

XVI. LA HIPÓTESIS

"El crecimiento de una ciencia no se produce primordialmente en volumen, sino en ideas" —A. N. WHITEHEAD

§ 1 La elección de un orden

EL MÉTODO científico es el medio por el cual tratamos de dar respuesta a las interrogantes acerca del orden de la naturaleza. Las preguntas que nos hacemos están determinadas por nuestros intereses y condicionadas por los conocimientos que ya poseemos. De estos dos factores depende también la *clase* de respuesta que habremos de juzgar satisfactoria. El pensante formula su pregunta desde un punto de vista dado que está determinado por el contexto de su propia experiencia. Este contexto de experiencia incluye aquellas creencias que sostienen amplia y firmemente sus contemporáneos. No todas estas creencias son conscientes; menos aún son susceptibles de formulación explícita. Tales creencias no pueden ser debatidas. Hay otros supuestos más o menos explícitos, que en un período dado del pensamiento nadie piensa poner en duda. Estos supuestos y las creencias explícitas que se desprenden de ellos ayudan a determinar la actitud del pensante. Dentro del contexto así suministrado, sólo se formularán ciertas preguntas y sólo parecerán aceptables determinadas clases de respuesta. De tal suerte, el pensante está envuelto en lo que el profesor Whitehead ha llamado acertadamente "un clima de opinión". Esta frase, tal como la utilizó Whitehead se refiere a la perspectiva total de los hombres cultos, perspectiva que está condicionada por factores distintos de los puramente científicos. También existe, para continuar la metáfora, un "clima local" para cada pensante. Ciertos hábitos de pensamiento, ciertas preferencias personales, ciertas actitudes emocionales, combinados con lo que el pensante realmente sabe, determinan que éste se pregunte: "¿Por qué *esto* ocurre así?" y también que acepte la respuesta: "Porque tal o cual cosa". Puesto que la ciencia es un intento de descubrir el orden de los acontecimientos naturales o de atribuirles un orden al cual son susceptibles, cualquier sistema que logre ordenar los hechos puede parecer aceptable. Su aceptabilidad dependerá del clima de opinión

El tipo de orden que ahora consideramos *científico*, no fue siempre el tipo aceptable. Es un lugar común que la Edad Media careció casi totalmente de modos de pensamiento científicos. Pero el pensador medieval tenía su propia manera de ordenar su universo. Su tipo de orden era intencional. Concebía que los sucesos naturales tenían lugar de acuerdo con los decretos de Dios. De tal suerte, todo lo que acontecía guardaba una relación esencial con el destino divinamente ordenado del hombre. La naturaleza, así considerada, era a un mismo tiempo ordenada e inteligible. Estaba ordenada para asegurar un fin, era inteligible en términos de un propósito. Desde este punto de vista, la pregunta correcta es: “¿Por qué?”, la respuesta correcta es, “Porque el resultado es *valioso*.” El recurrir al valor es final, señala la terminación del propósito.

En el comienzo del período científico, el énfasis se pone en la diferencia entre *¿Por qué?* y *¿Cómo?* Se insiste en que la segunda pregunta es la única adecuada acerca de los acontecimientos en la naturaleza. Ésta es la actitud científica, sólo que es comparativamente reciente. La pregunta “¿Por qué?”, es decir, “¿Para qué propósito?”, es la pregunta adecuada cuando nos interesan la agencia personal, divina o humana, y la operación de los motivos. Por ejemplo, un político ofrece un programa electoral. Propone una reducción en los impuestos sobre ingresos o un retorno a la franquicia postal barata. Deseamos saber *por qué* lo hace, qué objeto persigue. ¿Se trata de ganar votos o es una medida dictada por una política económica? Nuestra pregunta se basa en el supuesto de que los hombres obran en ciertas formas para producir un resultado que juzgan valioso. La respuesta en términos de valor, último o instrumental, nos satisface. Pero cuando preguntamos “¿Cómo?”, no hay referencia a un propósito, por lo tanto, el valor es impertinente. Podría suponerse que estas dos preguntas son tan diferentes que nunca se confundiría la una con la otra, que la primera siempre estaría confinada a las acciones y la segunda al acontecer de los sucesos naturales. Pero no siempre es fácil mantener la distinción entre estas preguntas, confiando cada una a su propia esfera. Como vimos al considerar la concepción activista de la causación, existe una tendencia, fuertemente arraigada en el pensamiento humano, a interpretar las ocurrencias naturales en términos de la propia experiencia del hombre, a dotar a la naturaleza de propósitos, y así, finalmente, a atribuir todo lo que sucede a los propósitos del Creador, Dios. La forma más primitiva en que se revela esta tendencia es la creencia en el animismo. W. H. Hudson describe esta tendencia como “ese sentido de algo en la naturaleza que para el hombre ilustrado o civilizado no existe, y en el niño hijo del hombre civilizado, admitiendo que tenga tal sentido, no es sino una débil supervivencia de una fase de la mentalidad primitiva. Y, al decir animismo, no me refiero a la teoría de la existencia de un alma en la naturaleza, sino a la tendencia, o impulso,

o instinto en que se origina todo mito, a *animar* todas las cosas; la proyección de nosotros mismos en la naturaleza, el sentido y la aprehensión de una inteligencia como la nuestra, sólo que más poderosa, en todas las cosas visibles”¹ Algo de esta actitud está presente cada vez que asimilamos los acontecimientos naturales a la experiencia humana. Ella pervive en la tendencia antropomórfica de la ciencia; está presente, en cierto grado, en la concepción medieval de la naturaleza que obra de acuerdo con leyes que Dios ha hecho. A ella se debe también la expresión “ley” en el caso de las uniformidades naturales.

Una interpretación basada en el propósito se llama teleológica. Sin embargo, el recurrir al valor no tiene que tomar necesariamente esta forma explícita. Los pensadores griegos también interpretaron la naturaleza de acuerdo con su concepción del valor. Su criterio no era el propósito moral, sino la belleza, su interpretación estaba determinada por su ideal estético de la elegancia, la perfección y la sencillez. Este elemento estético también está presente en las conocidas sentencias medievales “La naturaleza no hace nada en vano”, “La naturaleza trabaja con los métodos más simples” y “La naturaleza busca el camino más corto”. Sin duda, nos halagamos a nosotros mismos; hemos liberado nuestro pensamiento científico de recurrir al valor. Ciertamente nuestro ideal no está ya condicionado por la referencia al propósito, ni tampoco hacemos ninguna suposición explícita del valor. Por esta razón la época actual es una época científica; sus logros más grandes son logros de la ciencia, sus hombres más grandes son hombres de ciencia. Con todo, la elección entre las teorías científicas que se contradicen sigue estando determinada por consideraciones estéticas. La elección se hace siempre entre diferentes *clases* de orden. El orden medieval, que colocaba al hombre en el centro del universo cuya culminación era Dios, es reemplazado por un orden cuyo principio regulador es la sencillez. Nuestra creencia en el principio de la sencillez se debe indudablemente, en parte, al hecho de que, a menos que las leyes naturales sean en última instancia sencillas, es poco probable que las descubramos. En un próximo capítulo consideraremos la evidencia sobre la cual se basa esta creencia. Aquí debe ser suficiente señalar que hay dos clases de sencillez. Hay, primero, sencillez en la formulación de la ley misma, en segundo lugar, hay sencillez en la clase de elementos o entidades a los que se refiere la formulación. La ley newtoniana de la inversa del cuadrado es sencilla en ambos aspectos. El orden medieval poseía sólo la primera clase de sencillez. Pero aun esta sencillez quedaba, al final, reducida a los inescrutables propósitos de Dios. El ideal griego y el moderno es la sencillez de las leyes matemáticas.

¹ *Far away and long ago*, pp 224-225

§ 2 El desarrollo de la hipótesis

La forma en que se desarrolla una hipótesis científica y se libera gradualmente, en dicho desdovolvimiento, de los elementos antropomórficos, se puede ilustrar fácilmente con la ciencia de la astronomía. Por lo tanto, consideraremos con cierto detenimiento el desarrollo de las hipótesis ptolomeica y copernicana.

El problema consiste en explicar los movimientos observados de los cuerpos celestes y, particularmente, los de las "estrellas errantes", o sea los planetas. Se suponía que estos movimientos eran ordenados a pesar de su aparente irregularidad. En la actualidad todo escolar "sabe" que la Tierra es un planeta que gira alrededor del sol; que nuestro sistema solar no es sino uno entre muchos sistemas similares; que las "estrellas fijas" no están "realmente" fijas. Pero su conocimiento no está basado en lo que él *observa*, sino que es la aceptación de algo establecido por la ciencia. Como tal, se ha convertido en un factor en el contexto de su experiencia; es parte de su "clima de opinión". Siendo esto así, es importante considerar cuáles son exactamente los datos cuyo ordenamiento constituye un problema para el astrónomo.

El dato primordial es el cielo observado. El cielo no se puede tocar, sólo puede verse. Así, pues, el dato es enteramente visual. Supongamos que el cielo está siendo continuamente observado por un hombre inteligente que no sabe absolutamente nada acerca de las teorías astronómicas, antiguas o modernas. Por la noche verá una bóveda azul tachonada de puntos brillantes. A éstos les da el nombre de estrellas. La mayor parte de estos puntos permanecerán en una posición fija, pero otros cambiarán notablemente su posición relativa a los demás y al punto de vista del observador. A éstos les da el nombre de luna. A medida que el hombre observa, la luna se disco redondo y plateado con partes sombreadas. A este disco le da el nombre de luna. A medida que el hombre observa, la luna se mueve cruzando el cielo de oriente a occidente. A lo largo de noches sucesivas su forma cambia, se reduce a un delgado menguante, su aparición se hace más tardía. Luego, la luna no aparece. Después de un lapso de unas cuantas noches, vuelve a aparecer, como un delgado creciente a poca altura en el cielo. Algunas veces una sombra cobriza cae sobre la luna, empañando la luz. El hombre llama a esto un eclipse lunar. Durante el día, el hombre observa un disco amarillo y brillante, al que da el nombre de sol. Éste también se mueve cruzando el cielo de oriente a occidente. A diferencia de la luna, la forma del sol no varía, todos los días se levanta como un disco circular sobre el horizonte. Pero su tamaño y color sí varían. Los movimientos de la luna y el sol son periódicos, siguen un orden regular. Algunas veces, sin embargo, la luz del sol se eclipsa en mayor o menor grado. Estos eclipses ocurren en diferentes periodos del día. No trans-

curriría mucho tiempo antes de que nuestro observador se formara hábitos de espera definidos en lo tocante a la aparición del sol y la luna. Pero los planetas presentarían un problema más enigmático. Sus movimientos a través del cielo, relativamente a las estrellas fijas, son irregulares. La observación continua revelaría un movimiento de retroceso durante algunos periodos del año.

Estos, pues, son los datos que tienen que ser ordenados: los movimientos del sol, de la luna y de los planetas; los eclipses del sol y de la luna; la forma cambiante de la luna. Nuestro observador hipotético estaría en posesión de estos datos sólo si mantuviera un registro de estos movimientos durante un periodo de muchos años. Esos registros se han mantenido desde tiempos históricos muy tempranos. Los caldeos y los babilonios, colocados en condiciones sumamente favorables para observar el cielo, acumularon registros de los periodos del sol, la luna y los planetas. Registraron los eclipses y fueron capaces de predecir eclipses lunares. Así asentaron los cimientos de la ciencia de la astronomía.

Cualquier intento de explicar las diversas posiciones de los cuerpos celestes, es decir, de ordenar los datos de la astronomía, presupone que el observador no crea que el sol, la luna, las estrellas y los planetas sencillamente están allí donde él los ve. Hay *tanta regularidad* en sus movimientos, que el observador busca una explicación en alguna clase de orden. No es posible reseñar aquí los diversos intentos que se han hecho para explicar estos hechos.² Nuestro propósito se limita a ilustrar, por medio de un ejemplo definido, la manera como las hipótesis pueden desarrollarse hasta convertirse en una teoría comprensiva como la copernicana. Vale la pena, sin embargo, tomar nota de un tipo de explicación más primitivo, que se originó en un clima de opinión muy diferente del nuestro. Los antiguos egipcios, partiendo del supuesto de que el universo es como una caja grande cuyo fondo es la tierra y cuya tapa es el cielo, supusieron que las estrellas eran lámparas llevadas por los dioses o suspendidas con cuerdas desde la tapa de la caja. Se suponía que el sol era un dios, RA, conducido diariamente en una embarcación por un río del cual el Nilo era un afluente. Este dios nacía todas las mañanas y su fuerza crecía hasta el mediodía, cuando era trasladado a otra embarcación. Finalmente, durante la noche era llevado en otra embarcación de regreso al oriente. El eclipse del sol se explicaba mediante la suposición de que algunas veces una gran serpiente atacaba a la embarcación. Una suposición similar explicaba los eclipses lunares y las fases de la luna. Dreyer ofrece la siguiente explicación: "Al igual que el sol, la luna tiene sus

² Véase J. L. E. DREYER, *History of the Planetary Systems*, para una explicación amplia de los primeros sistemas astronómicos. Las diversas citas que aparecen en este párrafo han sido tomadas de Dreyer, de quien también he derivado principalmente mi descripción del sistema ptolemaico. También se puede hacer referencia a Sir OLIVER LODGE, *Pioneers of science*; W. M. SMART, *The Sun, the Stars and the Universe*.

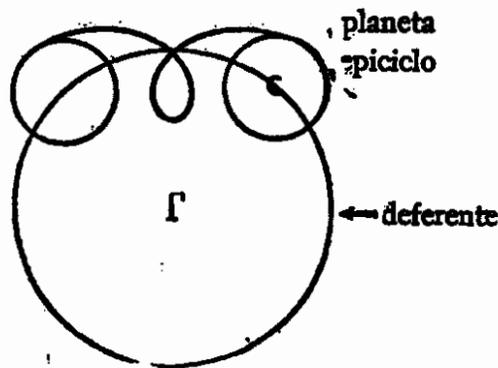
enemigos; una cerda la ataca el día 15 de cada mes, y al cabo de una agonía de quince días y de una palidez creciente, la luna muere y vuelve a nacer. Algunas veces la cerda logra tragársela del todo durante un breve tiempo, causando un eclipse lunar". Aun cuando estas suposiciones no entrañan una contradicción flagrante de los hechos en que se basan, y aun cuando son el resultado de un deseo de explicar estos hechos, esta teoría egipcia está clasificada justamente como mitológica. No es científica en modo alguno. Su carácter anticientífico no se debe al hecho de que descansaba sobre supuestos no probados. Toda teoría científica descansa, en última instancia, sobre tales supuestos. No es científica porque estos supuestos eran de tal naturaleza que no *podía* haber mayor evidencia en su apoyo. Eran esencialmente inverificables. No eran susceptibles de desarrollo, no sugerían la deducción de datos *observables*. Más aún, la suposición de que una cerda se tragaba periódicamente a la luna no concuerda con lo que se conocía acerca del comportamiento de las cerdas. El renacimiento continuo del dios Rá era una suposición que no se basaba en analogías conocidas con los cuerpos vivientes en la tierra. La teoría egipcia, por lo tanto, no podía ser desarrollada ni probada. Pero una teoría es sólo científica si admite la prueba y el desarrollo. El clima de opinión egipcio no era favorable a la producción de teorías científicas.

La teoría relacionada con Ptolomeo es cabalmente científica. Estaba basada en observaciones tan cuidadosas como extensas; estaba enunciada en el lenguaje preciso de las matemáticas, finalmente, descansaba en supuestos *explícitos*. Había tres supuestos: (1) que la Tierra es una esfera inmóvil en el centro del universo, (2) que los cielos giran alrededor de la Tierra y contienen el sol, la luna y los planetas, mientras que más allá de éstos se encuentra la esfera fija que contiene las estrellas; (3) que las revoluciones son circulares. El problema de Ptolomeo consistía en *determinar detalladamente* las trayectorias seguidas por el sol, la luna y los planetas. El tercer supuesto de Ptolomeo se derivaba de Aristóteles y sus seguidores. El círculo era considerado como la figura perfecta. En consecuencia, se suponía que los cuerpos celestes deben moverse en círculos, puesto que su movimiento debe ser perfecto. Aquí vemos cómo la referencia a nociones de *valor* parecía ofrecer una respuesta satisfactoria a la pregunta de *por qué* los cuerpos celestes se mueven como parecían moverse. Ptolomeo también derivó de Aristóteles su creencia de que la Tierra es inmóvil. Estos son los supuestos que hicieron necesaria la elaborada hipótesis conocida como sistema ptolomeico. No era difícil

³ Ptolomeo vivió en el siglo II de nuestra era. El sistema que lleva su nombre fue desarrollado, pero no creado, por él.

⁴ Ptolomeo respaldó este supuesto con el argumento de que, si la Tierra se moviera, su movimiento sería proporcional a su gran masa, de modo que los animales y los objetos lanzados al aire se quedarían atrás. Pero esto no sucede.

explicar la posición de las estrellas con base en el supuesto de que la Tierra es el centro del sistema giratorio, puesto que se observaba que las estrellas eran uniformes. Pero los movimientos de los planetas no concordaban con la teoría circular. Ptolomeo explicó estos movimientos como el resultado de la combinación de dos movimientos. Cada planeta gira alrededor de un círculo cuyo centro está en la circunferencia de un círculo imaginario alrededor de la Tierra como centro. Este círculo imaginario recibió el nombre de "deferente"; el círculo menor se conoce como un epiciclo. Por lo tanto, la trayectoria de un planeta tal como se la concibe desde la Tierra como un centro fijo, puede explicarse mediante la combinación de los dos movimientos: un círculo que gira alrededor de un círculo. Esta hipótesis explica el movimiento retrógrado del planeta en algunas etapas de su revolución. El siguiente diagrama simplificado muestra el movimiento planetario.



T representa la Tierra. El círculo mayor es el deferente. El planeta se mueve alrededor del epiciclo cuyo centro, c, se mueve alrededor del deferente. Por lo tanto, el planeta sigue la trayectoria señalada por la curva más oscura.

Debido al número de los planetas, a sus distancias variables de la Tierra y a sus ritmos variables de movimiento, Ptolomeo juzgó necesario introducir un gran número de epiciclos que giraran alrededor de otros epiciclos. Al desarrollar las consecuencias matemáticas de su sistema, Ptolomeo demostró ser un gran matemático. Logró explicar los movimientos observados. Es probable que no pensara en su sistema como un hecho físico. Dice Ptolomeo: "No pretendo ser capaz de explicar todos los movimientos al mismo tiempo, pero sí demostraré que cada uno de ellos está bien explicado por su propia hipótesis."⁵ Al empezar la teoría de una parte particular del movimiento del planeta, dice: "Imaginemos un círculo". Ptolomeo pudo desarrollar, así, una teoría satisfactoria cuyo único defecto era su complejidad. Es obvio que esta teoría es científica. El hecho de que haya sido

⁵ DREYER, p. 201

déscartada por ser prácticamente inútil no significa que no fuera una teoría propiamente científica. Es científica porque (1) ordenó los movimientos de los cuerpos celestes de una manera regular; (2) no supuso la existencia de nada que no pudiera ser observado, (3) no requirió la ayuda de ninguna actividad misteriosa e ininteligible, (4) todos los diversos movimientos fueron explicados por *un* tipo de hipótesis. Finalmente, puede observarse que Ptolomeo estaba claramente consciente de los supuestos en que se basaba, su teoría del movimiento planetario fue propuesta como una hipótesis capaz de ordenar los datos observables. Fue superada sólo cuando se presentó una teoría *igualmente* científica, pero matemáticamente más sencilla, capaz de explicar los hechos observados. Tal teoría la formuló Copérnico.⁶

No se sabe con certeza qué fue exactamente lo que llevó a Copérnico a sugerir que la Tierra y los planetas giran alrededor del Sol. Copérnico era un observador cuidadoso y versado en los sistemas astronómicos del pasado. Observó una marcada diferencia en la brillantez del planeta Marte cuando salía en la mañana y cuando salía al caer la noche. Esta diferencia sugería una distancia, en algunos periodos, mayor que la que permitía el sistema de los epiciclos. Pero este hecho no era suficiente para sugerir que la Tierra gira alrededor del sol. Es más probable que Copérnico se haya visto llevado a formular su hipótesis al descubrir que diferentes astrónomos tenían diferentes teorías epicíclicas. Su estudio de los filósofos griegos le reveló que otros hombres habían supuesto que la Tierra se movía. Dice Copérnico: "Inducido por esto, yo también comencé a pensar en un movimiento de la Tierra, y, aunque la idea parecía absurda, no obstante, dado que a otros antes que yo se les había permitido suponer ciertos círculos a fin de explicar los movimientos de las estrellas, pensé que se me permitiría de buen grado el intento de encontrar, sobre la base de la suposición de algún movimiento de la Tierra, mejores explicaciones de las revoluciones de las esferas celestes. Y así, suponiendo los movimientos que en el siguiente trabajo atribuyo a la Tierra, y después de una larga y cuidadosa investigación, he descubierto finalmente que cuando los movimientos de los otros planetas son referidos a la circulación de la Tierra y computados por la revolución de cada estrella, no sólo los fenómenos necesariamente se desprenden de ello al punto, sino que el orden y la magnitud de las estrellas y todos sus orbes y el cielo mismo están conectados de tal manera que en ninguna parte puede trasponerse nada sin que se cree confusión para el resto y para todo el universo."⁷ Así, pues, Copérnico rechazó el primer supuesto de Ptolomeo, a saber, que la Tierra

⁶ Copérnico vivió de 1473 a 1543. Su enunciación de la teoría no fue publicada hasta su muerte; está contenida en un libro titulado *De revolutionibus orbium caelestium*. Lo que ahora se llama el "sistema copernicano" no fue completado sino después de la labor realizada por Kepler y Newton.

⁷ DREYER, *op cit*, p 311

es el centro inmóvil del universo. Sobre el supuesto de que la Tierra es un planeta y gira con los otros planetas alrededor del sol, se descubrió una descripción matemáticamente más sencilla del movimiento planetario. Debe observarse que Copérnico no rechazó el supuesto de que los movimientos son circulares. Por lo tanto, todavía necesitó el supuesto de los epiciclos; pero pudo reducir grandemente su número. Más aún, su hipótesis admitía un desarrollo más fructífero que la de Ptolomeo, puesto que el complicado sistema de los epiciclos sólo podía explicar irregularidades que hubiesen sido concretamente observadas. Más aún, la hipótesis de Copérnico explicaba la relación entre el sol y los movimientos de los otros planetas, los cuales, según la hipótesis ptolemeica, seguían siendo hechos inconexos. Fue la comprensividad del sistema copernicano, debida a su comparativa sencillez, lo que lo hizo más aceptable que el sistema ptolemeico.⁸

Es importante advertir que ambas teorías eran estrictamente científicas, de suerte que la elección entre ellas tuvo que hacerse sobre bases estrictamente científicas. No habría sido imposible continuar explicando los hechos observados de acuerdo con la hipótesis de Ptolomeo, siempre y cuando se hubiesen introducido nuevos epiciclos para cada nuevo fenómeno celestial observado. Lo que es más: el testimonio de los sentidos se opone a la hipótesis copernicana. En realidad, vemos a los planetas cambiar sus posiciones; realmente observamos a la luna *ascender* en el cielo. No percibimos el movimiento de la Tierra. Es ciertamente difícil imaginar que la Tierra se esté moviendo a considerable velocidad, nuestro planeta parece una cosa maciza e inmóvil. Tampoco pudo Copérnico explicar todo lo que se desprendía del movimiento de la Tierra.⁹ Así, pues, ciertas objeciones bien pudieron haber sido presentadas por hombres de mentalidad científica contra esta teoría heliocéntrica. Es un error suponer, por ejemplo, que la oposición de la Iglesia Católica a la teoría copernicana no tuviera *nada* en su favor desde el punto de vista del hecho observable. Así nos vemos llevados a preguntar por qué la hipótesis copernicana desplazó al sistema epicíclico de Ptolomeo. La respuesta se halla en la mayor sencillez matemática del sistema heliocéntrico y en la mayor posibilidad de su desarrollo fructífero. No se halla en

⁸ Así, la hipótesis copernicana explicaba el hecho de que la consumación de ciertos epiciclos planetarios coincide con el periodo de la aparente revolución del sol alrededor de la Tierra. En la hipótesis ptolemeica estos dos hechos estaban desconectados.

⁹ Por ejemplo, sólo podía explicar la fijeza de las estrellas "fijas" sobre la base del supuesto de que éstas se encontraban a una distancia de la Tierra que entonces debe de haber parecido increíble. Esta dificultad no se eliminó hasta 1838, cuando Bessel descubrió el paralaje anual. Tampoco pudo Copérnico explicar el hecho de que un cuerpo proyectado verticalmente en el aire no caiga al occidente de su punto de partida, como parecería ser el caso si la Tierra girara.

su conformidad con el testimonio de los sentidos. Así, Galileo, hablando de este sistema, dice: "No puedo admirar lo suficiente la eminencia del ingenio de estos hombres, que lo han percibido y sostenido como verdadero, y con la vivacidad de sus juicios hicieron tal violencia a sus propios sentidos, que han sido capaces de preferir lo que su razón les dictaba a lo que los experimentos sensoriales les representaban contrariamente del modo más manifiesto. No puedo hallar límites para mi admiración de que la razón fuese capaz, en Aristarco y Copérnico, de imponerse tan violentamente a sus sentidos que a despecho de ello pudiera hacerse señora de su credulidad" ¹⁰ Ello no obstante, Galileo no dudaba de que esta imposición violenta de la razón sobre los sentidos era en última instancia justificable en términos de la experiencia sensorial. La teoría matemática puede dejar atrás la confirmación experiencial disponible, pero finalmente debemos "llegar a las demostraciones, observaciones y experimentos particulares" ¹¹ Tan convencido estaba Galileo de que "las matemáticas son el lenguaje en que está escrito el Libro de la Naturaleza", que no sintió la necesidad de hacer experimentos para verificar sus deducciones matemáticas. Pero cuando no se trata de deducción matemática, es preciso recurrir al hecho sensorial. Por ejemplo, los contemporáneos de Galileo argumentaban que la superficie de la luna debía ser brillante y uniforme, y que ninguno de los planetas tenía satélites. Por medio de su telescopio, Galileo pudo refutar ambas afirmaciones. Ya vimos en el capítulo xiv cómo Sizzi trató de argumentar contra el descubrimiento de Galileo. Cuando uno de sus adversarios rehusó mirar por el telescopio para someter a prueba la verdad de la afirmación de Galileo, éste escribió a Kepler:

"¡Oh, mi querido Kepler, cómo deseo pudiéramos reunirnos para regocijarnos juntos! Aquí en Padua está el principal profesor de filosofía, a quien he invitado repetida y urgentemente a que mire a la luna y los planetas a través de mi lente, a lo cual se niega pertinazmente. ¿Por qué no está usted aquí? ¡Cómo nos reiríamos de esta gloriosa tontería! Y de escuchar al profesor de filosofía en Pisa, forcejeando ante el Gran Duque con argumentos lógicos, como si fueran encantamientos mágicos, para borrar del cielo, por medio de hechicerías, a los nuevos planetas" ¹²

¹⁰ *Dialogues concerning two great systems of the world* (Londres, 1661), p. 301 (pub. 1632)

¹¹ *Ibid.*, p. 31. Cf. también p. 96: "Nuestras disputas son acerca del mundo sensorial, no acerca de un mundo de papel"; también *Two new sciences*, p. 4: "Sirvanse observar, caballeros, cómo ciertos hechos que al principio parecen improbables dejarán caer al recibir una explicación que incluso puede ser exigua, el velo que los ha mantenido ocultos y aparecerán en su desnuda y sencilla belleza"

¹² Citado por Sir OLIVER LODGE, *Pioneers of science*, p. 106.

Los "argumentos lógicos" del Gran Duque se derivaban de los escritos de Aristóteles en la medida en que los filósofos del siglo XVII eran capaces de entenderlos. Pero Galileo creía que Aristóteles habría estado de acuerdo con él si hubiese podido mirar por un telescopio. Galileo comprendía que el método de Aristóteles era esencialmente empírico. "Tengo por cierto —escribió— que él [Aristóteles] primero procuraba, con la ayuda de los sentidos, los experimentos y las observaciones que podía, para asegurar cuanto fuera posible de la conclusión, y que posteriormente buscaba los medios para demostrarla, pues éste es el procedimiento usual en las ciencias demostrativas"¹³ Los sentidos suministran los datos de nuestros problemas y a ellos también debemos recurrir para la prueba final de nuestras teorías. Pero los sentidos no bastan para *ordenar* los datos que proporcionan. Por lo tanto, la teoría matemática primero debe pensarse y luego probarse experimentalmente. La enunciación matemática debe ser exacta. Por ejemplo, no basta saber que los cuerpos caen con un movimiento acelerado; las relaciones matemáticas deben ser determinadas con precisión. Así, dice Galileo: "Tampoco esto es suficiente, sino que es necesario saber en qué proporción se efectúa tal aceleración; problema éste que, en mi opinión, nunca fue comprendido hasta ahora por ningún filósofo o matemático, aunque los filósofos, particularmente los peripatéticos [o sea, los aristotélicos], han escrito grandes volúmenes dedicados por entero al movimiento"¹⁴

Debido a que Galileo combinó la teoría matemática con la confirmación experimental, podemos hacer remontar hasta él el comienzo de la ciencia moderna. Él fue un supremo genio experimental, pero sus experimentos estaban controlados y dirigidos por la deducción matemática exacta.¹⁵ Por esta razón, su influencia ha sido la más importante en la determinación del actual clima de opinión científico.

§ 3 La prueba experimental de la hipótesis

No es difícil idear hipótesis ingeniosas y complicadas acerca de cómo *podieron* haber sucedido las cosas, siempre y cuando no nos interese observar cuidadosamente lo que *realmente* ha sucedido. La antigua explicación egipcia de los eclipses lunares era ingeniosa, pero, como hemos visto, no tomó suficientemente en cuenta los modos de comportamiento observados. La explicación del eclipse en términos de las posiciones relativas de la Tierra, la luna y el sol no sólo encajaba mejor con los hechos observados, sino que no requería la suposición de hipótesis que no *podían* probarse por medio del recurso a la experiencia observable. El método científico difiere de todos los demás

¹³ *Two great systems*, p. 37

¹⁴ *Ibid.*, p. 144

¹⁵ *Cf.*, más adelante, capítulo XVIII.

modos de pensamiento en virtud de este recurso en última instancia a la experiencia observable. El pensamiento del sentido común se apoya principalmente en la observación simple y acrítica, combinada con creencias vagas y no criticadas. Las matemáticas son enteramente deductivas; sus principios fundamentales ni se basan en la experiencia ni tienen que guardar necesariamente conformidad con ella. Los escritos históricos, en cuanto consisten en la reconstrucción imaginativa de acontecimientos pretéritos, son casi totalmente independientes de la confirmación experimental. Una teoría científica, sin embargo, es controlada y probada en cada etapa mediante el recurso a lo que sucede, es decir, mediante el recurso a lo que *podría* ser observado. Pero el recurso nunca se hace a la observación casual, se hace a la observación *dirigida*. Nada es más fácil que *observar mal*: suponer que uno ha observado lo que no está presente para que se le observe, o dejar de observar lo que podría haber sido observado. No existe tal cosa como la observación pura y simple. Un "hecho" científico es ya un dato interpretado, a menudo una generalización. Por lo tanto, al científico se le hace necesario elaborar sus observaciones, cotejar una observación con otra, y sus propias observaciones con las de otras personas. El científico coteja sus informaciones a fin de eliminar lo que ha sido llamado el factor *personal*. En otras palabras, el científico debe *experimentar*. Una teoría científica que no sea susceptible de la prueba experimental, carece de valor. El experimento es la observación deliberada a la luz de una expectación definida *en lo tocante a lo que se observará*. En este sentido, toda observación de los hechos que hayan sido deducidos de una hipótesis dada, es experimentación. El dueño del apartamento que, habiendo formulado la hipótesis de que le han robado, efectúa una búsqueda a fin de descubrir, por ejemplo, si sus cubiertos de plata han desaparecido, está probando experimentalmente la validez de su hipótesis. El *espera* un cierto resultado e investiga si ese resultado ha tenido lugar. Algunas veces, sin embargo, el "hecho" que el científico desea observar no se presentará a menos que él lo *haga* ocurrir. Entonces, el científico organiza deliberadamente las condiciones en que ocurrirá el hecho si es que su expectación no es errónea. Se ha hecho usual limitar la palabra "experimento" a esta observación deliberada bajo condiciones deliberadamente organizadas por el observador. Esta restricción es el resultado natural de la complejidad y la sutileza cada vez mayores de las teorías científicas y de la mayor destreza en la invención y manipulación del aparato científico. Pero, desde el punto de vista lógico, debemos reconocer que hay experimento allí donde haya observación *deliberada* de resultados *esperados*. Somos proclives a oponer las ciencias experimentales a las no experimentales. Existen, ciertamente, buenas razones para esta oposición. Pero lo que es importante es que el experimento nos permite *obtener* el resultado esperado. El experimento proporciona un medio de develar la complejidad de la naturaleza.

Mientras que nosotros oponemos las ciencias experimentales a las

no experimentales, el científico medieval oponía el experimento —es decir, la *experiencia*— al *razonamiento*. Así, Roger Bacon en el siglo XIII¹⁶ señalaba con ahínco la necesidad de la “ciencia experimental”, con lo cual daba a entender “el conocimiento basado en la experiencia”. En su *Magnum Opus*, donde trató de exponer el método correcto para descubrir la verdad acerca de la naturaleza, Bacon comenzaba su exposición insistiendo en la importancia de probar las consecuencias de una teoría recurriendo a la experiencia. Dice:

“Habiendo señalado los principios fundamentales de la sabiduría de los latinos en la medida en que se encuentran en el idioma, las matemáticas y la óptica, deseo exponer los principios de la ciencia experimental, puesto que sin la experiencia nada puede conocerse suficientemente. Pues hay dos maneras de adquirir conocimientos, a saber, por el razonamiento y por la experiencia. El razonamiento extrae una conclusión y nos hace conceder la conclusión, pero no hace que la conclusión sea cierta ni elimina la duda de modo que la mente pueda descansar en la intuición de la verdad, a menos que la mente la descubra por la senda de la experiencia; puesto que muchos tienen los argumentos relativos a lo que puede conocerse, pero debido a que carecen de experiencia descuidan los argumentos, y ni evitan lo que es dañino ni siguen lo que es bueno. Pues si un hombre que nunca ha visto un fuego probara, mediante el razonamiento adecuado, que el fuego quema y lastima y destruye las cosas, su mente no se daría por satisfecha con eso ni él evitaría el fuego hasta que colocara su mano o alguna sustancia combustible en el fuego, de modo que pudiera probar por la experiencia lo que el razonamiento le enseñó. Pero cuando él tiene una experiencia real de la combustión, su mente gana certeza y descansa en la completa luz de la verdad. Por lo tanto, el razonamiento no basta, pero la experiencia sí.”¹⁷

El razonamiento, es decir, el desarrollo deductivo de la hipótesis, debe entonces ser *probado* recurriendo a la experiencia. Roger Bacon, indudablemente, sobreestimó la certeza de la conclusión así probada. Pero indudablemente tenía razón al sostener que, sin dicha prueba, la teoría comparativamente carece de valor. Más aún, si una hipótesis conduce a la conclusión de que, bajo ciertas condiciones, algún acontecimiento definido tendrá lugar, entonces, si podemos producir esas condiciones, podemos “interrogar a la naturaleza”. Así, como dice Herschel, al experimentar “interrogamos a nuestro testigo, y comparando una parte de su evidencia con la otra, mientras él todavía está frente a nosotros, y razonando sobre ello en su presencia, podemos hacer preguntas agudas y penetrantes, cuyas respuestas pueden permitirnos llegar en seguida a una decisión.”¹⁸ La pregunta es *aguda*

¹⁶ Roger Bacon vivió de 1214 a 1294

¹⁷ *Magnum Opus*, trad. inglesa de R. B. Burke, vol II, p 583

¹⁸ A *preliminary discourse on the study of Natural Philosophy* (ed. 1842), p 77

porque *esperamos* la respuesta. Cuando Torricelli invirtió el tubo de cristal en la artesa de mercurio, esperaba que el mercurio se elevase, pues esa elevación se desprendía de su hipótesis. Cuando Galileo dejó caer dos balas de cañón de diferente peso desde la Torre de Pisa, esperaba que llegaran juntas a tierra. Cuando el Comité de la *Royal Society* planeó experimentos acerca de la presión del aire para ser llevados a cabo durante el ascenso a una montaña, esperaba que ciertos resultados definidos fuesen observables. También confiaban en que algunas observaciones inesperadas proporcionaran más datos para sus hipótesis, pues sabían bastante bien cuáles observaciones serían pertinentes. La simple observación, es decir, la observación sin interferencia deliberada en las condiciones, está bajo la dirección de la teoría tanto como lo está el experimento, si la observación es científica. El científico no es una persona que sólo observa, observa con un propósito, a saber, el propósito de descubrir datos pertinentes. Observa a la luz de una teoría sobre los hechos. Esta teoría puede ser muy vaga, sin embargo, dirige la observación del científico. Una teoría errónea puede ser la causa de una observación errónea; de aquí la necesidad de verificar y cotejar. El pensador científico estará preparado por el fracaso de sus expectativas. Tal fracaso, como veremos más adelante, puede ser fructífero. Los peligros a que está sujeta la observación expectante no la priva de valor. Como dice De Morgan: "Las hipótesis erróneas, correctamente trabajadas como punto de partida, han producido más resultados provechosos que la observación no guiada." ¹⁹

El experimento, en el sentido preciso, es imposible a menos que la hipótesis sea lo suficientemente definida para permitirle al científico formarse expectativas perfectamente definidas acerca de lo que sucederá bajo ciertas condiciones. Tal investigación experimental no está limitada a las ciencias físicas.

§ 4 El empleo de la hipótesis

Por lo que ya hemos dicho debe ser claro que no es posible establecer reglas precisas para la formación de hipótesis. Estas surgen del contexto de nuestra experiencia. Una hipótesis simple formulada para explicar un hecho o un conjunto de hechos comparativamente simples, puede ser sugerida por cualquier persona de sagacidad ordinaria, siempre y cuando tenga el conocimiento requerido de los hechos pertinentes. Toda hipótesis nace de la unión del conocimiento y la sagacidad. Ninguna de estas dos cualidades basta por sí sola. El conocimiento puede adquirirse algunas veces por medio de la observación paciente y el trabajo diligente, la sagacidad es un don del cielo. Finalmente, sólo una mente bien provista del conocimiento pertinente y adiestrada en los métodos de la ciencia es capaz de idear hipótesis.

¹⁹ *A budget of paradoxes*, volumen 1, p 87