

Capítulo 2

La ciencia como una actividad humana: su historia y su método

La larga historia del desarrollo de la ciencia en la civilización occidental, desde el siglo VI a.C. hasta la revolución científica del siglo XVII (que es una historia bastante corta dentro de la historia del *homo sapiens*) se ha contado en muchos y excelentes compendios de la ciencia y no la podemos volver a relatar aquí (véase, por ejemplo, Singer, 1941; Jeans, 1947). Lo que viene a continuación es solamente un breve bosquejo del armazón en el que se muestran algunas de las características importantes en la historia del movimiento de la ciencia. Su propósito es dar una descripción de la ciencia que, en capítulos subsecuentes, explicará la emergencia del movimiento de sistemas dentro de la gran envergadura de la ciencia en sí.

Es claro que no es posible escribir historia de manera objetiva. Como Popper (1957) señala, lo mejor que podemos hacer es escribir historia que sea consistente con un punto de vista particular. Debemos de hacer posible la formulación de ese punto de vista, abiertamente. Lo que sigue, entonces, es un bosquejo del desarrollo de la ciencia, que nos permite entender la naturaleza del pensamiento de sistemas como parte complementaria del pensamiento científico. El problema que se ha de resolver es el entender la naturaleza del pensamiento de sistemas y el explicar por qué el "movimiento de sistemas", ya consciente de sí mismo como tal, emergió a mediados de este siglo (Checkland, 1976).

La civilización occidental se caracteriza por una religión en particular, la de la tradición judeo-cristiana; por formas de arte y labores manuales que son propias de ella, y por tecnologías que van más allá de las desarrolladas por cualquier civilización previa. Las otras civilizaciones han tenido diferentes religiones, otras artes, otras tecnologías. Pero la civilización occidental es única en el sentido de que desarrolló una actividad humana organizada, desconocida para cualquier civilización anterior: la actividad que denominamos ciencia. Cuando, en la década de 1930, Joseph Needham comenzó su monumental estudio *Science and Civilisation in China*, consideró como su problema esencial la pregunta del por qué la ciencia moderna (por ejemplo, desde el siglo XVII) no se había desarrollado en las civilizaciones china o india, sino sólo en Europa (Needham, 1966). Concluye que la respuesta a esta pregunta es muy amplia, que involucra aspectos sociales y económicos, así como algunos puramente intelectuales. Si se le considera como un todo, la ciencia es un producto de la civilización occidental.

Sin embargo, más allá de ser solamente un producto, la ciencia es una invención de nuestra civilización -una invención cultural- y es probablemente la invención más poderosa hecha en toda la historia de la humanidad. Nuestro mundo, en el siglo XX, es esencialmente el mundo que ha creado la actividad de la ciencia, y no sólo creado físicamente en nuestras ciudades, nuestros transportes y nuestros sistemas de comunicación, sino también creado institucionalmente en nuestros procedimientos políticos y administrativos, en la manera en que organizamos nuestra sociedad. El racionalismo y el empiricismo, resultados gemelos de la revolución científica del siglo XVII, han influido toda nuestra civilización y no sólo a su tecnología más reciente. Ahora los frutos de la ciencia moderna saturan por completo con su influencia. La ciencia nos ha proporcionado conocimiento verificable sobre la manera en que funciona el mundo natural, y nos ha dado al menos la posibilidad del bienestar material, incluso en un planeta con recursos finitos, y también nos ha dado los medios para destruir toda la vida de éste, nuestro planeta.

Todo ello se lo debemos a la ciencia; y el inicio del proceso que condujo al desarrollo de la ciencia moderna se lo debemos a los griegos (Hutten, 1962).

El impulso detrás de la ciencia (*scientia*, *epistémé*) es el anhelo por conocer cosas, por averiguar el cómo y el por qué el mundo es como es. Esto difiere del impulso detrás de la tecnología (*techné*), que es el anhelo por hacer cosas, por alcanzar fines prácticos. Por supuesto, una vez que el método científico existe, puede existir la ciencia aplicada o una ciencia de las técnicas (Korach, 1966; Davies, 1965) pero "la urgencia por saber" y la "urgencia por hacer" son motivos diferentes, y no causa sorpresa que mucha tecnología (por ejemplo, que la alfarería, la manufactura del papel, la pólvora) fuera desarrollada mucho antes de que los griegos generaran la

sociedad en la que nació la perspectiva científica y se iniciará el ascenso de la ciencia que culminó en la revolución científica del siglo XVII.

La urgencia por saber, por averiguar cosas, que la ciencia satisface, tiene en su centro el mayor legado que los griegos nos dejaron: el arte del pensamiento racional. La historia del ascenso de la ciencia es la historia de la creación de esta arma invaluable, del hiato en su uso durante los “principios de la Edad Media” (siglos V al X) y de su recuperación en la época medieval, cuando los filósofos escolásticos crearon la cosmovisión medieval e introdujeron el pensamiento de Aristóteles dentro de la órbita de la fe cristiana (véase Fremantle, 1954). La visión del mundo medieval, con su ciencia aristotélica, sobrevivió hasta el estallido de la energía intelectual que conocemos como el renacimiento del aprendizaje, llevando a cabo el remplazo, la nueva visión del mundo creada por Copérnico, Kepler, Galileo y Newton: la visión del mundo que aún reconocemos como nuestra, a pesar de algunas modificaciones sofisticadas en el siglo XX (véase Santillana, 1956; Hampshire, 1956).

Ciencia griega

Siguiendo el pensamiento de Singer (1941), podríamos examinar brevemente los 900 años de ciencia griega, en términos de tres períodos. En el primer período, 600-400 a.C., se establecieron los fundamentos; Singer lo denomina “El ascenso de la coherencia mental”. En el segundo período, 400-300 a.C., se estableció el pensamiento de sistemas asociado con los atenienses Platón y Aristóteles, sistemas que por 2000 años generaron hombres educados con su visión del universo. En el tercer período 300 a.C. - 200 d. D, asociado con la ciudad de Alejandría y su biblioteca y museo, la ciencia profesional se separó de la filosofía, más general, y los conceptos establecidos en los períodos anteriores se elaboraron y explotaron en un rango de ciencias especializadas: geometría, astronomía, mecánica, geografía, medicina. La tabla 1a, al final de esta sección, proporciona un resumen.

Los fundamentos del arte del pensamiento racional fueron sentados por los griegos asiáticos que habían colonizado las playas de Asia Menor. Tales, un ciudadano de la ioniana ciudad de Mileto, especuló sobre inconstancia que acaso generaba la variedad manifiesta que vemos en la naturaleza. Lo que es importante es que estas especulaciones fueron de un tipo diferente a las que se hicieron en otras civilizaciones. Bertrand Russell (1946) remarca, en su pícara historia de la filosofía occidental, que es descorazonador que se les diga a los jóvenes estudiantes, dignos de respeto, que la filosofía comienza con Tales, quien dijo que ¡todas las cosas están hechas de agua! Esto no es justo para los griegos; no es justo mirar el contenido de la filosofía antigua a través del *Weltanschauung* del siglo XX. Si, en vez del contenido, observáramos el tipo de declaraciones que hizo Tales, y la naturaleza del mundo en el que las dijo, entendemos su importancia, ya que se trata del nacimiento de la especulación racional en un mundo supersticioso, cargado de mitos. Los babilonios, por ejemplo, tenían un mito en el que se decía que Marduk, un ser divino, había ocasionado que la tierra se secara al colocar una esterilla de junco y basura sobre las aguas. Ahora, el punto significativo es que Tales deja fuera a Marduk (Farrington, 1944). Los mitos de Tales y de sus filósofos contemporáneos fueron mitos racionales, que necesitaban ser lógicamente coherentes, sin el recurso de seres divinos, a través de quienes todo se podía “explicar”.

Tales fundó en Mileto una escuela filosófica, ahora conocida como “presocrática”, que formuló un número de cosmologías en forma de especulaciones razonadas acerca de la naturaleza de las cosas. Para Anaximandro, segundo miembro en importancia de la escuela, el agua, al igual que la Tierra, el vapor o el fuego, era una forma de una sustancia indeterminada, origen de todas las cosas. El mundo consistía en cosas que eran mezclas no permanentes de estos elementos, y así mostraban cambio constante, que era producto de la combinación y disolución de los elementos. Para Anaxímenes, el vapor era la forma fundamental, y los otros elementos se formaban por la rarefacción o la condensación.

El contenido de estas especulaciones ya no es importante, ¡aunque quizá podríamos preguntarnos acerca de las similitudes entre la “materia indeterminada” de Anaximandro y lo que sea que constituya el continuum de tiempo-espacio de cuatro dimensiones del universo de Einstein! Lo que es importante es el espíritu en el cual las especulaciones griegas se propusieron y el debate crítico en el que se confrontaron. Los griegos “argüían por el simple propósito de llegar a la verdad y con el argumento como arma principal: argumento que se empleaba

libremente, conscientemente, y que se desarrolló con cuidado dentro de un método técnico” (Richie. 1945).

Los métodos técnicos del argumento se desarrollaron durante algunos siglos, y con frecuencia como parte del contenido de las especulaciones, y no como parte separada de él. En el nacimiento de lo que se convirtió en ciencia, las preguntas de contenido y las preguntas de metodología se mezclaron inevitablemente. Sólo a partir de la revolución científica del siglo XVII, los científicos han podido dar por sentado el método para llevar a cabo investigaciones científicas; la historia de la ciencia es también la historia del método de la ciencia.

Siguiendo las especulaciones de la escuela milesiana, con su fundamento en la observación diaria del mundo, Heráclito, de Efeso, en Asia Menor, Introdujo un concepto diferente. Para Heráclito, no era un ingrediente en particular el que definía la unidad fundamental de la naturaleza, más bien era el proceso de cambio, o flujo. (Fue Heráclito quien dijo que no podemos bañarnos en el mismo río dos veces.) La unidad última es el logos o razón, que ordena y controla al flujo. La inteligibilidad del flujo es esa misma razón que nos permite conocer el mundo como inteligible (Wartofsky, 1968). El fuego es la metáfora que sirve de ejemplo a Heráclito para representar el proceso de cambio continuo que, sin embargo, gobierna el logos.

Heráclito fue un místico, y el concepto en su pensamiento es difícil. Pero también es muy importante para el desarrollo de la ciencia, porque en él está la articulación de una cosmovisión en la cual las leyes perennes gobiernan el proceso que yace bajo lo que nuestros sentidos perciben directamente. Ambos conceptos: nuestros sentidos pueden engañarnos, y el universo es regido por leyes y no es caprichoso, son fundamentalmente una parte de la perspectiva que nosotros llamamos científica. La historia de las ciencias naturales es la historia de los hombres que intentan ir más allá de las apariencias para establecer las leyes que gobiernan el fenómeno que observamos. No podríamos emprender la ciencia si creyésemos que el mundo es caprichoso; y no progresaríamos mucho si aceptáramos las apariencias con sus valores externos; después de todo, las apariencias nos dicen que la Tierra está obviamente en descanso, y que el Sol describe diariamente un gran arco sobre ella, de oriente a poniente.

Una vez hecha una clara distinción entre los sentidos y la razón, obviamente pudo haber debate acerca de qué es lo que sigue. Un protagonista en este debate fue Parménides de Elea, al sur de Italia. Donde Heráclito había declarado que “todo es flujo”, Parménides arguyó que “nada cambia”, que los sentidos nos engañan, y esa observación es interior al argumento lógico. Parménides y sus seguidores tuvieron argumentos, pero no evidencia, para esta visión. Sin embargo, lo que es importante aquí es el hecho de que a partir de los filósofos eleáticos provino una conclusión metodológica, al igual que con Heráclito: que el criterio para la realidad es el discurso racional, y que la condición para éste es que “lo que no se puede formular sin contradicción, no puede ser” (Warkoisky, 1968).

La ofensiva contra el abandono que Parménides hizo de la ciencia observacional provino de Empédocles de Sicilia. Él era un experimentalista importante y estableció al aire (en vez del “vapor”) como uno de los cuatro elementos básicos. Mostró mediante experimentos con vasijas llenas de agua que el aire invisible podía ocupar espacio y ejercer presión, y tuvo respuestas para “los tres problemas centrales de la ciencia griega” (Toulmin y Goodfield, 1962): ¿Cuáles son los principios estables detrás del flujo? ¿Qué proceso es el responsable de los cambios? ¿Qué órganos controlan este proceso?

Empédocles hizo una contribución importante a una tradición que los griegos comenzaron y que ha sido reinterpretada a todo lo largo de la historia de la ciencia: la tradición del atomismo. El iónico Demócrito había propuesto un mundo hecho de átomos eternos, de diferentes tamaños y formas, con vacío entre ellos. Un diferente tipo de contribución al atomismo provino de una fuente distinta y de una corriente de pensamiento griega distinta, la tradición religiosa, ejemplificada por los pitagóricos, en comparación con el materialismo de los ionistas.

Pitágoras fundó una secta, una hermandad religiosa en Crotón, al sur de Italia. Las reglas del orden pitagórico derivaban de un número de tabús primitivos (“abstenerse de las alubias”, “no mirarse en un espejo junto a una luz”, “no avivar el fuego con hierro”, etc.) y Russell (1946) describe a Pitágoras como una “combinación de Einstein y la señora Eddy”. Pero, mezclado con lo que para nosotros es una locura, los pitagóricos desarrollaron las matemáticas en la forma de argumento deductivo demostrable; y también fueron experimentalistas importantes (Jeans, 1947). Su concepto crucial era que el universo podía expresarse matemáticamente. El átomo de su atomismo era “número”, las relaciones matemáticas remplazaban los procesos físicos y la contemplación de las matemáticas aseguraba la pureza de las almas de los hermanos. Mucho de

nuestro pensamiento matemático deriva de los logros considerables de los pitagóricos, y quizá sintamos un poco de lástima por los miembros de la secta durante la crisis que los sorprendió cuando descubrieron que la longitud de la diagonal de un cuadro ($\sqrt{2}$) no se puede expresar como un número finito de unidades.

Mucha de la experimentación de los pitagóricos se ocupó de la física de la música; descubrieron, por ejemplo, la relación entre la longitud de una cuerda y la afinación de la nota que ésta producía cuando se pulsaba. Otra área que proporcionó parte de la base experimental para la ciencia griega fue la medicina.

A menudo se ha enfatizado, a pesar de los pitagóricos, a pesar de los correligionarios de Empédocles, que la ciencia griega no fue una ciencia experimental: que fue una ciencia “en la cabeza”, más que una ciencia en el mundo. En realidad parece ser que los griegos comenzaron a explicar, sin el recurso de seres divinos como causas, los funcionamientos del universo tal y como los conoce cualquiera que haya vivido en el mundo y que, por ello, haya observado los cielos, las estaciones cismáticas en cambio, las acciones del fuego y del agua, etc. Si el problema de usted es la manera en que el mundo funciona, y sus orígenes, entonces no es obvia la idea del tipo especial de observación controlada que ahora llamamos “un experimento”. Por otra parte, si su problema es el de la medicina, si está ansioso por hacer lo que pueda para preservar la salud del cuerpo, entonces la lógica del problema en sí mismo insiste sobre una gran confianza en la observación, y, en particular, obligará a que las teorías y conjeturas se verifiquen. Quizá no sea obvia la manera en que se verifique la explicación racional del flujo y contraflujo de las mareas que usted dé, pero sus ideas sobre cómo preservar la salud de sus pacientes tenderá a verificarse automáticamente mediante la ;tasa de mortandad!

La transformación de la medicina griega en un procedimiento científico se asocia con el nombre de Hipócrates, quien llegó de la isla de Cos. Se dice que vivió hasta los 100 años y que tuvo muchos seguidores. Felizmente, muchos de sus escritos se conservaron en la colección hipocrática, en la Biblioteca de Alejandría; en esos escritos se revela la emergencia del empiricismo como principio de la ciencia. Los escritos insisten sobre lo que podríamos identificar como el método inductivo. Vituperan acerca de una especulación *a priori*, insisten en la observación del paciente, se rehúsan a especular sobre lo que no se puede verificar, pero denotan ansiedad por generalizar a partir de la experiencia verdadera. Hipócrates puede parecernos Increíblemente moderno:

en la práctica médica, uno no debe poner atención primeramente a las teorías plausibles, sino a la experiencia combinada con la razón... Yo apruebo la teorización, si ésta se fundamenta en el incidente y deduce sus conclusiones de acuerdo con el fenómeno.

Farrington (1944) identifica en las doctrinas hipocráticas la primera emergencia de la idea de la ciencia positiva.

Después de la era heroica brevemente bosquejada, en la cual se formularon por vez primera muchos de los componentes de la perspectiva científica, viene un cambio de énfasis distinto. El gran pensamiento de sistemas que Platón y Aristóteles desarrollaron y expusieron en Atenas durante el período que va de 400 a 300 a.C., fueron esencialmente metafísicos y no tanto científicos. Jeans (1947) toma una visión extrema de sus efectos sobre la física:

Cuando la física estaba todavía en su estadio primitivo de desarrollo, encontró dos desastres mayúsculos en las actitudes de dos grandes pensadores: Platón y Aristóteles... La actitud de Platón fue el desastre número 1 para la física, pero cosas peores habrían de venir de su pupilo, Aristóteles...

El cambio de énfasis comienza con Sócrates, maestro de Platón. Él se oponía a investigar en la naturaleza, aun más, se oponía a todo el programa de la escuela iónica, desde Tales hasta Demócrito. Su preocupación fue el comportamiento del hombre aquí en la Tierra, y lo que constituía el comportamiento, que a su vez habría de asegurar que, cuando los hombres muriesen, sus almas habrían de regresar al cielo. Sin embargo, se asocia a Sócrates generalmente con el uso sistemático del método dialéctico, es decir, con la búsqueda de conocimiento mediante pregunta y respuesta, que es una contribución importante al método científico. La dialéctica alienta la discusión crítica que analizará los argumentos y premisas y revelará inconsistencias. Sin tal discusión crítica no puede haber ciencia. Popper (1963) señala que la expresión griega

para la palabra dialéctica se puede traducir como “el uso argumentativo del lenguaje”, y encabeza su escrito intitulado “¿Qué es la dialéctica?” con una cita de Descartes, que es un comentario mordaz no divulgado sobre la necesidad de ella: Descartes dijo “No hay nada tan absurdo o increíble que no haya sido enunciado por uno u otro filósofo”.

A Platón, cuya academia en Atenas duró 900 años, no le gustó el mundo como lo vio, y se mostró hostil hacia la ciencia de la naturaleza. Debido a que el mundo de las apariencias es engañoso, y en cualquier caso está en estado constante de flujo -como Heráclito había enseñado- Platón coloca la realidad final en el mundo de la inteligencia, en ideas, en el concepto “rojeza”, en vez de en la manifestación de éste en cualquier objeto rojo en particular. La inspiración de Platón fue la geometría, que vio que expresaba la perfección eterna del mundo de las ideas a través de la expresión de sus certezas. Sobre la entrada de la Academia estaba un anuncio que decía: “Que no entre nadie que no sepa geometría”, y puso a sus pupilos a encontrar las reglas por las cuales el movimiento del Sol, la Luna y los planetas se podía reducir a esferas y círculos “perfectos” lo cual se convirtió en la tarea de la astronomía desde ese momento hasta la época de Kepler.

La actitud de Platón hacia el mundo material bien pudo haber sido desastrosa para los físicos, como sugiere Jeans, pero influyó y, en última instancia, fue valiosa pues ayudó a establecer la creencia de que al expresar los funcionamientos del mundo matemáticamente se da un paso útil e importante más allá de la mera descripción cualitativa. Y su cosmología, en términos de las figuras sólidas geométricas básicas, muestra la economía que se aprecia tanto en la explicación científica.

Aristóteles, pupilo de Platón, fue el hijo de un físico de la corte en Macedonia, y fue probablemente el pensador más influyente en la historia de la ciencia desde 600 a.C. hasta el siglo XVII. Lo que hubo entonces fue una revolución intelectual precisamente en el sentido de que un modelo completo, autoconsistente, en el universo, el de Aristóteles, se tuvo que echar abajo antes de que se pudiera dar el paso fundamental hacia la creación de la ciencia moderna. La cosmovisión total de Aristóteles se incluye en trabajos sobre física, lógica y metafísica, ética y política, así como biología. Irónicamente, sus escritos sobre biología, que relativamente no fueron aceptados, ahora parecen ser más modernos científicamente; su física, que Jeans encuentra tan desastrosa para el desarrollo de la materia, tuvo, sin embargo, más influencia.

En el período después de la muerte de Platón, Aristóteles trabajó sobre la biología marina, pero, encarado con la complejidad del fenómeno, perdió la esperanza de encontrar explicaciones expresadas en abstracciones matemáticas platónicas. Las formas matemáticas perfectas no son modelos útiles para las plantas, animales y seres humanos, concluyó. Los procesos que se llevan a cabo en estas cosas necesitaron estudio cuidadoso; y Aristóteles tomó como paradigma básico lo que él vio como el desarrollo dirigido de las cosas vivientes. En contraposición a las enseñanzas de su maestro, Aristóteles concluyó que las ideas no existían de manera separada de su encarnación en objetos del mundo. Por el contrario, los objetos exhibían un esfuerzo por alcanzar su fin verdadero (*telos*), y “el final encarnado”, o entelequia, era el objeto de estudio científico. (Es interesante observar que en las postrimerías del siglo XIX y comienzos del XX, en la controversia biológica sobre si los organismos están o no dotados con un vitalismo misterioso -controversias muy importantes para la emergencia del movimiento de sistemas-, encontramos la palabra “entelequia” revivida. Qué lástima, en el siglo XX, al igual que en el año 300 a.C., se crea un nombre que no da una explicación. La última, en el pensamiento moderno de la ciencia, requiere la elucidación de cadenas de causas y efectos, y predicciones verificables.)

Aristóteles hizo del análisis teológico el método de la ciencia, cuando lo aplicó tanto a los fenómenos físicos como a los biológicos. Su explicación de lo que es un eclipse de luna se convierte en la afirmación de que corresponde a la naturaleza de la luna el eclipsarse. Así, él construye su cosmovisión. Aquí en la Tierra se pensaba que las cosas estaban hechas de los cuatro elementos comunes: tierra, aire, fuego y agua; que contienen pares de las cuatro calidades: calor, frío, aridez y humedad. A excepción de la luna, la materia era incorruptible y consistía en la “quintaesencia”, el quinto elemento. Era natural de los cuerpos celestiales incorruptibles el girar alrededor de la Tierra en movimiento circular “perfecto”, desplazándose en esferas cristalinas dirigidas por el Supremo Movilizador, que Aristóteles identificó con Dios.

Una vez más, el principal interés no se centra ahora en el contenido de las especulaciones (conjeturas a las que se ha refutado por no mantener nuestro interés durante largo tiempo), sino en las contribuciones hechas a la tradición emergente del estudio científico del mundo y sus fenómenos, en contraposición a las tradiciones de lo oculto, lo poético o mitológico.

El énfasis de Aristóteles sobre la función o proceso, comparado con el énfasis de Platón sobre la forma o estructura, funda una tradición que conduce al empiricismo, justo como el pensamiento de Platón conduce al racionalismo. Además, el énfasis de Aristóteles sobre la pregunta: “¿Cuál es la naturaleza fundamental de este objeto?”, que conduce a una visión sobre la importancia de la clasificación por función, por otra parte lleva a la formulación de la forma clásica del argumento deductivo: el silogismo. El ejemplo familiar: Los hombres son mortales; Sócrates es un hombre; luego Sócrates es mortal, quizá ahora parezca trivial, pero la generalización de la forma de un argumento en esta manera es un paso importante hacia el trabajo consciente sobre la metodología de la ciencia, en contraposición con el contenido del argumento.

Finalmente, se debe mencionar que Aristóteles mismo mostró un claro entendimiento de la naturaleza temporal que tienen las hipótesis científicas y, por ello, del terrible esfuerzo por lograr la objetividad que demanda la lógica de la ciencia, ¡no obstante que el comportamiento de los científicos no siempre muestra esto! En sus *Metafísicas* él escribe:

...debemos en parte investigar por nuestra cuenta, en parte debemos aprender de otros investigadores, y si aquellos que estudian esta materia se forman una opinión contraria a lo que nosotros hemos enunciado ahora, debemos tomar en cuenta ambas facciones y, sobre todo, debemos seguir a la más exacta.

No es una ofensa para Aristóteles el decir que sus conjeturas frenaron a la ciencia, ya que lo hicieron sólo en el sentido de que no fueron refutadas durante más de 20 siglos.

A partir de la muerte, en 323 a.C., de Alejandro el Grande (cuyo tutor fue Aristóteles), el imperio alejandrino se fragmentó. El general Ptolomeo creó una dinastía en Egipto y la ciudad de Alejandría se convirtió en el centro del mundo científico. Durante 500 años atestiguó y registró el desarrollo de la ciencia en la forma de una serie de especialidades: geometría, astronomía, geografía, mecánica, medicina. Por primera vez la ciencia emergió como una actividad profesional diferente de la filosofía. Estratón, quien fue uno de los sucesores de Aristóteles como guía en el Liceo de Atenas, fue criticado por su interés en la investigación de la naturaleza en vez de la ética, y con él “alcanzamos el punto en el cual la ciencia griega establece por completo una técnica de experimentación” (Farrington, 1944). Euclides juntó el conocimiento de la geometría que se había estado acumulando por cientos de años y le dio a éste la magnífica presentación lógica de sus *Elementos de geometría*. Ningún libro que se haya usado como texto escolar ha sobrevivido durante tanto tiempo. Aristarco arguyó la existencia de una cosmología heliocéntrica, e intentó el cálculo geométrico de las distancias relativas de la Tierra al Sol y a la Luna. Arquímedes hizo diversas contribuciones a las matemáticas y a la mecánica. Hiparco, y más tarde Ptolomeo, hicieron observaciones astronómicas exactas, éste último propuso un grupo complejo de movimientos epicíclicos para explicarlos movimientos que, se observó, efectuaban los planetas. Galeno de Pérgamo, en Asia Menor, centro rival de Alejandría, estableció mediante numerosas disecciones de animales el tratado de fisiología que sobrevivió aun hasta el siglo XVI.

Hacia la tercera centuria de la era cristiana, la ciencia griega estaba en decadencia. En ese período de la historia fue posible que la perspectiva científica se abandonara, cosa que ya no sería posible después del siglo XVII. La civilización griega en decadencia pudo dar la espalda a la ciencia, porque la ciencia de los griegos era, en palabras de Singer (1941), “una manera de mirar el mundo en vez de una manera de encarar al mundo”. Después del siglo XVII, la ciencia no sólo dio una imagen del mundo: cambió y transformó al mundo de un modo en que la ciencia griega no lo hizo.

La declinación de la ciencia griega fue en parte la declinación de la civilización que la había generado, y aunque las ideas griegas tuvieron influencia poderosa sobre la civilización romana, los romanos no continuaron el trabajo científico que los griegos comenzaron, no obstante que fueron buenos ingenieros y fontaneros.

Si este breve resumen se ocupara de los contenidos de la ciencia, con sus teorías cambiantes y sus logros positivos, sería necesario, por supuesto, el cubrir períodos más cercanos a nuestros tiempos con cada vez mayor detalle. Debido a que se ocupa sólo de los temas principales en la emergencia de la ciencia como tipo particular de actividad humana, esto no es necesario; por ello basta con describir algunos de los sorprendentes descubrimientos que los admirables griegos hicieron para definir y refinar este nuevo tipo de empeño humano, no obstante que el contenido de mucha de su ciencia subsecuentemente hubo de abandonarse.

El logro griego más importante consistió en apartar la explicación de los funcionamientos del mundo, de los dominios de la religión y la magia, y en crear un nuevo tipo de explicación (la explicación racional) que fue la materia de un nuevo tipo de averiguación. A menudo se ha acentuado el contraste, por ejemplo, entre la astronomía griega y la babilónica. Los babilonios tuvieron muchas técnicas para predecir los movimientos de los cuerpos celestiales, pero estas técnicas estaban totalmente desligadas de los mitos por los cuales explicaban a los cielos. Crombie (1969) arguye que cuando los griegos unieron la explicación y la predicción se dio el paso crucial para establecer el movimiento de la ciencia:

... los griegos dieron el paso decisivo en la cosmología de la búsqueda de explicaciones conectadas deductivamente con los medios de la predicción, el paso por el cual establecieron la tradición científica europea, tan distinta, por ejemplo, de la astronomía babilónica, pues había una disyuntiva lógica total entre las predicciones tecnológicas altamente desarrolladas y los mitos que servían de explicación...

Además, le debemos mucho a los griegos por sus ideas acerca de la representación matemática (aunque el concepto de la representación matemática de las apariencias - en contraposición al concepto platónico de la geometría como realidad - tuvo que esperar épocas posteriores) y también les debemos el desarrollo de las formas del argumento racional. Finalmente, hubo una tradición, vía Empédocles y los médicos hipocráticos, sobre la importancia de la *observación*.

Algunas cosas de las que carecía la ciencia griega, y que iban a aparecer mediante las escolásticas medievales y mediante los científicos del siglo XVII, fueron un agudo sentido de la importancia de la observación deliberadamente artificial en experimentos controlados, la importancia del argumento inductivo en vez del argumento deductivo, el uso de las matemáticas para representar el fenómeno observado y, quizá lo más importante, el concepto de una función social de la ciencia, es decir, que puede mejorar el control sobre el mundo material y reducir la necesidad de la labor física. La falla de la ciencia griega por desarrollar esta función social fue quizá inevitable en la sociedad basada en la esclavitud, en la cual la ciencia fue un estudio liberal para las clases educadas. Para que apareciese el concepto de “ciencia positiva” en este sentido, tenemos que esperar la figura de Francis Bacon, en el siglo XVII. Pero antes de alcanzar dicho estadio, los escolares medievales habían hecho importantes contribuciones a la metodología.

Tabla la. Algunos pensadores y experimentadores importantes en el desarrollo de la ciencia.

1 Ciencia griega

IONIA	Tales	c. 624-565 a.C.	Los filósofos naturales de Ionia.
	Anaximandro	c. 611-547 a.C.	Creación de mitos racionales acerca del universo;
	Anaxímenes	c. 570- ¿ ? a.C.	discusión crítica de ellos.
	Heráclito	c.540-475 a.C.	El “cambio” como principio unitario que subraya la apariencia de las cosas; una distinción aguda entre el sentido y la razón.
	Demócrito	c.470-400 a.C.	El mundo en forma de átomos y espacio, cualidades atribuidas a nuestros sentidos.
MAGNA GRECIA	Parménides	siglo V a.C.	El ataque a la ciencia observacional, aseveración de la primacía del pensamiento lógico. Desarrollo de las condiciones para discusión racional: “lo que no se puede formular sin contradicción no puede ser” (Wartofsky, 1968).
	Zenón de Elea	siglo V a.C.	
	Empédocles	c.500-430 a.C.	Defensa de la ciencia observacional; el mundo formado por mezclas de los elementos básicos: Tierra, Aire, Fuego, Agua.

	Pitágoras	c.582-¿ ? a.C.	La tradición religiosa (anti-ioniana); la tradición matemática. La unidad central: el número. La estructura última del mundo se considera su forma matemática.
	Hipócrates (de Cos en Asia Menor)	c.460-¿ ? a.C.	Empericismo: la verdad emerge de la observación cuidadosa y verificación de la práctica exitosa.
ATENAS	Sócrates	470-399 a.C.	El método dialéctico: el descubrimiento mediante la pregunta y la respuesta.
	Platón Aristóteles	428-347 a.C. 384-322 a.C.	La realidad última expresada en ideas. La verdadera perfección del universo (detrás de las apariencias externas) se puede expresar matemáticamente. Las ideas no están separadas de su encarnación en los objetos. La clasificación por función como principio fundamental de la ciencia: el mundo visto como una lucha teológica de las cosas por alcanzar sus naturalezas verdaderas. Una cosmovisión comprensible que permaneció intacta durante 2000 años.
ALEJANDRÍA	Estraton Euclides Aristarco Arquímedes Ptolomeo Galeno	Siglo III A.C. c.330-260 a.C. c.310-230 a.C. 287-212 a.C. a.D. ¿? -c. 168 a.D. 131-201	La ciencia profesional, principalmente en Alejandría. Elaboración y explotación de los conceptos fundados en escuelas anteriores. Trabajos en geometría, astronomía, geografía, mecánica y medicina.

Ciencia medieval

Se pensaba que la revolución intelectual que creó a la ciencia moderna 150 años después de 1600 fue un suceso repentino, como resultado del trabajo de algunos pensadores y experimentadores de gran genio. Johannes Kepler, uno de dichos hombres de gran genio, escribió que Europa durmió durante 1000 años; y Emmanuel Kant, en un escrito de 1787, declaró que “en el estudio de la naturaleza se introducía ahora los seguros métodos de la ciencia, después de que dicho estudio de la naturaleza no había hecho nada por muchas centurias, sino andar a tientas en la oscuridad” (Smith, 1972). La postura contraria, es decir, que la ciencia moderna se puede ver como una evolución, resultado de una tradición continua que data de los tiempos medievales en los cuales la ciencia griega se volvió a recuperar después de la Edad Media, se ha desarrollado como resultado de las investigaciones, comenzando con aquéllas del escolar medieval Pierre Duhem (Basalia, 1968). Duhem escribió acerca de la mecánica y la física, que se desarrollaban “a través de series ininterrumpidas de mejorías difícilmente perceptibles a partir de las doctrinas que se enseñaron en las escuelas medievales”. Seguramente, podemos decir que algunos de los componentes de lo que ahora nosotros identificamos como la perspectiva científica luchaban por expresarse en el trabajo de los clérigos medievales, y es necesario el enfatizar algunos de ellos aquí. Una vez más, el asunto principal no es el contenido de la ciencia medieval (bien descrito, por ejemplo, por Crombie, 1969, donde existe una bibliografía extensa), sino únicamente la emergencia de ideas que ahora podemos considerar que ayudaron a definir lo que queremos decir con “científicos”. En su día, por supuesto, esas ideas fueron apoyadas a la par de muchas que ahora consideraríamos como tonterías, pero su significación no se ve afectada por el hecho de que es sólo a través de la retrospectiva que podemos separar dichas ideas que al final se volvieron significativas para formar el concepto de “ciencia”.

Hacia 750 a.C., los árabes crearon un imperio musulmán, desde España hasta China, absorbiendo tanto el conocimiento como el territorio. A los árabes les debemos algunos conocimientos sobre la óptica y la alquimia; pero, sobre todo, les debemos la forma en la cual escribimos ahora nuestros números, junto con la importante invención de un signo para representar al cero, lo cual posibilita la creación de un entero y que éste sea significativo, y hace que las matemáticas que hoy conocemos sean posibles. (¡ Los romanos simplemente no podían multiplicar XVIII por XXVI !) Sin embargo, durante el desarrollo de la ciencia moderna, la contribución más importante que los árabes hicieron se expresa probablemente a través de su papel como traductores y conservadores de los textos griegos. Fue a través de los textos árabes traducidos que el conocimiento griego estuvo disponible en las universidades medievales y en las órdenes monásticas.

Una vez que el siglo XVII hubo forjado el arma (la ciencia experimental) que se podía usar para averiguar cómo funciona el mundo, el interés por la misma se centró principalmente en los problemas que la ciencia podía resolver. En los siglos XIII y XIV, sin embargo, el problema fue sobre todo de índole filosófica: ¿qué tipo de conocimiento es el que da la ciencia? La ciencia fue también la filosofía de la ciencia (Crombie, 1969), y el problema fundamental fue el debate entre los “realistas” y los “nominalistas”. ¿La calidad de “blancura” tiene una existencia independiente (la postura realista) o es significativa sólo en su encarnación en objetos blancos, como los nominalistas arguyeron? (Freemantle, 1954). El debate es el mismo que más tarde se irguió entre los racionalistas y los empiricistas. Mientras tanto, en el Oxford del siglo XIII, se encaraban los problemas metodológicos de la inducción. El trabajo biológico de Aristóteles le había llevado a discutir la observación y la clasificación; aunque fue un precursor de la derivación de generalizaciones a través de la inducción, en la mayoría de su pensamiento (al igual que en el de Platón), su interés principal fue la deducción de conclusiones a partir de premisas incuestionables. En ese momento, Robert Grosseteste y sus seguidores escribieron acerca del problema de la emergencia de preguntas metodológicas y sobre cómo investigar los fenómenos para así generalizar acerca de ellos, además de sobre cómo distinguir las generalizaciones verdaderas de las falsas. Grosseteste, dentro de lo que fue esencialmente un armazón de pensamiento aristotélico, propuso reglas para el examen inductivo de fenómenos y propuso el uso de experimentos deliberadamente diseñados para comparar y elegir entre teorías rivales (Crombie, 1953). Él mismo realizó trabajos experimentales sobre la óptica, utilizando lentes y espejos, y eligiendo a la luz como fenómeno de investigación, debido a la importancia de ésta en la Creación.

Uno de los seguidores de Grosseteste, franciscano como él, fue Roger Bacon, cuyos escritos dieron un aliento adicional para el espíritu experimentalista. Como hombre de su tiempo, sus intereses se extendían a la astrología y a la alquimia, pero sin embargo, arguyó que el conocimiento científico se debía adquirir mediante el experimento, que la expresión matemática era esencial; y buscó con imaginación avizorante los resultados prácticos de la ciencia, por ejemplo, carruajes impulsados mecánicamente y máquinas voladoras, con un estilo que anticipa la llegada de su homónimo Francis Bacon. He aquí una cita del *Opus Majus* de Roger Bacon, en la que se ilustra el gusto moderno de éste:

... existen dos formas para adquirir conocimiento, es decir, a través del razonamiento, y la experiencia. El razonamiento deriva una conclusión y hace que tomemos por cierta a ésta última, pero no hace que en sí la conclusión sea certera, ni tampoco remueve las dudas... a menos que la mente la descubra a través del método de la experiencia.... Y, si centramos nuestra atención en las experiencias que sean particulares, completas y certificadas... es necesario adoptar los principios de esta ciencia que se denomina experimental, para así avanzar.

Un tercer franciscano, William de Ockham estuvo, al igual que Grosseteste, interesado en la lógica de la inducción. Ockham es importante para el desarrollo de la idea de la ciencia, aunque con frecuencia no se le mencione en las historias de la ciencia. Es importante, primeramente, porque su examen de la inducción centró la atención en la observación como medio necesario para descubrir hechos acerca del mundo; en segunda, debido a la importancia fundamental (en la estructuración de explicaciones científicas) del principio que conocemos como la rasuradora de Ockham. Éste, generalmente, se formula en esta forma: “las entidades no se multiplicarán sin necesidad” o “cuando se confronten explicaciones contrarias, aceptemos la más simple”. La

historia de la rasuradora se puede rastrear y llegamos así hasta Aristóteles (quien dijo que la “naturaleza opera de la manera más expedita”) y a Duns Scotus, otro fraile franciscano de Oxford, una generación más vieja que la de Ockham.

Bertrand Russell (1946) opina de la rasuradora de Ockham: “He encontrado que éste es el principio más fructífero en el análisis lógico”. Su importancia reside en el rigor y precisión que introduce en la discusión cualitativa. Esto debido al hecho de que existe solamente una explicación o descripción de algo que es mínimo, mientras que existe una infinidad de explicaciones que introducen a otras entidades. Una proposición se define perfectamente cuando se encarna en una formulación que satisface el principio, y proporciona una base firme que se puede amplificar cómo y cuándo, y sólo cómo y cuándo, emerjan nuevos hechos que requieran ser incorporados. Si este principio no se sigue, entonces surgen preguntas sin respuesta relativas al criterio para incluir o excluir otros factores. La adherencia a la descripción o explicación mínima necesaria asegura que el examen de las hipótesis y la evidencia en pro o en contra de ellas seguirá siendo coherente.

En su tiempo, la valentía de las expresiones de Ockham y sus incursiones en la esfera de la política papal lo metieron en problemas con las autoridades de la iglesia. Aunque a menudo aseveró que estaba listo a doblegarse ante la autoridad de la iglesia, su pensamiento se unió a una tradición que estaba ganando fuerza y que con el tiempo se volvería importante; en otras palabras, que la razón y la fe estaban separadas, y que la razón carente de auxilio no podía conseguir la demostración de la existencia del ser al que la iglesia denomina “Dios”.

Finalmente, a Ockham, aunque escribió dentro de un marco de trabajo aristotélico, se le ha reconocido como parte del movimiento que eventualmente derrotó a la física de Aristóteles y a la cosmovisión encarnada en ella. Duhem identifica en la teoría del movimiento de Ockham una formulación temprana de la idea de la inercia (donde la teoría de Aristóteles requiere, aunque infortunadamente no encuentra, una causa de movimiento local continuamente activa, si un cuerpo en movimiento permanece en movimiento). Este problema del movimiento iba a ser uno de los asuntos principales en la revolución científica que ocurrió en el siglo XVII, después de lo que fue, hablando relativamente, un hiato en el desarrollo de la ciencia durante las dos centurias previas. Fue durante los siglos XV y XVI, sin embargo, que ocurren los cambios sociales e intelectuales y crean las condiciones para el repunte espectacular de la ciencia desde 1600: la exploración de los límites del mundo conocido, la ebullición intelectual del Renacimiento, las ideas antiautoritarias de la Reforma, y el desarrollo de tecnologías que hicieron posible el uso de instrumentos científicos muy mejorados, así como el incremento de la disposición de los libros impresos.

La revolución científica

Lo que hasta ahora se ha delineado consiste principalmente de los desarrollos que en retrospectiva se puede asegurar presagian la perspectiva moderna de la ciencia. Los sucesos que nos proveen del tipo particular de retrospectiva que ahora utilizamos cuando volteamos a observar a la ciencia griega y medieval son aquellos de la “revolución científica”. Realmente fue una revolución, en principio porque destruyó un *Weltanschauung* y creó uno nuevo, uno nuevo que ha creado al mundo del siglo XX. Butterfield (1949) difícilmente pudo expresarle más enérgicamente:

Debido a que dicha revolución derrotó la autoridad en la ciencia no sólo de la edad media sino también del mundo antiguo, debido a que culminó no sólo con el eclipsamiento de la filosofía escolástica sino también en la destrucción de la física aristotélica, esta revolución opaca todo, a partir del ascenso de la cristiandad y hace del Renacimiento y de la Reforma meros episodios, meros desplazamientos internos, dentro del sistema de la cristiandad medieval. Por haber cambiado el carácter de las operaciones mentales habituales del hombre, incluso en la conducta de las ciencias no materiales; por transformar todo el diagrama del universo físico y la misma textura de la vida humana en sí, esta revolución cobra gran importancia, pues es el origen verdadero tanto del mundo moderno como de la mentalidad moderna. Nuestra acostumbrada división en períodos de la historia de Europa se vuelve un anacronismo...

Y lo que hace a este período de revolución único en la larga historia del desarrollo de la ciencia es el hecho de que fue en este punto que se aceptó la nueva cosmovisión, no sólo por individuos excepcionales, sino también por la gente suficiente para que hubiera un flujo constante futuro de hombres educados, con la habilidad y posibilidades para llevar a cabo una investigación coordinada y estable de los principios generales que, creen los científicos, sostienen el orden natural. Esto fue algo nuevo (Whitehead, 1926).

La historia de la revolución, y de las discusiones filosóficas que la acompañan y que derivan de ella, se describen bien en muchos lugares: véase, por ejemplo, Butterfield (1949), Boas (1962), Hall (1963), Hampshire (1956), Hollis (1973), Berlín (1956). Únicamente algunos temas se deben destacar aquí para presentar al público los asuntos metodológicos. Estos son: el establecimiento del modelo heliocéntrico del sistema solar, realizado por Copérnico y Kepler; el desarrollo de la mecánica, en especial, en el trabajo de Galileo; y la síntesis de Newton de las dinámicas terrestres y celestiales. Además, es necesario observar el desarrollo de la discusión en ebullición acerca de la naturaleza del método de la ciencia, que se observa en Francis Bacon, Galileo, Descartes y Newton.

Nicolás Copérnico, un hombre de su tiempo, fue aristotélico, aceptaba que el sistema solar consistía en esferas cristalinas sobre las cuales los planetas se movían en círculos perfectos, culminando en la esfera de las estrellas fijas. Su trabajo marcó el inicio del movimiento que iba a destruir el modelo de Aristóteles, pero éste fue un resultado que lo habría horrorizado. Él era un canónigo pacífico de la catedral de Frauenberg, y se le persuadió de que publicara su manuscrito *De Revolutionibus* más de 20 años después de que lo hubo escrito. Koestler, en su biografía (1959), lo llama “el canónigo tímido”. Sus escasos y simples instrumentos eran aun más burdos de lo que la tecnología del siglo XVI permitía, y en cualquier caso él apenas si se interesó en la astronomía. Pero no se sentía satisfecho con lo complicado del modelo de la Tierra como centro de Ptolomeo, con sus movimientos epicíclicos innumerables; por ello, buscó un esquema más simple. El modelo heliocéntrico que propuso reducía el número de círculos postulados necesarios para explicar los movimientos celestiales, de 80 a 34, pero aún así su compromiso aristotélico con el movimiento circular uniforme, supuestamente “natural” e inevitable, le forzó a asumir algunos senderos epicíclicos. La influencia del nuevo modelo fue ligera. Ofrecía un grupo de movimientos menos complicado que el modelo de Ptolomeo, pero a cambio de esto requería una visión revolucionaria del universo, una visión opuesta a las enseñanzas de la institución más poderosa de esa época: la iglesia. Su carencia de influencia difícilmente puede admirarnos. El comentario de Martín Lutero acerca de Copérnico fue: “el nuevo astrólogo que quiere probar que la Tierra se mueve y se desliza en círculo... el tonto quiere poner de cabeza a todo el arte de la astronomía” (Smith, 1972). Roma no declaró falso al copernicanismo sino hasta 1616, lo cual es quizá una medida indicativa de la indiferencia general.

Johnnes Kepler, quien escribió su nombre de cinco maneras distintas, registró en un horóscopo, que él realizó para sí, que nació a las 4:37 a.m. del 16 de mayo de 1571. El contraste entre la negligencia al escribir su nombre y la precisión acerca de las fechas nos dicen mucho de este hombre (Koestler, 1959). Para Kepler, el lenguaje de los números era el lenguaje del universo físico, y fue capaz, mediante esfuerzos prodigiosos, ayudado de las observaciones planetarias de Tycho Brahe, de generar una descripción matemática del movimiento planetario en el cual no se encontraron errores por 200 años. El astrónomo danés Tycho Brahe fue un observador grandioso, aunque un matemático no muy hábil. Kepler, quien tenía visión ocular defectuosa, era el reverso. Por algún tiempo, fue el asistente de Tycho, y después de la muerte de Tycho en 1601 tomó posesión de sus documentos astronómicos. Kepler, quien comenzó su carrera al publicar calendarios astrológicos, creyó, junto con los pitagóricos, que Dios debió haber creado el universo siguiendo algún patrón numérico simple. Esto fue una creencia apasionada que en su punto central era mística y estética. Siguiéndola, Kepler buscó el patrón de la naturaleza en las relaciones entre los radios de las órbitas planetarias, empleando el modelo heliocéntrico de Copérnico. Después, buscó en la geometría la clave para el patrón, y explicó los movimientos planetarios como definidos por un nido de los cinco sólidos regulares de Pitágoras. (Tycho Brahe pensó que esto era ingenioso, pero ofreció un aviso que nos parece moderno: “primero... debemos establecer un fundamento sólido... en la observación, y después... tratar de localizar las causas de las cosas”.) Posteriormente, trató de hacer que las órbitas planetarias correspondiesen a notas musicales. Eventualmente, al abandonar (y dar un paso monumental) la hasta entonces incuestionable creencia de que la Naturaleza debía organizarse de acuerdo con un movimiento circular uniforme - considerado como “perfecto” -, Kepler pudo ordenar el caos de los datos

astronómicos y resumir el movimiento planetario en tres leyes matemáticas simples en las que se asumían órbitas elípticas para los planetas. La idea del universo mecánico emergió, una idea que operaba de acuerdo con las leyes que se podían expresar matemáticamente, leyes que, para Kepler, Dios había creado y el hombre podía descubrir.

Si Kepler fue un profeta de la revolución científica, se podría considerar a Galileo como el primer revolucionario importante. Él fue un contemporáneo de Kepler, ocho años mayor que él, y estaba muy consciente de la importancia de la astronomía de Kepler. En 1610, cuando estaba haciendo descubrimientos mediante el uso del telescopio que construyó para sí (descubrió las manchas solares y las lunas de Júpiter), escribió: “Estoy muy ansioso por ver lo que II Signor Keplero tenga que decir acerca de las nuevas maravillas”. Pero los dos hombres nunca colaboraron activamente.

Galileo nació en una familia noble pero pobre, en 1564. Su padre insistió en que estudiara medicina, pero hacia 1580 estuvo de acuerdo con que su hijo abandonara los estudios médicos y se dedicara a las matemáticas. Así empezó uno de los períodos más importantes de esfuerzo intelectual que el mundo haya visto. A la edad de 28 años, Galileo ofreció una cátedra en Padua, que había sido una de las universidades europeas más importantes desde el siglo XV. Padua era una universidad muy liberal, con libertad para la enseñanza y la especulación erudita, garantizada por el estado de Venecia, el estado italiano más anticlerical (Randall, 1957). Atrajo a algunas de las mejores mentes de su tiempo y siempre se veía involucrado en la controversia. Toda erudición depende de la discusión crítica, pero esto es especialmente verdadero para la ciencia; felizmente (para la ciencia) a Galileo le gustaba argumentar dado su temperamento, y tenía una mente independiente y una lengua mordaz. La educación temprana de Galileo fue del tipo aristotélica convencional, pero pronto ya estaba desafiando la física de Aristóteles, lo cual quiere decir que estaba desafiando a la visión del mundo derivada de la reconciliación entre el aristotelismo medieval y la Cristiandad, y a la institución cuyo poder se unía a dicha visión: la Iglesia.

El trabajo de Galileo sobre mecánica involucraba un desafío directo a la visión aristotélica de que el movimiento necesitaba una fuerza para mantenerse. En el caso de una flecha que volaba a través del aire, tuvo que argüir que el aire que la flecha hacía a un lado a su paso, de alguna manera daba la vuelta y daba un ímpetu a la parte trasera de la flecha. Galileo rodó esferas de acero por un carril en una plancha inclinada y cronometró el descenso de éstas. Verificó que la velocidad de la caída se incrementaba uniformemente con el tiempo: ahí estaba operando una ley de aceleración uniforme. Se volvió clara la idea de que la fuerza no genera movimiento, sino que lo cambia para generar aceleración. Lo que se tenía que explicar no era el movimiento, sino los cambios en el movimiento; Galileo se acercó a (aunque no por completo en su forma moderna debido a Descartes y Newton) la idea, de la inercia; es decir, que un estado de movimiento uniforme o un estado de inmovilidad continuará a no ser que una fuerza actúe, haciendo así el movimiento uniforme tan natural como la inmovilidad. El entender la idea de la inercia involucró un ajuste en la perspectiva, que es fundamental, y Jeans (1947), al describir el desarrollo de los experimentos de Galileo con una esfera rodante, escribe: “éste fue uno de los momentos más grandes en la historia de la ciencia”. Las contribuciones de Galileo en la astronomía fueron, también, inmensas. Tan pronto como escuchó que los fabricantes de anteojos holandeses habían inventado el telescopio, Galileo construyó uno y lo utilizó para explorar los cielos. Favoreció a las observaciones de Copérnico cuando, con su telescopio, observó los cuatro satélites de Júpiter dando vueltas al planeta, justo como Copérnico había dicho que los planetas dan vueltas a la gran masa del Sol. (El embajador inglés, de regreso a Inglaterra escribe esto acerca de Galileo: “el autor corre el riesgo de volverse ya sea famoso en exceso o ridículo en exceso”, Bronowski, 1963.) Aun más, las fases de Venus que Galileo observó fueron exactamente las que la teoría copernicana requería. Sus escritos acerca de la astronomía culminaron con su diálogo sobre los dos sistemas principales del mundo, en el cual se defiende con eficacia a las ideas copernicanas de las doctrinas de Aristóteles. El libro, escrito en vigorosa prosa italiana, cuando el latín aun era tradicional en los trabajos escolares, tuvo un efecto considerable para cambiar la cosmovisión que los hombres educados sostenían, y también, por supuesto, condujo a Galileo ante un juicio con las autoridades papales en 1633, después del cual, y al habersele mostrado los instrumentos de tortura, se le pidió que testificara que abjuraba, maldecía y detestaba sus errores y herejías, en otras palabras, su “falsa opinión de que el Sol es el centro del mundo y es inmóvil, y de que la tierra no es el centro del mundo y se mueve”. Después de

1633, el trabajo científico de Galileo se centró en problemas no controversiales y lo llevó a cabo bajo condiciones de arresto domiciliario en su villa, cerca de Florencia.

La contribución de Galileo no fue solamente una adición al conocimiento, fue un cambio tanto en la concepción del universo como en la manera en que se debe descubrir a éste. La cosmovisión de Aristóteles no pudo sobrevivir a las demostraciones de Galileo, y el hecho de que estas demostraciones las podían someter a juicio y verificar otras personas, constituyó un paso muy importante en la evolución del método de la ciencia. Aunque se ha argüido que Galileo fue más un pensador racionalista que un experimentador, en esto último él no seleccionó automáticamente experimentos diseñados como medios para investigar la naturaleza (Butterfield, 1949; Santillana, 1956; Hall, 1963); Galileo escribió en 1615, en una carta para la gran duquesa Cristina de Toscana:

Pienso que en la discusión de los problemas naturales. no debemos comenzar con la autoridad de los lugares de las Escrituras. sino con experimentos sensibles y demostraciones necesarias.

Y las descripciones del propio Galileo acerca de sus experimentos los convierten del conocimiento público, por lo que pueden ser verificados por cualquier otra persona, en la manera moderna. Estas descripciones tienen un aire definitivamente heroico:

... una vez ejecutada esta operación y habiéndonos asegurado de su confiabilidad, rodamos la esfera solamente a través de un cuarto de la longitud del canal, y una vez medido el tiempo de su descenso, descubrimos precisamente que es la mitad del tiempo anterior. A continuación intentamos con otras distancias, comparamos el tiempo para la longitud total con la de los dos tercios, o tres cuartos, o incluso para cualquier fracción; y en tales experimentos, que se repitieron cientos de veces, siempre observamos que los espacios atravesados fueron entre sí como los cuadrados de los tiempos....

Esta descripción en particular ilustra la otra gran contribución de Galileo. Kepler había resumido la gran masa de observaciones astronómicas en tres leyes simples expresadas matemáticamente, y Galileo ahora estaba haciendo lo mismo en una demostración o experimento. Estaba haciendo de hecho lo que es “natural” para los científicos físicos modernos: conceptuar un problema en un mundo abstracto de calidades “primarias” - sin embargo medibles - (en contraposición a calidades “secundarias” como el gusto, el olfato, etc.). Éste fue el nuevo método que, en las manos de Newton, iba a dar término a la revolución científica.

Galileo, a pesar de haber llevado a cabo algunos experimentos cruciales, no formuló como principio la necesidad de realizar la investigación experimental del mundo natural, pero sus contribuciones a la metodología de la ciencia fueron parte del crecimiento estable del concepto de la experimentación deliberada. Podemos observar dos instancias importantes de esto: el trabajo de William Gilbert sobre el magnetismo y el trabajo de William Harvey sobre los funcionamientos del corazón. Gilbert, médico personal de la Reina Elizabeth, fue intelectualmente un hombre de su tiempo. Él creía en la astrología, y estaba dispuesto a aceptar interpretaciones animísticas de la naturaleza. Pero su fascinación por el fenómeno del magnetismo, y su costumbre de platicar con los especialistas en tecnología de su tiempo, los mineros, navegantes y constructores de instrumentos, condujo a un enfoque para la experimentación práctica que ahora parece moderno. Al escribir de Magnete en 1600, seis años antes de la primera publicación de Galileo y cinco años después de que Francis Bacon defendiera un enfoque experimental en el avance del aprendizaje, Gilbert produjo el primer libro sobre ciencia natural basado en la observación y el experimento (Zilsel, 1957). Gilbert desconfía de la autoridad, verifica todo lo que otros reportan, y ridiculiza ideas supersticiosas, por ejemplo, la creencia de que el poder del imán se podía destruir con ajos. Cardanus había escrito que “el imán se alimenta de hierro”. Gilbert refutó esta hipótesis al magnetizar un pedazo de hierro, almacenándolo con limaduras de hierro y después pesando las limaduras periódicamente. Zilsel piensa que un suceso decisivo en la historia de la ciencia es “el ascenso social del método experimental, que pasa de la clase de trabajadores manuales a los rangos de escolares universitarios” ; seguramente existe un aire tecnológico más que filosófico en Gilbert cuando él escribe sobre magnetismo. Por ejemplo:

Nosotros teníamos veinte libras de piedra imán enterrada y la extrajimos después de haber observado y marcado primero sus extremos en la veta de ésta. Después pusimos la piedra en

una tina de madera sobre el agua, de forma que pudiera girar libremente. Inmediatamente, la superficie que apuntaba hacia el norte en la mina, giró hacia el norte sobre el agua.

Lo que Gilbert no incluye es solamente la expresión matemática del fenómeno investigado.

Hemos observado anteriormente que la primera insistencia acerca de la observación provino de los médicos hipocráticos, y quizá, no nos sorprenda averiguar que la educación médica hizo una contribución aún más importante a la revolución científica, en el siglo XVII. William Harvey escribió *Sobre el movimiento de la sangre*, en 1628, 25 años después de sus estudios médicos en Padua. Fue en esa importante universidad en la que Harvey absorbió la tradición experimental; ahí, la medicina en vez de la teología era la “reina de las ciencias”, y Vesalio había impartido una cátedra. Vesalio fue fundador de la materia moderna de la anatomía. Se había convertido en una costumbre durante el siglo XVI, que los profesores leyeran los textos antiguos mientras que un asistente simplemente apuntaba con precisión sobre el cadáver. Vesalio mismo empuñaba el cuchillo, y esa tradición persistió en Padua. Cuando Harvey iba a escribir su obra maestra declaró que él aprendía y enseñaba anatomía simultáneamente “no de los libros, sino a partir de la disección” (Butterfield, 1949). Trató al corazón, como si fuese una máquina, y, aplicando el principio de medición de Galileo, calculó a partir de las dimensiones del corazón y de la velocidad de bombeo del mismo, que éste en una hora ¡lanzaba 540 libras de sangre! La sangre del cuerpo podía ser solamente comparada a un ejército en avanzada, en circulación constante, y con este descubrimiento Harvey hizo posible un nuevo comienzo en la biología de las criaturas vivientes.

El más grande de los científicos del siglo XVII, Isaac Newton, también hizo contribuciones significativas a los métodos de la ciencia experimental, pero fueron tan grandes que es necesario considerarlas como un todo. La nueva cosmovisión que produjo el desarrollo de la ciencia fue básicamente la visión de Newton, justo como la visión que remplazó era básicamente de Aristóteles. Los sucesos que Butterfield describe, en la cita proporcionada con anterioridad, en términos de “el origen verdadero tanto del mundo moderno como de la mentalidad moderna” se podrían resumir como la aceptación que los hombres educados hicieron de la nueva *Weltanschauung* que Newton creó a partir de las dos grandes vertientes de la ciencia física del siglo XVII: la astronomía de Kepler y la mecánica de Aristóteles. El logro de Sir Isaac no pasó inadvertido. John Locke, el decano de los filósofos empiricistas, escribió que en una era que produjo maestros tales como “el incomparable señor Newton” se sentía feliz de emplearse como empleado subordinado en la “remoción de alguna de la basura que yace en el camino del conocimiento”. Y Alexander Pope, en una de sus coplas heroicas declamó:

La naturaleza y las leyes de la naturaleza permanecen ocultas en la noche:
Dios dijo, ¡que Newton sea! y todo fue luz.

Newton nació en Lincolnshire, hijo póstumo de un agricultor, en el año en que Galileo murió (1642). Él fue lo que ahora se conoce como un “educando tardío”, y no mostró ninguna distinción particular en la escuela o como estudiante universitario. En 1665, cuando la Universidad de Cambridge cerró por temor a la peste, Newton regresó a casa (Woolsthorpe) y ahí comenzó su destacada carrera, haciendo trabajo original sobre las matemáticas y la óptica así como elaborando una formulación temprana de la ley de la gravitación. Ninguno de estos trabajos se publicó en ese momento, pero su maestro, Barrow, vio en Newton un pupilo más capaz que él mismo. Cuando Barrow dejó de impartir cátedra en 1669, aseguró ese puesto para Newton, quien en ese entonces tenía 27 años y esta posición le dio la libertad de seguir sus propias inclinaciones intelectuales. (Se le pidió que diera solamente una conferencia a la semana, y con frecuencia ¡no tenía público!). Él enfrentó problemas importantes de la ciencia, y logró invenciones matemáticas grandes al hacer esto, pero parecía estar contento en hacer esto para procurarse su propia satisfacción personal. Como dice un biógrafo destacado: “cuando él hizo invenciones de primera importancia, las hizo para su propio uso; raramente las desarrolló sistemáticamente y no tuvo deseos de publicarlas” (More, 1934). Más tarde, su trabajo publicado que marcó una época le condujo a controversias públicas amargas y al parecer vivió suspendido entre una inanición por ser honrado y un temor autocrático de la crítica (Karp, 1972). Los honores llegaron; se convirtió en Maestro de la Casa de Moneda, Presidente de la Real Sociedad, la reina Ana lo hizo caballero, y cuando Newton murió en 1727, fue enterrado en la abadía de

Westminster. Muchos de sus últimos años de vida los consagró a los estudios teológicos y de alquimia, legando así manuscritos extensos sin publicar acerca de estas materias.

Cuando Newton estuvo en Woolsthorpe, durante el año de la peste, se interesó en una idea con la cual Kepler había jugado, es decir, que había alguna fuerza actuando entre el Sol y los planetas en órbita. Kepler pensó que esto era análogo al magnetismo. Newton aplicó la idea a los movimientos de la Tierra y la Luna, inventó el cálculo para que sirviera de herramienta matemática al enfrentar el problema y calculó con bastante precisión el ciclo de la Luna utilizando una ley de gravitación de cuadrado inverso. Él no publicó nada de esto en ese momento, pero aproximadamente 25 años después, y a instancias del astrónomo Halley, comenzó a escribir las pruebas matemáticas. El libro resultante *Principios matemáticos de la filosofía natural*, el *Principia*, es sin duda el trabajo científico más celebrado que alguna vez se ha escrito. En él, Newton establece las definiciones y conceptos a utilizarse (y formula las tres leyes que sostienen a la dinámica clásica); discute el movimiento de los cuerpos en un vacío (proporcionando la base de la mecánica celestial); discute las modificaciones introducidas por el movimiento en los líquidos; y en el Libro Tercero demuestra “el armazón del sistema del mundo”. El Libro Tercero muestra que las ideas del Libro Primero, aplicadas al sistema solar, predicen con exactitud todos los hechos conocidos acerca del movimiento de los planetas. La adopción de una ley universal de atracción gravitacional condujo a una descripción individual del mundo bajo un grupo individual de leyes sencillas. Se unieron las mecánicas terrestre y celeste, y aquí hubo un modelo matemático, verificable, de los funcionamientos del universo, concebido como una maquinaria de reloj majestuosa, ingeniosa, y elegante. En el resumen de Buchdahl (1961):

Esta síntesis de datos empíricos y relaciones matemáticas abstractas que aquí se unieron para conducir a observaciones de verificación exacta, impresionaron a los contemporáneos de Newton al conceder aparentemente la certidumbre de las matemáticas en el conocimiento del hombre acerca de los fenómenos físicos, y dar a las matemáticas un nuevo sentido de poder sobre la naturaleza.

El “sistema del mundo” de Newton tenía un propósito únicamente en el sentido de que satisfacía los propósitos de su arquitecto, Dios: sus características no se explicaron al deducirlas de cualquier propósito (Koyré, 1965). Al parecer, ya no fue necesario que se demostrasen la explicación animística y teleológica. (Es un argumento de este libro el que durante los últimos 30 años el pensamiento de sistemas ha rehabilitado a la teleología como concepto respetable.)

La ciencia de las dos centurias siguientes se puede ver como una aplicación de la metodología galileana-newtoniana al estudio de fenómenos distintos del movimiento: calor, luz, magnetismo y electricidad, por ejemplo, con el propósito de formular leyes generales expresadas matemáticamente (Smith, 1972).

Newton fue simultáneamente un brillante experimentalista y teoricista, y se convirtió también en un metodologista, como resultado de las fieras controversias en las que se involucró. Al defender sus resultados y métodos, y al restar puntos a sus oponentes, estableció muchos principios de lo que se convirtió en la práctica científica aceptada, así como los ejemplificó en su enfoque al trabajo experimental. Así lo vemos exponiendo las Reglas del razonamiento en filosofía, que son una elaboración del principio de la rasuradora de Ockham; y escribe en sus *Opticks*:

En las matemáticas, como en la filosofía natural, la investigación de cosas difíciles mediante el método de análisis siempre debe preceder al método de la composición. Este análisis consiste en hacer experimentos y observaciones, y en derivar conclusiones generales de ellos mediante la inducción, y el admitir que no hay objeciones en contra de las Conclusiones, pero tales conclusiones se toman de experimentos o de otras verdades ciertas...

Aquí hay un compromiso completo al principio de experimentación que va más allá del de Galileo. Pero Newton estaba tan seguro como Galileo en su creencia sobre la importancia de expresar el comportamiento de la naturaleza en el lenguaje de las matemáticas. Es la combinación de ambas actitudes, de hecho, lo que hace a Newton supremo.

La importancia del experimento diseñado en la ciencia se ilustra mejor mediante un ejemplo del trabajo de Newton sobre la óptica, sujeto a disputa amarga con Robert Hooke. Se ha sabido por muchos cientos de años que un prisma genera luz coloreada; la teoría general fue que el prisma

cambiaba la luz que lo atravesaba. La cuidadosa experimentación de Newton le condujo a pensar que la acción del prisma consistía físicamente en separar la luz en sus componentes. Él, entonces, diseñó un experimento crucial en el cual un segundo prisma se introducía en el rayo refractado. Éste no causó dispersión adicional, sino simplemente refractó la luz incidente en la misma cantidad que el primer prisma sin cambiar el color. Este experimento fue una prueba que refutó la teoría de Hook: una prueba a la que Newton sobrevivió. Newton “se había enseñado a sí mismo a ser un nuevo tipo de experimentador, que entendía cómo formar una teoría y cómo verificarla decisivamente contra las alternativas” (Bronowski. 1973).

Estas contribuciones prácticas a la metodología surgieron en el momento en que la actividad humana de la ciencia ya era bien apreciada y sus principios de método se podían sujetar al debate erudito. La metodología de la actividad ya había sido sujeta a serias exposiciones por parte de Francis Bacon y René Descartes, en particular, en el momento en el que Newton habló acerca de su experiencia. Bacon (1561-1626) no era un científico practicante, pero tenía un agudo sentido del poder de la ciencia, pues sabía que ésta transforma las condiciones materiales de vida si se le dirige positivamente (Farrington. 1949). Los hombres deben consultar a la naturaleza, no a los libros, argüía, y en sus trabajos, que parecían manifiestos, él estableció el programa que se habría de seguir. La necesidad básica eran los experimentos dirigidos y diseñados que se pudieran registrar y reportar, de tal forma que el progreso técnico pudiera ser acumulativo. La historia ha mostrado que Francis Bacon tenía razón acerca de que el poder de la ciencia podía transformar el mundo físico. Pero estaba equivocado acerca de la estimación de tiempo necesaria para hacer la transformación: él pensó que tardaría una década o dos; e, intelectualmente, no pudo comprender la contribución fundamental que las matemáticas iban a hacer a la experimentación, y sus experimentos fueron ejercicios de recolección de información seguidos de la generalización de principios mediante la inducción. Sin embargo, fue un profeta de la explotación de la ciencia, e influyó en la disposición de sus contemporáneos por experimentar.

René Descartes, cuya insistencia sobre las cadenas deductivas de razonamiento -en el patrón de la geometría- complementa la defensa de la inducción a partir de hechos recolectados que Bacon hizo es, aparte de Newton, la figura más importante en el desarrollo de la ciencia moderna. En el siglo XVIII se les consideró médicos rivales que ofrecían descripciones del mecanismo del universo (Koyré, 1965, reseña la disputa), pero nosotros ya nunca más los vemos bajo esa luz. Newton demolió el contenido de la física de Descartes, con sus vórtices de partículas llenando el universo entero: y hoy en día su importancia científica más actual yace en su trabajo sobre la geometría coordenada, y en su postura al ser el exponente lúcido del racionalismo científico, el metodologista cuyo principio de reduccionismo ha permeado profundamente la ciencia durante 350 años. (El movimiento de sistemas, de hecho, se puede ver como una reacción exactamente contraria a este principio.) Newton aprendió en Cambridge de maestros que aceptaban la tesis general de Descartes acerca del mundo material (Ronan, 1969) y obviamente fue influenciado en gran medida por la idea de un modelo mecánico de los funcionamientos de la naturaleza, y por la insistencia de Descartes sobre el argumento racional, expuesto en términos de conceptos claros, bien definidos.

Descartes, un miembro de la nobleza francesa menor, fue educado en un colegio jesuita donde se enseñaba literatura y ciencias así como teología. Pronto reveló su mentalidad independiente y su determinación por trabajar aisladamente. Después de algunos años de ser soldado, decidió consagrarse a los problemas de las matemáticas y la física, y escribió en 1619 que deseaba establecer “una ciencia completamente nueva, que le permitiera a uno el resolver todas las preguntas que se propusieran...”. Pero era cauteloso, y también un hombre seguro de su propia intelectualidad, y cuando su contemporáneo más distinguido (Galileo) se enfrentó a la ira de la Iglesia, Descartes, quien vivía pacíficamente en la Holanda liberal, decidió no publicar su trabajo científico más importante. *DeMundo*, el cual incluía la teoría copernicana de la rotación de la Tierra. Sin embargo, algunos meses después, decidió publicar algunas muestras del trabajo y escribió, en lengua vernáculo, un pequeño prefacio para ellos, el *Discurso del método*, Butterfield lo considera “uno de los libros realmente importantes en nuestra historia intelectual”, cosa que sin duda alguna es, aunque al morir Descartes, en 1650, las 300 copias para distribución general ¡aún no se habían acabado! (Sutcliffe, 1968). Descartes no enfatizó los hechos de la ciencia, pero sí la manera científica de pensar. Rechazó las suposiciones incuestionables de la filosofía escolástica y buscó la verdad por medio del razonamiento deductivo cuidadoso, a partir de ideas irreductibles básicas. Éste es, exactamente, el enfoque opuesto a aquél de Francis Bacon. Descartes parte de una postura de escepticismo extremo, de duda absoluta. El mundo que

percibimos, por ejemplo, podría ser un sueño. Él decide que la única certeza es que él duda; y esto continúa siendo verdad ¡incluso si él duda que duda! Por ello, formula la proposición más celebrada en la filosofía occidental Cogito, ergo sum, “Pienso, luego existo”. Esa es la única certeza que no lo refrena. Y él piensa que al analizar el proceso por el cual ha adquirido conciencia de su propia existencia, puede descubrir la naturaleza general del proceso por el cual puede estar seguro de cualquier cosa (Pritchard, 1968). En el Discurso Segundo, Descartes proporciona cuatro reglas para “dirigir adecuadamente la razón de uno mismo”, la primera describe la necesidad de evitar la “precipitación y el prejuicio”, la aceptación únicamente de ideas claras y distintas; la tercera requiere una progresión ordenada desde lo simple hacia lo complejo; la cuarta Invoca un análisis completo en el que no se omite nada. Sin embargo, la segunda regla es la más significativa, ya que encierra una característica primordial de la manera científica de pensar que se ha practicado durante tres centurias:

La segunda (consistía) en dividir cada una de las dificultades que se estaban examinando en tantas partes como fuera posible y necesario para resolverla mejor.

He aquí el principio de la reducción analítica que caracteriza a la tradición intelectual de Occidente.

La mayoría de la literatura sobre Descartes se concentra en su postura como el fundador de la filosofía moderna. él es el complemento racionalista a la tradición empiricista que parte de John Locke. Pero en un estudio reciente de Réé (1974), se presta generalmente más atención a la física de Descartes y al pensamiento que yace bajo ella. El centro del enfoque de Descartes a la ciencia, él señala, fue el “reduccionismo, en el sentido de que” la ciencia debe describir al mundo en términos de “naturalezas simples” y “naturalezas compuestas, y cómo la última se puede transformar en la primera”. Con “análisis”, Descartes se refería al proceso para identificar las naturalezas simples en un fenómeno complejo, y excluyó de la ciencia física cualquier explicación en términos de propósito. Réé arguye que “aunque (Descartes) no se interesó mucho en la observación o experimentación científica organizada, su “filosofía mecánica” reduccionista fue una parte integral de la revolución en la ciencia física del siglo XVII”, y concluye:

La influencia de su ideal reductivo en el desarrollo de la ciencia ha sido tan enorme que justifica incluso sus exigencias más jactanciosas acerca de la importancia de su trabajo. Newton retomó la creencia de Descartes acerca de que el propósito de la ciencia era reducir de todas las cosas a las “calidades universales de todos los cuerpos cualquiera que sean”. Y fue en el espíritu de Descartes, que Newton escribió con desprecio acerca de las cosas a las cuales “los aristotélicos dieron el nombre de Calidades Ocultas”... Similarmente, al defender la “investigación de las cosas mediante el método de análisis”, él hace eco a Descartes al hablar de este método como “el paso de las causas particulares a las más generales, hasta que el argumento finalice siendo lo más general”.

Éste parece ser un juicio justo: el ideal reductivo se puede observar en virtualmente toda la ciencia de los siglos XVIII y XIX. No fue sino hasta el siglo XX que se hicieron cambios significativos al reduccionismo: se debatirá en este libro que el movimiento de sistemas es el más serio de estos desafíos.

La revolución de personajes como Copérnico, Kepler, Galileo, Newton, Bacon y Descartes, dieron a los hombres una nueva cosmovisión del universo, que remplazó la visión del mundo medieval, y les proporcionó un método para investigar la naturaleza que funcionó al ser verificado. No es necesario reseñar la explotación de ese método en las centurias que siguieron a continuación. De hecho, para completar este bosquejo del desarrollo de la ciencia, es necesario incluir solamente un solo logro que data de tiempos más recientes; pero que es muy importante por lo que enseña acerca de la naturaleza del conocimiento científico. Los resultados de Newton se consideraron no como un modelo plausible de los funcionamientos del mundo físico, sino como una descripción sin tambaleos sobre cómo funcionó realmente el mundo físico. Es así especialmente significativo que el logro principal en la ciencia durante el siglo XX ha sido el derrumbamiento del modelo de Newton y su remplazo por el de Einstein; éste último ha sido preferido porque puede generar como producto natural todos los resultados de Newton y más todavía.

Newton asumió que el espacio proporcionaba un marco de trabajo absoluto, estacionario e inmóvil, dentro del cual se movían los cuerpos físicos. Con el desarrollo de las teorías de onda de radiación electromagnética, se suponía que un “éter” postulado era el portador de las ondas; éste dio el marco de referencia fijo que la cosmología de Newton requería. Cuando, en 1887, falló el experimento crucial de Michelson-Morley y no detectó la diferencia en la velocidad de la luz como la que se causaría supuestamente por el pasaje de la tierra a través del éter, los físicos clásicos entraron en confusión. Se sugirió que el resultado se explicaría si los objetos en movimiento se contraían en la dirección de su movimiento, pero esta noción pareció ser bastante extraña. Aunque para cuando propuso su primera teoría de la relatividad (1905), Einstein no sabía acerca del experimento Michelson-Morley (1887), su teoría requirió justo esto, ya que en esa teoría la relatividad del tiempo y la distancia hacen que la velocidad de la luz sea una constante universal fija y, para dar lugar a esto, los objetos en movimiento deben contraerse. Las descripciones de la mecánica requieren de masa así como de distancia y tiempo, y también se predice que ésta varíe con su movimiento; y, como el movimiento es una forma de energía, la energía y la masa también son intercambiables, y la relación se expresa en la famosa ecuación $E = mc^2$ (c es la velocidad de la luz), ecuación que desafortunadamente se confirma durante cada explosión nuclear. La extensión posterior de las ideas de la relatividad para la gravitación y la inercia, en la teoría general de la relatividad, dieron lugar a una formulación en la cual el universo no es materia independiente posicionada en espacio y tiempo independientes, sino un continuum tiempo-espacio de cuatro dimensiones variables. Nadie puede formarse una imagen clara de este modelo en la mente, y relativamente pocos pueden comprender la física de Einstein, pero todo mundo puede entender que a partir de ahí Einstein pudo hacer predicciones que se verificaron públicamente. El planeta Mercurio está cerca del Sol y viaja muy rápido. Existen anomalías en su movimiento que la física newtoniana no puede explicar. Las leyes de Einstein proporcionan cálculos en acuerdo perfecto con las observaciones del planeta. Aun más dramático, la teoría de Einstein predice que los rayos de luz se inclinarán cuando pasen cerca de un cuerpo masivo. En 1919, un eclipse de sol permitió que las estrellas que vemos estuviesen

Tabla 1b. Algunos pensadores y experimentadores importantes en el desarrollo de la ciencia.

2 Ciencia Medieval

Avicena	980-1037	El más grande de los filósofos musulmanes. Escritos sistemáticos sobre medicina.
Averroes	1126-1198	Una larga serie de comentarios sobre los trabajos de Aristóteles. La recuperación de la ciencia aristotélica.
Grosseteste	c. 1169-1253	Discusión de la metodología de la ciencia inductiva. Trabajo experimental sobre la óptica.
Roger Bacon	c.1214-c.1294	Propuso una teoría de la ciencia experimental como método para establecer la verdad.
William de Ockham	c.1300-1349	Un nominalista extremo. El principio de la rasuradora de Ockham: no multiplicar entidades innecesariamente.

3 La revolución científica y en adelante

Copérnico	1473-1543	Sugirió un modelo heliocéntrico del universo que redujo las complicaciones de los modelos anteriores con la tierra como centro.
Gilbert	1540-1603	Un énfasis importante en el enfoque experimental a los problemas prácticos (por ejemplo, la navegación).

Bacon	1561-1626	Declaró que el poder de la ciencia experimental da mayor control sobre las condiciones materiales de la vida y que era necesario un método de experimentación.
Galileo	1564-1642	Un desafío importante a la cosmovisión Aristotélica mediante el trabajo sobre la mecánica. Las demostraciones experimentales expresadas en el lenguaje de las matemáticas.
Kepler	1571-1630	Reducción de las observaciones astronómicas de Brahe a tres leyes matemáticas. El número visto como el lenguaje de la naturaleza.
Harvey	1578-1657	La experimentación y la observación investigación médica generan la teoría práctica y la de la circulación de la sangre; La conclusión es respaldada con el cálculo.
Descartes	1596-1650	Se establece la metodología del racionalismo; el reduccionismo es el objetivo de la explicación científica.
Newton	1642-1727	La culminación del desplazamiento hacia el experimento y la expresión matemática iniciado por Galileo. El método une a la mecánica terrestre con la celestial y finalmente derrota a la cosmovisión aristotélica. Se establecen los principios de la experimentación.
Einstein	1879-1955	Establece una nueva cosmovisión que explica las observaciones de manera más completa que la cosmovisión de Newton, y que sobrevive a verificaciones estrictas.

aparentemente en una posición cercana al Sol al fotografiarse. Einstein había sugerido el experimento y, por supuesto, había formulado su teoría cautelosamente, dependiente del resultado. Las desviaciones observadas se ajustaron muy cercanamente a lo que Einstein predijo. Es la verificación pública de este tipo lo que confirma al modelo de Einstein como superior, al compararlo con el de Newton, incluso aunque para los cálculos terrestres y aun para más, los viajes a la Luna, los cálculos newtonianos sean bastante exactos.

La lección para la ciencia a partir de la experiencia en este siglo XX es que los resultados del trabajo científico nunca son absolutos, y que se pueden remplazar oportunamente por modelos mejores que tengan un poder descriptivo y de predicción más grande. Cuando se dieron a conocer los resultados del experimento con el eclipse de 1919, el profesor Littiewood envió una emocionada nota a Bertrand Russell: “Querido Russell, la teoría de Einstein se ha confirmado por completo”. Hubiera sido mejor escrito la “teoría de Einstein ha sobrevivido a esta severa verificación”. El conocimiento adquirido y verificado científicamente no es el conocimiento de la realidad, es un conocimiento de la mejor descripción de la realidad que tenemos en ese momento en el tiempo.

El método de la ciencia

Si el pensamiento de sistemas y “un enfoque de sistemas” son asuntos serios, si ambos son más que una pieza de moda temporal que genera aplausos-y yo creo que lo son- entonces es necesario el establecer qué es exactamente el pensamiento de sistemas, y qué significa el adoptar

un enfoque de sistemas en un problema. Para hacer esto he visto que es necesario el delinear el desarrollo de la ciencia, la actividad humana que es “el origen del mundo moderno y de la mentalidad moderna” (palabras de Butterfield) y dentro de la cual el movimiento de sistemas ha emergido durante los últimos 30 o 40 años. Para poder considerar al pensamiento de sistemas como un complemento del modo principal del pensamiento en la ciencia, es necesario resumir los elementos esenciales en la actividad de la ciencia y después observar dónde el pensamiento de sistemas los incluye o los excluye: al hacerlo, pasamos a la visión del movimiento de sistemas en relación con el movimiento de ciencia que lo engendrará.

En las secciones previas de este capítulo se ha trazado la emergencia de la ciencia como una actividad humana organizada. Identificada conscientemente. Como tal es ella, en sí misma, “un sistema”. Es un grupo de actividades institucionalizadas que encarnan un propósito particular, en otras palabras, la adquisición de un tipo particular de conocimiento (Bernal, 1939; Ravetz, 1971; Skair, 1973). La ciencia es un sistema de aprendizaje o indagación, un sistema para averiguar cosas acerca del mundo misterioso en que nos encontramos habitando. Las características cruciales de este sistema de aprendizaje derivan de su historia. Los griegos contribuyeron a la invención del pensamiento racional, desligándose de la idea de la autoridad irracional, que se suponía no debía cuestionarse; los clérigos medievales iniciaron el desarrollo consciente de la metodología y proporcionaron los principios del enfoque experimental; y en la época de Newton se unieron las explicaciones empíricas y teóricas de tal manera que “encararan la necesidad y la contingencia al mismo tiempo”, lo cual “hizo que el mundo real fuese comprensible mediante las ideas” (Hall, 1963). El siglo XX nos ha recordado que el conocimiento obtenido siempre es provisional. Estos son los vértices que se reúnen en la ciencia como ahora la percibimos, y nuestra descripción de esa actividad como un todo podría ser en términos como estos: la ciencia es una manera para adquirir conocimiento del mundo verificable públicamente, se caracteriza por la aplicación del pensamiento racional a la experiencia, experiencia que se deriva de la observación y de los experimentos diseñados deliberadamente, siendo el objetivo la expresión concisa de las leyes que gobiernan las regularidades del universo, leyes que se expresan matemáticamente de ser posible.

Al hacer esta perspectiva una realidad, un patrón particular de actividad humana ha evolucionado y se ha institucionalizado. Se ha creado el papel profesional de “científico”, y dentro del armazón de trabajo institucional se puede iniciar trabajo científico, se puede llevar a término y se le puede aplaudir. Este patrón particular de actividades humanas se puede resumir, yo sugiero, en tres características fundamentales, cada una de las cuales se puede rastrear en la historia del desarrollo de la ciencia. Las tres características que definen el patrón de actividad son el reduccionismo, la repetibilidad y la refutación. Podríamos reducir la complejidad de la variedad del mundo real con experimentos cuyos resultados se validan mediante su repetibilidad, y podríamos erigir conocimiento a través de la refutación de las hipótesis.

Son tres los sentidos en los cuales la ciencia es “reduccionista”. Primero, el mundo real es tan rico en variedad, tan desordenado, que para poder hacer investigaciones coherentes de él, es necesario simplificarlo; seleccionar algunos ítems para examinar de entre todos los que podríamos examinar. Definir un experimento es definir una reducción del mundo, una reducción que se hace para un propósito en particular. Segundo, como lo enfatizó William de Ockham, hay mucho que ganar en la coherencia lógica si se es reduccionista en la explicación: se acepta la explicación mínima necesaria para los hechos a explicarse. Tercero, más en general, la perspectiva científica ha absorbido profundamente el aviso de Descartes en el sentido de descomponer los problemas y analizarlos en fragmentos, componente por componente. El “pensamiento científico” es casi sinónimo de “pensamiento analítico” en este sentido.

Los experimentos son un tipo especial de observación. Inicialmente en la ciencia, como hemos visto, los problemas fueron los de la cosmogonía, y las observaciones pertinentes al razonamiento fueron los hechos comunes de todos los días. Posteriormente, la idea del experimento diseñado emergió, siendo pertinente a un examen más detallado de los funcionamientos de la naturaleza. En dichos experimentos el experimentador, por medio de la reducción, trata de tener control completo sobre la investigación, de forma que los cambios que sucedan sean el resultado de sus acciones, en vez del resultado de interacciones complejas de los cuales no está consciente. Una vez dado este control, se pueden formular las preguntas acerca de la naturaleza. En una sección sobre “La observación y el experimento” dentro de su descripción del pensamiento inductivo, Mill (1884) puntualiza:

La primera y más obvia distinción entre la observación y el experimento es que el último es una extensión inmensa de la primera. Ésta... nos permite... generar la clase de variación precisa que deseamos para descubrir la ley del fenómeno.... Cuando podemos generar un fenómeno artificialmente, podemos llevarlo, exactamente como fue, a casa con nosotros, y observarlo rodeado de las circunstancias con las que, en todos los otros aspectos, ya estamos bien familiarizados...

Cuando Newton hizo un pequeño agujero en la cortina que había en su cuarto en el Trinity College y pasó el rayo resultante de luz a través del prisma; cuando Galileo rodó esferas de madera pulida por el carril sobre la placa inclinada, ambos estaban “llevando el fenómeno a casa”, para investigar estas selecciones limitadas de la variedad del mundo. Este es el reduccionismo de la experimentación. Se aplica igualmente a los experimentos “baconianos” del tipo de recolección de hechos como a los experimentos “galileanos” (la distinción es de Medawar, 1967, 1969), que verifican hipótesis o hacen distinciones entre las posibilidades.

El reduccionismo de la explicación es bastante claro en el principio de la rasuradora de Ockham, pero es una extensión de éste lo que conduce al concepto que generalmente se asocia con la “reducción científica”, en otras palabras, la explicación de fenómenos complejos en términos de fenómenos más simples. Obviamente, si podemos hacer esto (si los fenómenos biológicos, por ejemplo, se pueden explicar completamente en términos de física y química) el principio de la rasuradora se ha satisfecho: no hemos multiplicado entidades innecesariamente. El Ideal reduccionista sería una explicación de la ciencia social en términos de la psicología, de la psicología en términos de la biología, de la biología en términos de la química. y de la química en términos de la física, lo básico de las ciencias. (“Éste es el ideal que yace bajo la famosa frase de Lord Rutherford: “Existe la física y existe la filatelia”).) Longuet-Higgins (1972), al tratar de establecer que los fenómenos de la mente son de hecho irreductibles a la neurofisiología o a la psicología del comportamiento, proporciona una descripción satírica del pensamiento del reduccionista, quien “observa con satisfacción que, después de muchos siglos de independencia ilusoria, la química se ha acoplado en el marco de trabajo de la física”. Lo que es más, los éxitos recientes de la biología molecular muestran que la “biología es realmente química”, y que seguramente la neurofisiología es en verdad biología molecular, y la psicología es realmente neuropsicología, ¿o no? Y así sucesivamente. “La sociología es en verdad psicología, y la economía es en verdad sociología, la historia es en verdad economía. y ahí la brecha se pierde.” Obviamente, el reduccionismo en este sentido es una aspiración perfectamente normal de la ciencia, y cuando. por ejemplo, el trabajo de Maxwell y Boltzmann permite que las leyes que describen la termodinámica de los gases se generen a partir de las suposiciones de la mecánica, se experimenta un sentimiento de que se ha avanzado en este terreno. Sin embargo, lo que es más interesante es el simple hecho de que el ideal reduccionista. se expresa en términos de una jerarquía de la ciencia física, química. biología, psicología y ciencias sociales -lo cual convence a todo mundo intuitivamente-. Nadie argüiría que el lugar para la psicología está entre la química y la biología. Al parecer convence a cualquier persona el que se describa al conocimiento que tenemos del mundo en términos de diferentes niveles de complejidad. Las leyes que operan en un nivel parecen estar en un orden superior con respecto a las de los niveles inferiores. Este es el núcleo del concepto de “emergencia”, la idea de que a un nivel dado de complejidad existen propiedades características de ese nivel (emergentes en ese nivel) que son irreductibles. La doctrina de la emergencia está relacionada muy de cerca con la idea del reduccionismo y, como veremos en el siguiente capítulo, el debate del reduccionismo-versus-la emergencia es una fuente primaria del pensamiento que se ha generalizado como “pensamiento de sistemas”.

La segunda característica más importante del sistema de aprendizaje que es la ciencia, es la repetibilidad de los experimentos. Esta es una característica crucial que coloca cualquier conocimiento al que se pueda denominar con propiedad “científico” en un mundo distinto de, por decir, el conocimiento literario que se encarna en libros de crítica literaria. Un crítico que nos quiere convencer de que D. H. Lawrence es un gran novelista explicará por qué piensa eso. Propondrá sus criterios para elaborar juicios de valor, analizará las novelas de Lawrence de acuerdo con estos criterios, y así tratará de influir en nuestra opinión acerca de los libros. Quizá encontremos que sus argumentos sean convincentes y estemos de acuerdo con él, pero quizá no lo estemos. El que lo estemos o no dependerá de nuestros gustos y sentimientos, los cuales con el tiempo quizá cambien, como posiblemente también lo hagan los gustos y sentimientos del crítico. Incluso si hubiese un consenso general entre la gente educada y los críticos literarios de

que Lawrence es un gran novelista. esto nos diría algo acerca de los gustos literarios de una sociedad en particular en una época particular, y no sólo algo acerca de las novelas en sí mismas. En este ejemplo podríamos por supuesto remplazar “conocimiento literario” con “apreciación de la música”. “declaraciones exhortadoras acerca de la religión o la política” o muchos otros tipos de conocimientos. El conocimiento de este tipo sigue siendo “conocimiento privado” en el sentido de que la elección para aceptarlo o no es nuestra. Por otra parte, el conocimiento científico es “conocimiento público” (definición de Ziman, 1968); no tenemos otra opción, sino aceptar lo que se puede demostrar repetidamente en los experimentos. La ley del cuadrado inverso del magnetismo, descubierta, por decir en Boston, sigue siendo una ley del cuadrado inverso aunque los experimentos se verifiquen en Basingstoke. Ésta es una de las fuerzas cruciales y grandiosas de la ciencia, aunque a menudo es mal interpretada. Es importante darse cuenta de qué es lo que “se tiene que aceptar”: lo que se tiene que aceptar son los hechos ocurridos en el experimento, y nada más que eso. Toda opinión individual acerca del experimento, o la teoría que lo hace tener sentido, se pueden debatir. Nadie tiene que estar de acuerdo con cualquier interpretación de los resultados, si dichas interpretaciones son del mismo tipo de declaraciones como las que se hacen en la crítica literaria. Pero si los hechos experimentales se pueden verificar y otras personas desinteresadas los encuentran repetibles, entonces sí cuentan como “científicos”. Aunque usted quizá dispute las interpretaciones que yo exponga acerca de, por decir, algunos experimentos de los que yo diga que he efectuado con imanes y limaduras de hierro, si yo formulo la hipótesis de que los imanes atraen a las limaduras de hierro porque están hechas de hierro en vez de que lo hagan debido a su forma, usted quizá repita mis experimentos con hierro y limaduras de plástico de la misma forma y vea por sí mismo. Podríamos continuar arguyendo acerca de la interpretación, pero nos veríamos obligados a estar de acuerdo acerca de los hechos en el experimento, que son repetibles. El ejemplo es trivial pero el principio no lo es. Es la repetibilidad de los hechos experimentales lo que coloca a este conocimiento en una categoría diferente a la de la opinión, preferencia y especulación. Proporciona a la actividad de la ciencia un núcleo sólido que no se ve afectado por la irracionalidad, las emociones y las tonterías de los seres humanos (incluyendo a los científicos, quienes no son menos humanos que cualquier otro grupo). No debemos esperar que los seres humanos se comporten racionalmente por completo; no lo harán. Pero la ciencia tiene, mediante el conocimiento público encarnado en experimentos repetibles, un medio para aislarse de las consecuencias que la insensatez humana genera, lo cual no es posible para ningún otro tipo de conocimiento.

Tomemos como ejemplo una área especulativa de la biología que fascina al lego: la posibilidad de crear materia viviente en el laboratorio. Existe probablemente ahora un consenso entre los biólogos de que el conocimiento presente de la biología molecular muestra que en principio esto es posible (Monod, 1972; Jacob, 1974). Este consenso no es, en el sentido estricto, científico. La creación de materia viviente a partir de materiales de inicio no vivientes en el laboratorio se convertirá en un hecho científico cuando se realice en experimentos que demuestren que se pueden repetir en otros laboratorios. En el presente, la visión general es de que la vida pudo haber evolucionado en este planeta mediante mecanismos químicos conocidos y que la forma para crear vida en el laboratorio consiste en seguir la misma secuencia. Lo que se necesita, en primer término, es la formación de moléculas orgánicas de complejidad moderada a partir de materiales de inicio químicamente simples: en segundo término, la formación de moléculas de cadena larga (polímeros) a partir de las moléculas orgánicas, y en tercer término, la colección entera de polímeros adecuados en una situación física que permita el desarrollo de una organización (de carácter celular) interna particular. En este momento, los dos primeros estadios son hechos científicos (Bernal, 1967; Orgel, 1973; Miller y Orgel, 1974). Miller, por ejemplo, sometió mezclas de moléculas simples a descargas eléctricas y obtuvo mezclas del tipo de moléculas orgánicas involucradas en la vida: aminoácidos, azúcares, etc. Butlerov y Katchaisky entre otros, han demostrado que las grandes cosechas de polímeros orgánicos que se requieren en el segundo estadio, se pueden obtener a partir de moléculas orgánicas con facilidad sorprendente, en el caso de Katchaisky al poner ciertos aminoácidos en contacto con un mineral de la arcilla común dentro de un medio acuoso. Con referencia al tercer estadio, que no se ha alcanzado en el laboratorio, Miller y Orgel escriben:

Estamos convencidos de que la selección natural, que actúa sobre un sistema de polímeros (algunos de los cuales son capaces de duplicarse) fue responsable de la emergencia de estructuras biológicas organizadas.

Pero la distinción es clara: los dos primeros estadios son hechos científicos, el tercero es especulación que se convertirá en ciencia aceptada cuando se haya efectuado y se haya demostrado que es repetible en otros laboratorios.

La importancia de la medición también está conectada con el criterio de repetibilidad de la ciencia. Los valores de medición se pueden registrar, y repetir, con más facilidad que los hallazgos cualitativos. El que una repetición se logre o no se logre aparece más claramente si el experimentador está trabajando con cantidades medibles, muy aparte del hecho de que las mediciones, que representan propiedades o relaciones, permiten que la teoría matemática se use para deducir todas las consecuencias lógicas de la información encarnada en los resultados experimentales (Richie, 1945). De ahí que los hechos científicos potencialmente más poderosos sean aquellos que se expresan como resultados cuantitativos del experimento.

La tercera característica definitoria importante de la ciencia es que el progreso acumulativo se puede lograr como resultado de las secuencias de experimentos del tipo “galileano”, en las cuales las hipótesis se sujetan a verificación contra la experiencia. Lo que es “público” acerca del conocimiento público de la ciencia es que los resultados de los experimentos (reduccionistas) se describen de forma que otras personas puedan verificarlos. Pero el criterio que se aplica a los experimentos no es sólo “¿es esto repetible?”. Después de todo, probablemente no estemos muy interesados en hechos científicos que sean verdaderos pero triviales. El sistema de valor lógico que opere en la ciencia tiene que ser uno en el cual un experimento sea más valioso que otro, si es menos trivial, más significativo. Y la significatividad deriva del grado en el cual el experimento proporciona, mediante su diseño, una verificación difícil para algunas hipótesis de largo alcance. Un buen experimento es aquel en el cual alguna conjetura significativa está en riesgo. Esto significa que todo experimento que no sea del tipo de recolección de hechos al azar, encarna implícita o explícitamente alguna teoría, y que esta teoría se debe corroborar o refutar mediante los hechos en el experimento. Hemos visto un ejemplo sensacional de esto en la formulación de Einstein de que, de acuerdo con su teoría, la luz que pasa cerca del Sol se debe desviar, y que esto quizá se pueda verificar durante un eclipse total. Él sometió su teoría de la relatividad a la verificación pública en esa ocasión; ¡un tipo de verificación que los críticos literarios, historiadores y eruditos de la política no tienen que soportar! Este es un ejemplo revolucionario importante, pero la lógica del progreso de la ciencia requiere que los experimentos científicos deben, si es posible, ser de este tipo. Por supuesto que los más modestos experimentos de recolección de hechos tienen un papel, pero el progreso de la ciencia se determinará mediante experimentos significativos en los cuales conjeturas importantes se sometan a refutación.

Incluso en una investigación de búsqueda de hechos más modesta seguirá siendo cierto que la selección del experimentador acerca de lo que se observa (su definición de “un hecho”) implica que esta investigación se basa sobre la aceptación implícita de un cuerpo de conocimiento previo, que da significado a su investigación en particular. Por ejemplo, en el tiempo presente, nadie verificaría cuidadosamente la ley del cuadrado inverso del magnetismo cuando la Luna esté llena y otra vez cuando la Luna sea nueva, para ver si la ley sigue aplicándose; esto no sería inteligente ya que no existe un cuerpo de teoría que sugiera alguna conexión posible entre los dos, y sí mucha teoría verificada que sugiera que los dos fenómenos están desconectados totalmente. Kuhn (1962) hace referencia al cuerpo de conocimiento comúnmente aceptado (que hace que los experimentos en particular tengan significado) como “un paradigma”, y en su muy influyente libro describe la historia de la ciencia bajo la forma de una historia de períodos de ciencia “normal” llevada a cabo bajo la influencia de un paradigma particular intercalado mediante cambios revolucionarios en éste. En el reporte sobre un paradigma de Kuhn, se describe a éste como un logro o un grupo de logros que una comunidad científica “reconoce como generadora de los fundamentos para su práctica futura”, logros que “atraen a un grupo de seguidores obstinados, alejándolos de modos competidores de actividad científica” y están abiertos suficientemente para dejar todo tipo de problemas para que el grupo redefinido de practicantes los resuelva”. En el nivel más alto, Newton y Einstein fueron responsables de los cambios revolucionarios en el paradigma. Entre dichos cambios, lo que existe es “ciencia normal” que sigue en buenos términos con el paradigma prevaleciente.

Así podríamos describir en los términos siguientes (ligeramente idealizados) lo que sucede cuando se planea y se lleva a cabo una parte de trabajo científico, o aún más; esta es la lógica de lo que sucede o debería suceder: ¿un caso real quizá no siga la lógica!¹. El científico, como resultado de su elección de problema, decide qué sección de la variedad del mundo va a examinar. Hace su reducción, diseña una situación artificial dentro de la cual puede examinar los funcionamientos de algunas variables mientras otras se mantienen constantes. Su diseño experimental va a “cobrar sentido” en términos de alguna visión particular de, o teoría acerca de, esa parte de la variedad del mundo que él está investigando y su experimento particular constituiría la verificación de una hipótesis dentro de esa teoría. La pregunta que el experimento plantea es: ¿aprobará la verificación? Y la artificialidad de la situación experimental es tal que, cuando los resultados se describan cuidadosamente, se analicen y se interpreten, podrá darse una discusión crítica bien definida entre los científicos interesados. El pensamiento humano es polémico; los nuevos pensamientos necesariamente son los adversarios de aquellos a los que remplazan y el enfoque experimental de la ciencia genera, contiene y orquesta el debate crítico.

Finalmente, cuando se sujeta una hipótesis a verificación de la manera que se ha descrito, debe ser por lógica el caso de que estemos más interesados en una refutación que en una corroboración. Esto se origina de la imposibilidad de probar todo mediante la inducción. Con el argumento deductivo no hay problema. Podemos deducir conclusivamente que Sócrates es mortal, debido a que “todos los hombres son mortales”, y que “Sócrates es un hombre”. Pero no existe un equivalente al silogismo en el argumento inductivo. El hecho de que a todas las noches de nuestras vidas les haya seguido un amanecer no debe obligarnos a suponer que lo mismo sucederá esta noche -quizá estemos preparados para apostar sobre ello-pero no hay forma de probar esto, como David Hume enfatizó en su *Tratado sobre la naturaleza humana*; y el multiplicar observaciones confirmatorias en la lógica, no nos acerca a la verificación de esto. Por esta razón una hipótesis refutada es un resultado experimental más valioso que aquél en el cual la hipótesis sobrevive a la verificación; de ahí que el experimentalista debe intentar destruir su hipótesis, buscándole la verificación más severa que se le pueda ocurrir.

Esta visión de la naturaleza de la ciencia deriva en mayor grado del filósofo C. S. Pierce, quien escribió: “Las conclusiones de la ciencia no tienen otra pretensión aparte del ser verificables”, del metodologista William Whewell, cuya *Historia de las ciencias inductivas* (1837) considera al progreso científico como un refinamiento continuo de verdades necesarias acerca del universo físico basado en la observación y la experimentación, y, más recientemente, de los escritos incisivos de Sir Karl Popper (1959,1963,1972). Popper, quien cree que ha resuelto el problema de la inducción de Hume. describe el método de la ciencia como “el método de las conjeturas intrépidas y de los intentos ingeniosos y estrictos para refutarlas”, y toma la demarcación entre la ciencia y otras actividades con las que ésta se puede confundir (por ejemplo, la astrología o el psicoanálisis) como el criterio por el cual la ciencia debe generar conjeturas que se puedan falsificar (públicamente). Se asume a menudo que existe conflicto entre el reporte de la ciencia de Popper y la descripción de la historia de la ciencia de Kuhn. Se cree que este conflicto es una secuencia de los períodos de “ciencia normal” de acuerdo con cierto paradigma y a los períodos revolucionarios en los cuales el paradigma es derrotado (Lakatos y Musgrave, 1970; Schilpp, 1974). Sin embargo, el conflicto es más aparente que real. El reporte de Kuhn se origina a partir de un estudio histórico de cómo los científicos verdaderos se han comportado en el pasado: el reporte de Popper se ocupa de la lógica de la actividad. No nos debe sorprender que los científicos reales, al ser humanos, a menudo se les vea buscando evidencia que respalde, más que refutar, una hipótesis con la cual ellos se identifican personalmente! El mensaje de Popper para ellos sería: “No se sientan satisfechos con la ciencia normal, traten de buscar maneras de desafiar el paradigma”. De hecho, algunos científicos muy distinguidos, entre los que se incluye

¹ Feyerabend (1975), al argüir en contra de la exactitud o utilidad de cualquier resumen estructurado de la ciencia, sostiene que el único principio que no inhibe el progreso es todo pasa. Esto es genuinamente cierto con respecto de la creación de hipótesis que vale la pena verificar (las cuales un científico puede obtener a partir de un sueño, o una frase incidental de su suegra), pero, más allá de eso, la actividad identificable como “ciencia” debe tener algunas características estructurales si se intenta que sea la actividad identificable que es. El núcleo de su estructura, arguyo, es la generación de hechos experimentales repetibles que representan verificación de hipótesis.

a Medawar, Monod, Eccies y Bondl, han dado fe de la importancia de las ideas de Popper en sus pensamientos (Magee, 1973).²

Entonces, tenemos una visión de la ciencia como un método de indagación, o aprendizaje, que nos ofrece, en cualquier momento del tiempo una imagen de nuestro entendimiento de la realidad del mundo, que consiste en ciertas conjeturas, establecidas en experimentos repetibles reduccionistas, que aún no han sido abolidos. La imagen más placentera de esa actividad no proviene de un científico o de un filósofo de la ciencia, sino de un novelista: Vladimir Nabokov. En su historia “última Tule”, escribe:

Cuando una hipótesis se introduce en la mente de un científico, él la verifica mediante cálculos y experimentos, esto es, mediante la mímica y la pantomima de la verdad. La credibilidad de ésta afecta a otros, y la hipótesis no se acepta como explicación verdadera del fenómeno dado sino hasta que alguien encuentra las faltas de la misma. Yo creo que toda la ciencia consiste en dichas ideas exiliadas o retiradas, y aunque alguna vez cada una de ellas alardeó de tener un cargo importante, sólo un nombre o una pensión es lo que queda ahora...

El anterior informe de la ciencia proporciona un marco de referencia que sirve para dos propósitos. Primero, en el capítulo siguiente, hará posible que se vea al movimiento de sistemas como una respuesta a ciertos problemas dentro de la ciencia. Segundo, el informe será importante en discusiones posteriores sobre si el pensamiento de sistemas puede contribuir o no a la solución de los problemas difíciles que enfrenta una ciencia social con aspiraciones a ser científica en todo el sentido de la palabra.

² *Quizá dudemos si Popper ha resuelto el problema filosófico de la Inducción, ya que, por ejemplo, es un paso inductivo el asumir, como Popper lo hace, que una teoría que ha aprobado una verificación estricta es una guía mejor para el futuro que una teoría que ha aprobado solamente una verificación modesta (Ayer, 1973). Pero en un nivel práctico, como proclaman Eccies y otros, la refutabilidad de la hipótesis sí proporciona una demarcación convincente entre lo que es y lo que no es ciencia.*