación y la libre invención juegan un papel de importancia similar en aquellas disciplinas cuyos resultados se validan mediante el razonamiento deductivo

⁶ Esta caracterización había sido ofrecida ya por William Whewell en su obra *The Philosophy of the Inductive Sciences*, 2ª ed., Londres, John W. Parkes, 1847, II, 41. Whewell habla también de la “invención” como “parte de la inducción” (p. 46). En la misma línea, Popper califica a las hipótesis y teorías científicas de “conjeturas”; véase, por ejemplo, el ensayo “Science: Conjectures and Refutations”, en su libro *Conjectures and Refutations*, Nueva York y Londres, Basic Books, 1962. [Hay versión castellana: *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*. Tr. de Néstor Míguez. Buenos Aires, Paidós, 1967.] Incluso A. B. Wolfe, cuya concepción estrechamente inductivista del proceder científico ideal hemos citado antes, insiste en que “la mente humana limitada” tiene que usar “un procedimiento grandemente modificado”, que requiere imaginación científica y la selección de datos sobre la base de algunas “hipótesis de trabajo” (p. 450 del ensayo citado en la nota 5).

⁷ Cfr. las citas del relato del propio Kekulé en el libro de A. Findlay *A Hundred Years of Chemistry*, 2ª ed. Londres, Gerald Duckworth & Co., 1948, p. 37; y en el de W. I. B. Beveridge *The Art of Scientific Investigation*, 3ª ed. Londres, William Heinemann, Ltd., 1957, p. 56.

exclusivamente; por ejemplo, en matemáticas. Porque las reglas de la inferencia deductiva no proporcionan, tampoco, reglas mecánicas de descubrimiento. Tal como lo ilustraba nuestra formulación, en las páginas anteriores, del *modus tollens*, estas reglas se expresan por lo general en forma de esquemas generales: y cada ejemplificación de esos esquemas generales constituye una argumentación deductivamente válida. Dadas unas premisas concretas, ese esquema nos señala el modo de llegar a una consecuencia lógica. Pero, dado cualquier conjunto de premisas, las reglas de la inferencia deductiva señalan una infinidad de conclusiones válidamente deducibles. Tomemos, por ejemplo, una regla muy simple representada por el siguiente esquema:

$$\frac{p}{p \text{ o } q}$$

La regla nos dice, en efecto, que de la proposición según la cual es el caso que p , se sigue que es el caso que $p \text{ o } q$, siendo p y q proposiciones cualesquiera. La palabra “o” se entiende aquí en su sentido “no exclusivo”, de modo que decir “ $p \text{ o } q$ ” es lo mismo que decir “o p o q o ambos a la vez”. Es claro que si las premisas de una argumentación de este tipo son verdaderas, entonces la conclusión debe serlo también; por tanto, cualquier razonamiento que tenga esta forma es un razonamiento válido. Pero esta regla, por sí sola, nos autoriza a inferir consecuencias infinitamente diferentes a partir de una sola premisa. Así, por ejemplo, de “la luna no tiene atmósfera”, nos autoriza a inferir un enunciado cualquiera de la forma “la luna no tiene atmósfera o q ”, donde, en lugar de q , podemos escribir un enunciado cualquiera, sea verdadero o falso; por ejemplo, “la atmósfera de la luna es muy tenue”, “la luna está deshabitada”, “el oro es más denso que la plata”, “la plata es más densa que el oro”, etc. (Es interesante —y no resulta nada difícil— probar que en castellano se pueden construir infinitos enunciados diferentes; cada uno de ellos puede servir para sustituir a la variable q .) Hay, desde luego, otras reglas de la inferencia deductiva que hacen mucho mayor la variedad de enunciados derivables de una premisa o conjunto de premisas. Por tanto, dado un conjunto de enunciados tomados como premisas, las reglas de deducción no marcan una dirección fija a nuestros procedimientos de inferencia. No nos señalan un enunciado como «la» conclusión que ha de derivarse de nuestras premisas, ni nos indican cómo obtener conclusiones interesantes o importantes desde el punto de vista sistemático; no proporcionan un procedimiento mecánico para, por ejemplo, derivar teoremas matemáticos significativos a partir de unos postulados dados. El descubrimiento de teoremas matemáticos importantes, fructíferos, al igual que el descubrimiento de teorías importantes, fructíferas, en la ciencia empírica, requiere habilidad inventiva; exige capacidad imaginativa, penetrante, de hacer conjeturas. Pero, además, los intereses de la objetividad científica están salvaguardados por la exigencia de una *validación objetiva* de esas conjeturas. En matemáticas esto quiere decir *prueba* por derivación deductiva a partir de los axiomas. Y cuando se ha propuesto como conjetura una proposición matemática, su prueba o refutación requiere todavía inventiva y habilidad, muchas veces de gran altura, porque las reglas de la inferencia deductiva no proporcionan tampoco un procedimiento mecánico general para construir pruebas, o refutaciones. Su papel sistemático es más modesto: servir como *criterios de corrección de las argumentaciones* que se ofrecen como pruebas; una argumentación constituirá una prueba matemática válida si llega desde los axiomas hasta el teorema propuesto mediante una serie de pasos, todos los cuales son válidos de acuerdo con alguna de las reglas de la inferencia deductiva. Y comprobar si un argumento dado es una prueba válida en este sentido sí que es una tarea puramente mecánica.

Así, pues, como hemos visto, al conocimiento científico no se llega aplicando un procedimiento inductivo de inferencia a datos recogidos con anterioridad, sino más bien mediante el llamado “método de las hipótesis”, es decir, inventando hipótesis a título de intentos de respuesta a un problema en estudio, y sometiendo luego éstas a la contrastación empírica. Una parte de esa contrastación la constituirá el ver si la hipótesis está confirmada por cuantos datos relevantes hayan

podido ser obtenidos antes de la formulación de aquélla; una hipótesis aceptable tendrá que acomodarse a los datos relevantes con que ya se contaba. Otra parte de la contrastación consistirá en derivar nuevas implicaciones contrastadoras a partir de la hipótesis, y comprobarlas mediante las oportunas observaciones o experiencias. Como antes hemos señalado, una contrastación con resultados favorables, por amplia que sea, no establece una hipótesis de modo concluyente, sino que se limita a proporcionarle un grado mayor o menor de apoyo. Por tanto, aunque la investigación científica no es inductiva en el sentido estrecho que hemos examinado con algún detalle, se puede decir que es *inductiva en un sentido más amplio*, en la medida en que supone la aceptación de hipótesis [37] sobre la base de datos que no las hacen deductivamente concluyentes, sino que sólo les proporcionan un “apoyo inductivo” más o menos fuerte, un mayor o menor grado de confirmación. Y las “reglas de inducción” han de ser concebidas, en cualquier caso, por analogía con las reglas de deducción, como cánones de validación, más bien que de descubrimiento. Lejos de generar una hipótesis que da cuenta de los resultados empíricos dados, esas reglas presuponen que están *dados*, por una parte, los datos empíricos que forman las “premisas” de la “inferencia inductiva” y, por otra parte, una hipótesis de tanteo que constituye su “conclusión”. Lo que harían las reglas de inducción sería, entonces, formular criterios de corrección de la inferencia. Según algunas teorías de la inducción, las reglas determinarían la fuerza del apoyo que los datos prestan a la hipótesis, y pueden expresar ese apoyo en términos de probabilidades. En los capítulos 3 y 4 estudiaremos varios factores que influyen en el apoyo inductivo y en la aceptabilidad de las hipótesis científicas.

Capítulo 3

LA CONTRASTACION DE UNA HIPÓTESIS: SU LÓGICA Y SU FUERZA

1. *Contrastaciones experimentales versus contrastaciones no experimentales*

Vamos a examinar ahora más de cerca el razonamiento en que se basan las contrastaciones científicas y las conclusiones que se pueden extraer de sus resultados. Como hemos hecho antes, emplearemos la palabra “hipótesis” para referirnos a cualquier enunciado que esté sometido a contrastación, con independencia de si se propone describir algún hecho o evento concreto o expresar una ley general o alguna otra proposición más compleja.

Empecemos haciendo una observación muy simple, a la cual tendremos que referirnos con frecuencia en lo que sigue: las implicaciones contrastadoras de una hipótesis son normalmente de carácter condicional; nos dicen que bajo condiciones de contrastación especificadas se producirá un resultado de un determinado tipo. Los enunciados de este tipo se pueden poner en forma explícitamente condicional del siguiente modo:

3a] Si se dan las condiciones de tipo C, entonces se producirá un acontecimiento de tipo E

Por ejemplo, una de las hipótesis consideradas por Semmelweis daba lugar a la implicación contrastadora:

Si las pacientes de la División Primera se tienden de lado, entonces decrecerá la mortalidad por fiebre puerperal.

Y una de las implicaciones contrastadoras de su hipótesis final era:

Si las personas que atienden a las mujeres de la División Primera se lavaran las manos en una solución de cal clorurada, entonces decrecería la mortalidad por fiebre puerperal.

De modo similar, las implicaciones contrastadoras de la hipótesis de Torricelli incluían

enunciados condicionales tales como:

Si transportamos un barómetro de Torricelli a una altura cada vez mayor, entonces su columna de mercurio tendrá cada vez menor longitud.

Estas implicaciones contrastadoras son, entonces, implicaciones en un doble sentido: son implicaciones de las hipótesis de las que se derivan, y tienen la forma de enunciados compuestos con “si... entonces”, que en lógica se llaman condicionales o implicaciones materiales.

En cada uno de los tres ejemplos citados, las condiciones especificadas de contrastación C son tecnológicamente reproducibles y se pueden, por tanto, provocar a voluntad; y la reproducción de estas condiciones supone un cierto control de un factor (posición durante el parto; ausencia o presencia de materia infecciosa; presión de la atmósfera) que, de acuerdo con la hipótesis en cuestión, tiene una influencia sobre el fenómeno en estudio (es decir, incidencia de la fiebre puerperal, en los dos primeros casos; longitud de la columna de mercurio, en el tercero). Las implicaciones contrastadoras de este tipo proporcionan la base para una *contrastación experimental*, que equivale a crear las condiciones C y comprobar luego si E se produce tal y como la hipótesis implica.

Muchas hipótesis científicas se formulan en términos cuantitativos. En el caso más simple representarán, por tanto, el valor de una variable cuantitativa como función matemática de otras determinadas variables. Así, la ley clásica de los gases, $V = c \cdot T/P$, representa el volumen de una masa de gas como función de su temperatura y de su presión (c es un factor constante). Un enunciado de este tipo da lugar a infinitas implicaciones contrastadoras cuantitativas. En nuestro ejemplo, éstas tendrán la forma siguiente: si la temperatura de una masa de gas es T_1 y su presión es P_1 , entonces su volumen es $c \cdot T_1/P_1$. Y una contrastación experimental consiste, entonces, en variar los valores de las variables “independientes” y comprobar si la variable “dependiente” asume los valores implicados por la hipótesis.

Cuando el control experimental es imposible, cuando las condiciones C mencionadas en la implicación contrastadora no pueden ser provocadas o variadas por medios tecnológicos disponibles, entonces habrá que contrastar la hipótesis de un modo no experimental, buscando o esperando que se produzcan casos en que esas condiciones especificadas se den espontáneamente, y comprobando luego si E se produce también.

Se dice a veces que en la contrastación experimental de una hipótesis cuantitativa, las cantidades mencionadas en la hipótesis sólo se varían de una en una, permaneciendo constantes todas las demás condiciones. Pero esto es imposible. En una contrastación experimental de la ley de los gases, por ejemplo, se puede variar la presión mientras la temperatura se mantiene constante, o viceversa, pero hay muchas otras circunstancias que pueden cambiar durante el proceso, entre ellas, quizá, la humedad relativa, la brillantez de la iluminación y la fuerza del campo magnético en el laboratorio, y, desde luego, la distancia entre el cuerpo y el sol o la luna. Y tampoco hay ninguna razón para mantener constantes hasta donde sea posible estos factores, si lo que se propone el experimento es contrastar la ley de los gases tal como se ha especificado. Porque la ley afirma que el volumen de una masa determinada de gas está totalmente determinado por su temperatura y su presión. Ella implica, por tanto, que los otros factores son “irrelevantes con respecto al volumen”, en el sentido de que los cambios que se produzcan en ellos no influyen en el volumen del gas. Por tanto, si hacemos que esos otros factores varíen, lo que hacemos es explorar una gama más amplia de casos en busca de posibles violaciones de la hipótesis que estamos sometiendo a contrastación.

La experimentación, sin embargo, se utiliza en la ciencia no sólo como un método de contrastación, sino también como un método de descubrimiento; y en este segundo contexto, como veremos, tiene sentido la exigencia de que ciertos factores se mantengan constantes.

Los experimentos de Torricelli y de Périer ilustran el uso de la experimentación como método de contrastación. En estos casos, ya se ha propuesto antes una hipótesis, y el experimento se lleva a cabo para someterla a contrastación. En otros casos, en los que todavía no se ha propuesto ninguna

hipótesis específica, el científico puede partir de una conjetura aproximativa, y puede utilizar la experimentación para que le conduzca a una hipótesis más definida. Al estudiar cómo un hilo metálico se alarga al suspender de él un peso, puede conjeturar que el incremento en la longitud dependerá de la longitud inicial del hilo, de su sección transversal, del tipo de metal de que está hecho y de los pesos del cuerpo suspendido de él. Y puede después llevar a cabo experimentos para determinar si estos factores tienen influencia sobre el aumento de longitud (en este caso, la experimentación sirve como método de contrastación), y, si ocurre así, cómo influyen éstos sobre la “variable dependiente” —es decir, cuál es la forma matemática específica de la dependencia (en este caso, la experimentación sirve como un método de descubrimiento). Sabiendo que la longitud de un alambre varía también con la temperatura, el experimentador, antes de nada, mantendrá la temperatura constante, para eliminar la influencia perturbadora de este factor (aunque más adelante puede hacer variar sistemáticamente la temperatura para ver si los valores de ciertos parámetros en las funciones que conectan el incremento en longitud con los demás factores dependen de la temperatura). En sus experimentos a temperaturas constantes hará variar de uno en uno los factores que estima relevantes, manteniendo constantes los demás. Sobre la base de los resultados así obtenidos formulará intentos de generalización que expresen el incremento en longitud como función de la longitud inicial, del peso, etc.; y a partir de aquí, puede proceder a construir una fórmula más general que represente el incremento en longitud como función de todas las variables examinadas.

Así, pues, en casos de este tipo, en los que la experimentación juega un papel heurístico, un papel de guía en el descubrimiento de hipótesis, tiene sentido el principio de que se han de mantener constantes todos los “factores relevantes”, excepto uno. Pero, por supuesto, lo más que se puede hacer es mantener constantes todos menos uno de los factores que se presumen «relevantes», en el sentido de que afectan al fenómeno que estamos estudiando: queda siempre la posibilidad de que se hayan pasado por alto algunos otros factores importantes.

Una de las características notables y una de las grandes ventajas de la ciencia natural es que muchas de sus hipótesis admiten una contrastación experimental. Pero no se puede decir que la contrastación experimental de hipótesis sea un rasgo distintivo de todas, y sólo, las ciencias naturales. Ella no establece una línea divisoria entre la ciencia natural y la ciencia social, porque los procedimientos de contrastación experimental se utilizan también en psicología y, aunque en menor medida, en sociología. Por otra parte, el alcance de la contrastación experimental aumenta constantemente a medida que se van poniendo a punto los recursos tecnológicos necesarios. Además, no todas las hipótesis de las ciencias naturales son susceptibles de contrastación experimental. Tomemos, por ejemplo, la ley formulada por Leavitt y Shapley para las fluctuaciones periódicas en la luminosidad de un cierto tipo de estrella variable, las llamadas Cefeidas clásicas. La ley afirma que cuanto más largo es el período P de la estrella, es decir, el intervalo de tiempo entre dos estados sucesivos de máxima luminosidad, tanto mayor es su luminosidad intrínseca; en términos cuantitativos, $M = -(a + b \cdot \log P)$, donde M es la magnitud, que por definición varía inversamente a la luminosidad de la estrella. Esta ley implica deductivamente un cierto número de enunciados de contrastación que expresan cuál será la magnitud de una Cefeida si su período tiene este o aquel valor concreto, por ejemplo, 5,3 días o 17,5 días. Pero no podemos producir a voluntad Cefeidas con períodos específicos; por tanto, la ley no se puede contrastar mediante un experimento, sino que el astrónomo debe buscar por el firmamento nuevas Cefeidas y debe intentar averiguar si su magnitud y su período se adaptan a esa ley presupuesta.

2. *El papel de las hipótesis auxiliares*

Hemos dicho antes que las implicaciones contrastadoras “se derivan” o “se infieren” de la hipótesis que se ha de contrastar. Esta afirmación, sin embargo, describe de una manera muy rudimentaria la relación entre una hipótesis y los enunciados que constituyen sus implicaciones

contrastadoras. En algunos casos, ciertamente, es posible inferir deductivamente a partir de una hipótesis ciertos enunciados condicionales que puedan servirle de enunciados contrastadores. Así, como acabamos de ver, la ley de Leavitt-Shapley implica deductivamente enunciados de la forma: “Si la estrella *s* es una Cefeida con un período de tantos días, entonces su magnitud será tal y tal”. Pero ocurre con frecuencia que la “derivación” de una implicación contrastadora es menos simple y concluyente. Tomemos, por ejemplo, la hipótesis de Semmelweis de que la fiebre puerperal está producida por la contaminación con materia infecciosa, y consideremos la implicación contrastadora de que si las personas que atienden a las pacientes se lavan las manos en una solución de cal clorurada, entonces decrecerá la mortalidad por fiebre puerperal. Este enunciado no se sigue deductivamente de la hipótesis sola; su derivación presupone la premisa adicional de que, a diferencia del agua y el jabón por sí solos, una solución de cal clorural destruirá la materia infecciosa. Esta premisa, que en la argumentación se da implícitamente por establecida, juega el papel de lo que llamaremos *supuesto auxiliar* o *hipótesis auxiliar* en la derivación del enunciado contrastador a partir de la hipótesis de Semmelweis. Por tanto, no estamos autorizados a afirmar aquí que si la hipótesis *H* es verdadera, entonces debe serlo también la implicación contrastadora *I*, sino sólo que si *H* y la hipótesis auxiliar son ambas verdaderas, entonces también lo será *I*. La confianza en las hipótesis auxiliares, como veremos, es la regla, más bien que la excepción, en la contrastación de hipótesis científicas; y de ella se sigue una consecuencia importante para la cuestión de si se puede sostener que un resultado desfavorable [44] de la contrastación, es decir, un resultado que muestra que *I* es falsa, refuta la hipótesis sometida a investigación.

Si *H* sola implica *I* y si los resultados empíricos muestran que *I* es falsa, entonces *H* debe ser también calificada de falsa: esto lo concluimos siguiendo la argumentación llamada *modus tollens* (2a). Pero cuando *I* se deriva de *H* y de una o más hipótesis auxiliares *A*, entonces el esquema (2a) debe ser sustituido por el siguiente:

- Si *H* y *A* son ambas verdaderas, entonces también lo es *I*
 3b] Pero (como se muestra empíricamente) *I* no es verdadera
H y *A* no son ambas verdaderas

Así, pues, si la contrastación muestra que *I* es falsa, sólo podemos inferir que o bien la hipótesis o bien uno de los supuestos auxiliares incluidos en *A* debe ser falso; por tanto, la contrastación no proporciona una base concluyente para rechazar *H*. Por ejemplo, aunque la medida antiséptica tomada por Semmelweis no hubiera ido seguida de un descenso en la mortalidad, su hipótesis podía haber seguido siendo verdadera; el resultado negativo de la contrastación podía haber sido debido a la ineficacia antiséptica del cloruro de la solución de cal.

Una situación de este tipo no es una mera posibilidad abstracta. El astrónomo Tycho Brahe, cuyas cuidadosas observaciones proporcionaron la base empírica para las leyes del movimiento planetario de Kepler, rechazó la concepción copernicana de que la tierra se mueve alrededor del sol. Dio, entre otras, la siguiente razón: si la hipótesis de Copérnico fuera verdadera, entonces la dirección en que una estrella fija sería visible para un observador situado en la tierra en un momento determinado del día cambiaría gradualmente; porque en el curso del viaje anual de la tierra alrededor del sol, la estrella sería observada desde un punto constantemente cambiante —del mismo modo que un niño montado en un tiovivo observa la cara de un espectador desde un punto cambiante y, por tanto, la ve en una dirección constantemente cambiante. Más específicamente, la dirección definida por el observador y la estrella variaría periódicamente entre dos extremos, que corresponderían a puntos opuestos de la órbita de la tierra en torno al sol. El ángulo subtendido por estos puntos se denomina paralaje anual de la estrella; cuanto más lejos está la estrella de la tierra, tanto menor será su paralaje. Brahe, que hizo sus observaciones con anterioridad a la introducción del telescopio, buscó, con los instrumentos más precisos de que disponía, un testimonio empírico de esos “movimientos paralácticos” de las estrellas fijas. Y no encontró ninguno. En consecuencia, rechazó la hipótesis de que la tierra se movía. Pero la implicación contrastadora según la cual las

estrellas fijas muestran movimientos paralácticos observables sólo se podía derivar de la hipótesis de Copérnico con la ayuda del supuesto auxiliar de que las estrellas fijas están tan próximas a la tierra que sus movimientos son lo suficientemente amplios como para que los instrumentos de Brahe puedan detectarlos. Brahe era consciente de que estaba contando con este supuesto auxiliar, y creía que había razones para considerarlo verdadero; por tanto, se sintió obligado a rechazar la concepción copernicana. Desde entonces se ha descubierto que las estrellas fijas muestran desplazamientos paralácticos, pero que la hipótesis auxiliar de Brahe era errónea: incluso las estrellas fijas más cercanas están mucho más lejos de lo que él había supuesto, y, por tanto, las medidas de las paralajes requieren telescopios poderosos y técnicas muy precisas. La primera medición universalmente aceptada de una paralaje estelar no se hizo hasta 1838.

La importancia de las hipótesis auxiliares en la contrastación llega todavía más lejos. Supongamos que se contrasta una hipótesis H poniendo a prueba una implicación contrastadora, “Si C , entonces E ”, derivada a partir de H y de un conjunto A de hipótesis auxiliares. La contrastación, entonces, viene a consistir, en último término, en comprobar si E ocurre o no en una situación contrastadora en la que —cuando menos por lo que el investigador sabe— se dan las condiciones C . Si de hecho este no es el caso —si, por ejemplo, el material de la prueba es defectuoso, o no suficientemente fino—, entonces puede ocurrir que no se dé E , aunque H y A sean verdaderas. Por esta razón, se puede decir que el conjunto completo de supuestos auxiliares presupuestos por la contrastación incluye la suposición de que la organización de la prueba satisface las condiciones especificadas H .

Este punto es particularmente importante cuando la hipótesis que se está sometiendo a examen ha resistido bien otras contrastaciones a las que ha sido sometida anteriormente y constituye una parte esencial de un sistema más amplio de hipótesis interconectadas apoyado por otros testimonios empíricos distintos. En ese caso, se hará, verosíblemente, un esfuerzo por explicar el hecho de que no se haya producido E mostrando que algunas de las condiciones C no estaban satisfechas en la prueba.

Tomemos como ejemplo la hipótesis de que las cargas eléctricas tienen una estructura atómica y son todas ellas múltiplos enteros de la carga del átomo de electricidad, el electrón. Los experimentos llevados a cabo a partir de 1909 por R. A. Millikan prestaron a esta hipótesis un apoyo notable. En estos experimentos, la carga eléctrica de una gota extremadamente pequeña de algún líquido tal como aceite o mercurio se determinaba midiendo las velocidades de las gotitas al caer por el influjo de la gravedad o al elevarse bajo la influencia de un campo magnético que actuaba en dirección opuesta. Millikan observó que todas las cargas eran o bien iguales a una cierta carga mínima básica, o bien múltiplos enteros de esta misma carga mínima, que él entonces identificó como la carga del electrón. Sobre la base de numerosas mediciones muy cuidadosas, dio su valor en unidades electrostáticas: $4,774 \cdot 10^{-10}$. Esta hipótesis fue pronto discutida desde Viena por el físico Ehrenhaft, quien anunció que había repetido el experimento de Millikan y había encontrado cargas que eran considerablemente menores que la carga electrónica especificada por Millikan. En su discusión de los resultados de Ehrenhaft⁸, Millikan sugirió varias fuentes posibles de error (es decir, violaciones de los requisitos de la contrastación) que podían explicar los resultados empíricos, aparentemente adversos, de Ehrenhaft: evaporación durante la observación, que haría disminuir el peso de una gota; formación de una película de óxido en las gotas de mercurio utilizadas en algunos de los experimentos de Ehrenhaft; influencia perturbadora de partículas de polvo suspendidas en el aire; desviación de las gotas del foco del telescopio utilizado para observarlas; pérdida, por parte de muchas de las gotas, de la forma esférica requerida; errores inevitables en el cronometraje de los movimientos de las pequeñas partículas. Con respecto a dos partículas “aberrantes”, observadas y registradas por otro investigador, Millikan concluye: “La única interpretación posible en lo que se

⁸ Véase el capítulo VIII del libro de R. A. Millikan *The Electron*, Chicago, The University of Chicago Press, 1917. Reimpreso en 1963 con una introducción de J. W. M. Dumond.

refiere a estas dos partículas ... es que ... no eran esferas de aceite”, sino partículas de polvo (pp. 170, 169). Millikan observa después que los resultados de repeticiones más precisas de su propio experimento estaban todos esencialmente de acuerdo con el resultado que él había anunciado de antemano. Ehrenhaft continuó durante muchos años defendiendo y ampliando sus datos concernientes a las cargas subelectrónicas; pero hubo otros físicos que no fueron, en general, capaces de reproducir sus resultados, y la concepción atomística de la carga eléctrica se mantuvo. Se descubrió más tarde, sin embargo, que el valor numérico que Millikan dio para la carga electrónica pecaba ligeramente por defecto; es interesante señalar que la desviación era debida a un error en una de las propias hipótesis auxiliares de Millikan: ¡había utilizado un valor demasiado bajo para la viscosidad del aire al evaluar los datos relativos a su gota de aceite!

3. *Contrastaciones cruciales*

Las observaciones anteriores tienen importancia también para la idea de una contrastación crucial, que se puede describir brevemente del siguiente modo: supongamos que H_1 y H_2 son dos hipótesis rivales relativas al mismo asunto que hasta el momento han superado con el mismo éxito las contrastaciones empíricas, de modo que los testimonios disponibles no favorecen a una de ellas más que a la otra. Entonces es posible encontrar un modo de decidir entre las dos si se puede determinar alguna contrastación con respecto a la cual H_1 y H_2 predigan resultados que están en conflicto; es decir, si, dado un cierto tipo de condición de contrastación C , la primera hipótesis da lugar a la implicación contrastadora “Si C , entonces E_1 ”, y la segunda a “Si C , entonces E_2 ”, donde E_1 y E_2 son resultados que se excluyen mutuamente. La ejecución de esa contrastación refutará presumiblemente una de las hipótesis y prestará su apoyo a la otra.

Un ejemplo clásico lo constituye el experimento realizado por Foucault para decidir entre dos concepciones rivales de la naturaleza de la luz. Una de ellas, propuesta por Huyghens y desarrollada después por Fresnel y Young, sostenía que la luz consiste en ondas transversales que se propagan en un medio elástico, el éter; la otra era la concepción corpuscular de Newton, según la cual la luz se compone de partículas extremadamente pequeñas que se desplazan a alta velocidad. Cualquiera de estas dos concepciones admitía la conclusión de que los rayos de luz cumplen las leyes de la propagación rectilínea, de la reflexión y de la refracción. Pero la concepción ondulatoria llevaba además a la implicación de que la luz viajaría con mayor rapidez en el aire que en el agua, mientras que la concepción corpuscular conducía a la conclusión opuesta. En 1850 Foucault consiguió realizar un experimento en el que se comparaban directamente las velocidades de la luz en el aire y en el agua. Se producían imágenes de dos puntos emisores de luz por medio de rayos luminosos que pasaban, respectivamente, a través del agua y a través del aire y se reflejaban luego en un espejo que giraba muy rápidamente. La imagen de la primera fuente de luz aparecería a la derecha o a la izquierda de la de la segunda, según que la velocidad de la luz en el aire fuera mayor o menor que en el agua. Las implicaciones contrastadoras rivales que se trataba de someter a prueba mediante este experimento podrían expresarse brevemente de este modo: “Si se lleva a cabo el experimento de Foucault, entonces la primera imagen aparecerá a la derecha de la segunda” y “si se lleva a cabo el experimento de Foucault, entonces la primera imagen aparecerá a la izquierda de la segunda”. El experimento mostró que la primera de estas implicaciones era verdadera.

Se consideró que este resultado constituía una refutación definitiva de la concepción corpuscular de la luz y una vindicación decisiva de la ondulatoria. Pero esta estimación, aunque muy natural, sobrevaloraba la fuerza de la contrastación. Porque el enunciado de que la luz viaja con mayor rapidez en el agua que en el aire no se sigue simplemente de la concepción general de los rayos de luz como chorros de partículas; esta concepción por sí sola es demasiado vaga como para llevar a consecuencias cuantitativas específicas. Implicaciones tales como las leyes de reflexión y refracción y el enunciado acerca de las velocidades de la luz en el aire y en el agua sólo se pueden derivar si a la concepción corpuscular general se le añaden supuestos específicos concernientes al movimiento de

los corpúsculos y a la influencia ejercida sobre ellos por el medio que los rodea. Newton hizo explícitos esos supuestos, y al hacerlo, estableció una *teoría*⁹ concreta sobre la propagación de la luz. Es el conjunto completo de estos principios teóricos básicos el que conduce a consecuencias empíricamente contrastables tal como la que comprobó Foucault con su experimento. De manera análoga, la concepción ondulatoria estaba formulada como una *teoría* basada en un conjunto de supuestos específicos acerca de la propagación de las ondas de éter en diferentes medios ópticos; y, una vez más, es este conjunto de principios teóricos el que implica las leyes de reflexión y refracción y el enunciado de que la velocidad de la luz es mayor en el aire que en el agua. En consecuencia —suponiendo que todas las demás hipótesis auxiliares sean verdaderas—, el resultado de los experimentos de Foucault sólo nos autoriza a inferir que no todos los supuestos básicos o los principios de la teoría corpuscular son verdaderos, que al menos uno de ellos tiene que ser falso. Pero no nos dice cuál de ellos hemos de rechazar. Por tanto, deja abierta la posibilidad de que la concepción general de que hay una especie de proyectiles corpusculares que juegan un papel en la propagación de la luz pueda mantenerse en alguna forma modificada que estaría caracterizada por un conjunto diferente de leyes básicas.

Y de hecho, en 1905, Einstein propuso una versión modificada de la concepción corpuscular en su teoría de los cuanta de luz o fotones, como se les llamó. El testimonio que él citó en apoyo de su teoría incluía un experimento realizado por Lenard en 1903. Einstein lo caracterizó como “un segundo experimento crucial” concerniente a las concepciones corpuscular y ondulatoria, y señaló que “eliminaba” la teoría ondulatoria clásica, en la que por entonces la noción de vibraciones elásticas en el éter había sido sustituida por la idea, desarrollada por Maxwell y Hertz, de ondas electromagnéticas transversales. El experimento de Lenard, que involucraba el efecto fotoeléctrico, se podía interpretar como si con él se estuvieran sometiendo a contrastación dos implicaciones rivales concernientes a la energía luminosa que un punto radiante P puede transmitir, durante una determinada unidad de tiempo, a una pequeña pantalla perpendicular a los rayos de luz. Según la teoría ondulatoria clásica, esa energía decrecería de forma gradual y continua hacia cero a medida que la pantalla se alejara del punto P; según la teoría del fotón, esa energía debe ser, como mínimo, la de un solo fotón —a menos que durante el intervalo de tiempo dado ningún fotón choque contra la pantalla, pues en ese caso la energía recibida sería cero; por tanto, no habría un decrecimiento continuo hasta cero. El experimento de Lenard corroboró esta última alternativa. Tampoco, sin embargo, resultó la teoría ondulatoria definitivamente refutada; el resultado del experimento mostraba sólo que era necesaria *alguna* modificación en el sistema de supuestos básicos de la teoría ondulatoria. De hecho, Einstein intentó modificar la teoría clásica lo menos posible¹⁰. Así, pues, un experimento del tipo de los que acabamos de ilustrar no puede estrictamente refutar una de entre dos hipótesis rivales.

Pero tampoco puede “probar” o establecer definitivamente la otra; porque, como se señaló en general en la Sección 2 del Capítulo 2, las hipótesis y las teorías científicas no pueden ser probadas de un modo concluyente por ningún conjunto de datos disponibles, por muy precisos y amplios que sean. Esto es particularmente obvio en el caso de hipótesis o teorías que afirman o implican leyes generales, bien para algún proceso que no es directamente observable —como en el caso de las teorías rivales de la luz—, bien para algún fenómeno más fácilmente accesible a la observación y a la medición, tal como la caída libre de los cuerpos. La ley de Galileo, por ejemplo, se refiere a *todos* los casos de caída libre en el pasado, en el presente y en el futuro, mientras que todos los datos relevantes disponibles en un momento dado pueden abarcar sólo aquel relativamente pequeño conjunto de casos —todos ellos pertenecientes al pasado— en los que se han efectuado mediciones cuidadosas. E incluso si se encontrara que todos los casos observados satisfacían estrictamente la ley de Galileo, esto obviamente no excluye la posibilidad de que algunos casos no observados en el

⁹ La forma y función de las teorías se estudiará más adelante, en el capítulo 6.

¹⁰ Este ejemplo aparece discutido con cierta extensión en el capítulo 8 del libro de P. Frank *Philosophy of Science*. N. J., Prentice-Hall, Spectrum Books, 1962.

pasado o en el futuro dejen de ajustarse a ella. En suma: ni siquiera la más cuidadosa y amplia contrastación puede nunca refutar una de entre dos hipótesis y probar la otra; por tanto, estrictamente interpretados, los experimentos cruciales son imposibles en la ciencia¹¹. Sin embargo, un experimento como los de Foucault o Lenard puede ser crucial en un sentido menos estricto, práctico: puede mostrar que una de entre dos teorías rivales es inadecuada en importantes aspectos, y puede proporcionar un fuerte apoyo a la teoría rival; y, en cuanto resultado, puede ejercer una influencia decisiva sobre el sesgo que tome la subsiguiente labor teórica y experimental.

4. Las hipótesis «ad hoc»

Si un modo concreto de contrastar una hipótesis *H* presupone unos supuestos auxiliares A_1, A_2, \dots, A_n —es decir, si éstos se usan como premisas adicionales para derivar de *H* la implicación contrastadora relevante *I*—, entonces, como vimos antes, un resultado negativo de la contrastación que muestre que *I* es falsa, se limita a decirnos que o bien *H* o bien alguna de las hipótesis auxiliares debe ser falsa, y que se debe introducir una modificación en este conjunto de enunciados si se quiere reajustar el resultado de la contrastación. Ese ajuste se puede realizar modificando o abandonando completamente *H*, o introduciendo cambios en el sistema de hipótesis auxiliares. En principio, siempre sería posible retener *H*, incluso si la contrastación diera resultados adversos importantes, siempre que estemos dispuestos a hacer revisiones suficientemente radicales y quizá laboriosas en nuestras hipótesis auxiliares. Pero la ciencia no tiene interés en proteger sus hipótesis o teorías a toda costa, y ello por buenas razones. Tomemos un ejemplo. Antes de que Torricelli introdujera su concepción de la presión del mar de aire, la acción de las bombas aspirantes se explicaba por la idea de que la naturaleza tiene horror al vacío y que, por tanto, el agua sube por el tubo de la bomba para llenar el vacío creado por la subida del pistón. La misma idea servía también para explicar otros diversos fenómenos. Cuando Pascal escribió a Périer pidiéndole que realizara el experimento del Puy-de-Dôme, argüía que el resultado esperado constituiría una refutación “decisiva” de esa concepción:

Si ocurriera que la altura del mercurio fuera menor en la cima que en la base de la montaña ... se seguiría necesariamente que el peso y la presión del aire es la única causa de esta suspensión del mercurio, y no el horror al vacío: porque es obvio que hay mucho más aire ejerciendo presión al pie de la montaña que en la cumbre, y no se puede decir que la naturaleza tenga más horror al vacío al pie de la montaña que en la cumbre¹².

Sin embargo, esta última observación señala de hecho un modo de salvar la concepción de un *horror vacui* frente a los datos de Périer. Los resultados de Périer constituyen un testimonio decisivo en contra de esa concepción sólo si aceptamos el supuesto auxiliar de que la fuerza del horror no depende del emplazamiento. Para hacer compatible el testimonio aparentemente adverso obtenido por Périer con la idea de un *horror vacui*, basta con introducir en su lugar la hipótesis auxiliar de que el horror de la naturaleza al vacío decrece a medida que aumenta la altitud. Pero si bien este supuesto no es lógicamente absurdo ni patentemente falso, se le pueden poner objeciones desde el punto de vista de la ciencia. Porque lo habríamos introducido *ad hoc* —es decir, con el único propósito de salvar una hipótesis seriamente amenazada por un testimonio adverso; no vendría

¹¹ Este es el famoso veredicto del físico e historiador de la ciencia francés Pierre Duhem. Cfr. parte II, capítulo VI, de su libro *The Aim and Structure of Physical Theory*. Versión inglesa de P. P. Wiener. Princeton, Princeton University Press, 1954. La edición original es de 1905. [*La théorie physique, son objet et son Structure*. París, Chevalier et Rivière, 1906.] En su Prefacio a la traducción inglesa, Louis de Broglie incluye algunas interesantes reflexiones en torno a esta idea.

¹² De la carta de Pascal de 15 de noviembre de 1647, en I. H. B. y A. G. H. (trad.), *The Physical Treatises of Pascal*. Nueva York, Columbia University Press, 1937, p. 101.

exigida por otros datos, y, en general, no conduce a otras implicaciones contrastadoras. La hipótesis de la presión del aire sí conduce, en cambio, a ulteriores implicaciones. Pascal señala, por ejemplo, que si se lleva a la cumbre de una montaña un globo parcialmente hinchado, llegaría más inflado a la cumbre.

Hacia mediados del siglo XVII, un grupo de físicos, los plenistas, sostenían que en la naturaleza no puede haber vacío; y con el fin de salvar esta idea frente al experimento de Torricelli, uno de ellos propuso la hipótesis *ad hoc* de que el mercurio de un barómetro se sostenía en su lugar gracias al “funiculus”, un hilo invisible por medio del cual quedaba suspendido de lo alto de la superficie interna del tubo de cristal. De acuerdo con una teoría inicialmente muy útil, desarrollada a comienzos del siglo XVIII, la combustión de los metales supone la fuga de una sustancia llamada flogisto. Esta concepción fue abandonada finalmente como resultado de los trabajos experimentales de Lavoisier, el cual mostró que el producto final del proceso de combustión tiene un peso mayor que el del metal originario. Pero algunos tenaces partidarios de la teoría del flogisto intentaron hacer compatible su concepción con los resultados de Lavoisier, proponiendo la hipótesis *ad hoc* de que el flogisto tenía peso negativo, de modo que su fuga incrementaría el peso del residuo.

No olvidemos, sin embargo, que, visto ahora, parece fácil descartar ciertas sugerencias científicas propuestas en el pasado calificándolas de hipótesis *ad hoc*. Muy difícil, en cambio, podría resultar el juicio sobre una hipótesis propuesta contemporáneamente. No hay, de hecho, un criterio preciso para identificar una hipótesis *ad hoc*, aunque las cuestiones antes suscitadas pueden darnos alguna orientación a este respecto: la hipótesis propuesta, ¿lo es simplemente con el propósito de salvar alguna concepción en uso contra un testimonio empírico adverso, explica otros fenómenos, da lugar a más implicaciones contrastadoras significativas? Y otra consideración relevante sería ésta: si para hacer compatible una cierta concepción básica con nuevos datos hay que introducir más y más hipótesis concretas, el sistema total resultante será eventualmente algo tan complejo que tendrá que sucumbir cuando se proponga una concepción alternativa simple.

5. Contrastabilidad-en-principio y alcance empírico

Como muestra lo que acabamos de decir, ningún enunciado o conjunto de enunciados T puede ser propuesto significativamente como una hipótesis o teoría científica a menos que pueda ser sometido a contrastación empírica objetiva, al menos “en principio”. Es decir: que debe ser posible derivar de T, en el sentido amplio que hemos indicado, ciertas implicaciones contrastadoras de la forma [54] “si se dan las condiciones de contrastación C, entonces se producirá el resultado E”; pero no es necesario que las condiciones de contrastación estén dadas o sean tecnológicamente producibles en el momento en que T es propuesto o examinado. Tomemos, por ejemplo, la hipótesis de que la distancia cubierta en t segundos por un cuerpo en caída libre partiendo de un estado de reposo cerca de la superficie de la Luna es $s = 2,7 t^2$ pies. Esto da lugar deductivamente a un conjunto de implicaciones contrastadoras en el sentido de que las distancias cubiertas por ese cuerpo en 1, 2, 3... segundos será 2,7, 10,8, 24,3 ... pies. Por tanto, la hipótesis es contrastable en principio, aunque de hecho sea imposible realizar esa contrastación.

Pero si un enunciado o conjunto de enunciados no es contrastable al menos en principio, o, en otras palabras, si no tiene en absoluto implicaciones contrastadoras, entonces no puede ser propuesto significativamente o mantenido como una hipótesis o teoría científica, porque no se concibe ningún dato empírico que pueda estar de acuerdo o ser incompatible con él. En este caso, no tiene conexión ninguna con fenómenos empíricos, o, como también diremos, carece de *alcance empírico*. Consideremos, por ejemplo, la opinión según la cual la mutua atracción gravitatoria de los cuerpos físicos es una manifestación de ciertos “apetitos o tendencias naturales” muy relacionados con el amor, inherentes a esos cuerpos, que hacen “inteligibles y posibles sus movimientos naturales”¹³.

¹³ Esta idea se encuentra expuesta, por ejemplo, en el trabajo de J. F. O'Brien «Gravity and Love as Unifying Principles»,

¿Qué implicaciones contrastadoras se pueden derivar de esta interpretación de los fenómenos gravitatorios? Si pensamos en algunos aspectos característicos del amor en el sentido habitual de la palabra, esta opinión parecería implicar que la afinidad gravitatoria es un fenómeno selectivo: no todos los cuerpos físicos se atraerían entre sí. Tampoco sería siempre igual la fuerza de afinidad de un cuerpo hacia un segundo cuerpo que la de éste hacia el primero, ni dependería de las masas de los cuerpos o de la distancia entre ellos. Pero puesto que se sabe que todas estas consecuencias hasta ahora expuestas son falsas, es evidente que la concepción que estamos examinando no pretende implicarlas. Y, además, esta concepción afirma simplemente que las afinidades naturales que subyacen a la atracción gravitatoria están *relacionadas* con el amor. Pero, como veremos, esta afirmación es tan evasiva que no permite la derivación de *ninguna* implicación contrastadora. No hay ningún hecho específico de ningún tipo que venga exigido por esta interpretación; no se concibe ningún dato de observación o de experimentación que la confirme o la refute. No tiene, por tanto, en concreto implicaciones concernientes a los fenómenos gravitatorios; en consecuencia, no puede explicar estos fenómenos, no puede hacerlos “inteligibles”. Como una ilustración más de este punto, supongamos que alguien presentara la tesis alternativa de que los cuerpos físicos se atraen gravitatoriamente entre sí y tienden a moverse los unos hacia los otros en virtud de una tendencia natural análoga al odio, en virtud de una inclinación natural a chocar con otros objetos físicos y destruirlos. ¿Se podría concebir algún procedimiento para decidir entre estas opiniones en conflicto? Es claro que no. Ninguna de ellas da lugar a implicaciones contrastables; no es posible ninguna discriminación empírica entre ellas. No se trata de que el tema sea “demasiado profundo” para que se le pueda dar una decisión científica: las dos interpretaciones, que verbalmente están en conflicto, no hacen aserción alguna. Por tanto, la cuestión de si son verdaderas o falsas no tiene sentido, y ésta es la razón de que la investigación científica no pueda decidir entre ellas. Son *pseudo-hipótesis*: hipótesis sólo en apariencia.

Hay que tener presente, sin embargo, que una hipótesis científica normalmente sólo da lugar a implicaciones contrastadoras cuando se combina con supuestos auxiliares apropiados. Así, la concepción de Torricelli de la presión ejercida por el mar de aire sólo da lugar a implicaciones contrastadoras definidas en el supuesto de que la presión del aire está sujeta a leyes análogas a las de la presión del agua; este supuesto subyace, por ejemplo, en el experimento del Puy-de-Dôme. Al dictaminar si una hipótesis propuesta tiene alcance empírico, debemos, por tanto, preguntarnos qué hipótesis auxiliares están implícitas o tácitamente presupuestas en ese contexto, y si, en conjunción con éstas, la hipótesis dada conduce a implicaciones contrastadoras (distintas de las que se pueden derivar de las hipótesis auxiliares solas).

Además, es frecuente que una idea científica se introduzca inicialmente de una forma que ofrezca posibilidades limitadas y poco precisas de contrastación; y sobre la base de estas contrastaciones iniciales se le irá dando gradualmente una forma más definida, precisa y variadamente contrastable.

Por estas razones, y por otras más que nos llevarían demasiado lejos¹⁴, es imposible trazar una frontera neta entre hipótesis y teorías que son contrastables en principio e hipótesis y teorías que no lo son. Pero, aunque algo vaga, la distinción a la que nos referimos es importante y esclarecedora para valorar la significación y la eficacia explicativa potencial de hipótesis y teorías propuestas.

en *The Thomist*, vol. 21 (1958), pp. 184-193.

¹⁴ El tema aparece discutido más ampliamente en otro volumen de esta serie: el de William Alston, *Philosophy of Language*, cap. 4. Una discusión técnica, más completa, se encontrará en el ensayo «Empiricist Criteria of Cognitive Significance: Problems and Changes», en C. G. Hempel, *Aspects of Scientific Explanation*. Nueva York, The Free Press, 1965. [Este artículo del autor aparece incluido en la antología de A. J. Ayer (ed.), *Logical Positivism*. Glencoe, Illinois, The Free Press, 1959. Versión española de L. Aldama *et al.*, *El positivismo lógico*. México, F.C.E., 1965, pp. 115-136. T.]