

EL EFECTO DE LA REVOLUCION CIENTIFICA  
SOBRE LAS CIENCIAS NO MECANICAS

CONCIBIDO tanto para científicos e historiadores como para cualquiera que desee introducirse en uno de los aspectos más apasionantes de la historia de la cultura, este libro nos expone, sucesivamente, cómo se fueron gestando las grandes ideas que han ido transformando radicalmente el pensamiento científico humano y, por ende, el pensamiento en general.

Herbert Butterfield

Los orígenes de la  
ciencia moderna

Ya hemos hecho la observación de que los dos estudios alrededor de los que giró la revolución científica, fueron el de la astronomía y el de la mecánica. Representan los dos campos en los que se produjeron los cambios más drásticos y se hicieron los progresos más notables durante el siglo XVII. Si miramos el asunto desde cierto punto, podemos tener en cuenta la sugerencia de que, posiblemente, la Astronomía estaba bien madura para aquella evolución, debido a que se trataba de la más antigua de las ciencias, y que, por tanto, las observaciones se habían ido acumulando durante miles de años, haciendo que el proceso de revisión tuviera forzosamente que llegar, antes o después, a exigir una nueva síntesis. Al mismo tiempo, podemos tener la impresión de que la ciencia de la Mecánica ocupaba una posición ventajosa, debido a que se trataba de una rama del saber en la que se podían conseguir grandes resultados por procedimientos sencillos, como el de observar unas bolas rodando por planos inclinados. Sin embargo, contemplándolo desde el extremo opuesto, podemos decir que aquellas dos ciencias se vieron estimuladas a avanzar porque, en ambos casos, se encontraron ante un cálculo muy difícil, que había de vencer precisamente en aquel momento de la Historia. En el primer caso, había la dificultad de llegar a una concepción correcta del movimiento simple. En el segundo, existía la dificultad particular de concebir o explicar el movimiento de la propia Tierra. En ambas ciencias se adivinaba que, una vez vencido aquel tramo de obstáculo, se encontraría el camino abierto para una cantidad asombrosa de nuevos adelantos. Quizá la evolución de las matemáticas y de la costumbre de reducir los problemas

a términos matemáticos influyera mucho, no solamente en la revolución científica en general, sino, en especial, en la superación de los dos obstáculos tan importantes de que estamos hablando. Parece como si, efectivamente, sea cierto en ambos casos que toda la historia del pensamiento se habría de ver afectada por este nuevo estudio del movimiento—tanto si se trataba del movimiento celeste como del de la Tierra—, que constituyó el punto culminante de las ciencias del siglo XVII. Aquel siglo iba a ver, uno tras otro, muchos intentos de explicar muchas cosas más que el movimiento, hasta de intentar interpretar todos los cambios del universo físico en términos de un sistema puramente mecánico. La idea de un universo máquina fue la gran contribución de la ciencia del siglo XVII a la era racional del siglo XVIII.

Nunca es fácil—ni aun suponiendo que sea posible—sentir que se ha llegado realmente al fondo de un problema, o que se ha alcanzado el límite último de la explicación, cuando se estudia una tradición histórica. Siempre parece que los cambios más fundamentales de perspectiva, los giros más notables de la corriente de los hábitos intelectuales, pudieran ser referidos en último término a una alteración de los sentimientos del hombre hacia las cosas, una alteración sutil, y al mismo tiempo tan penetrante, que no puede ser atribuida a ningún autor en especial ni a una influencia determinada del pensamiento académico en cuanto tal. Cuando, a comienzos del siglo XVI, un inglés pudo escribir sobre el clero, diciendo que era escandaloso ver cómo la mitad de los súbditos del rey eludían sus deberes de lealtad a la corona—al quedar al abrigo de las leyes del país—, sabemos que estaba registrando un cambio en los sentimientos que tenía el hombre para con el estado territorial; cambio que adquiere mayor significado porque el hombre mismo no se percataba del hecho de que estaba sucediendo algo nuevo. Tras la historia de la revolución científica, una revolución que algunos han tratado de explicar por el cambio sufrido por los sentimientos del hombre hacia la materia, se aprecian cambios sutiles como éste, que no son el resultado de una obra individual, sino de la nueva contextura de la experiencia humana en una nueva época.

Vemos ya con bastante claridad en el siglo XVI, y sin duda alguna en el XVII, que, por el cambio sufrido en el uso habitual de ciertas palabras, ciertas cosas en la filosofía natural de Aristóteles habían adquirido ahora un significado más vulgar, y comenzaban a ser interpretadas mal. Quizá no sea fácil decir por qué había sucedido

una cosa así; pero los hombres delatan inconscientemente el hecho de que una tesis aristotélica determinada, sencillamente, ha perdido todo su significado para ellos: no pueden ya pensar en las estrellas y los cuerpos celestes como cosas ingrávidas, por mucho que el libro les diga que es así. Francis Bacon no parece ser capaz de decir nada, fuera de que es obvio que los cuerpos celestes poseen igual peso que cualquier otra clase de materia que nos encontremos en el curso de nuestra experiencia. Bacon dice, además, que es incapaz de imaginarse a los planetas fijados a esferas cristalinas; y toda la idea le parece todavía más absurda si las esferas en cuestión están compuestas de esa materia etérea y líquida que había imaginado Aristóteles. Entre la idea de una piedra que aspira a alcanzar su sitio ideal en el centro del universo—y dándose más prisa conforme se va acercando a su hogar natural—y la idea de una piedra acelerando su caída bajo la fuerza constante de la gravedad, hay una transición intelectual en la que, en un punto u otro, se enlaza un cambio en los sentimientos del hombre respecto a la materia. Como ya hemos visto, también se había producido un cambio en la actitud del hombre ante el movimiento, aunque no fuera más que porque Aristóteles, al pensar en la forma más sencilla de movimiento, se imaginaba un carro arrastrado por un caballo, mientras que la Edad Moderna tenía buenos motivos para centrar su atención en un proyectil, lo cual significaba un cambio fundamental en el modo de enfrentarse con el problema.

En forma semejante, un cambio intelectual muy sutil le estaba dando al hombre un nuevo interés por el funcionamiento mecánico puro; y algunos han llegado a decir que se debía a la frecuencia, cada vez mayor, con que se encontraba entre relojes y otras máquinas, aunque no es posible determinar si es ésta efectivamente la causa. Desde luego, no es posible atribuir solamente a este hecho la importancia de la Astronomía y de la Mecánica, aunque puede que constituyera un factor más entre los que ayudaron a intensificar la preocupación de la investigación científica por cuestiones mecánicas. Una cosa salta a la vista: no solamente había en algunas de las grandes figuras intelectuales una honda aspiración a demostrar que el universo funcionaba como un aparato de relojería, sino que ello, en sí mismo, constituía en principio una aspiración religiosa. Se sentía que habría algo defectuoso en la propia Creación—algo no enteramente digno de Dios—sino se podía demostrar que todo el universo estaba relacionado entre sí de modo tal que se pudiesen

apreciar en él una razón y un orden. Adquiere importancia aquí la figura de Kepler, al iniciar en el siglo XVII la búsqueda de un universo mecánico; su misticismo, su música de las esferas, su deidad racional, exigen un sistema que encierre la belleza de la matemática pura. Hubo un tiempo en que los hombres trataron de demostrar a Dios por medio de milagros, y la inteligencia humana se había mostrado anhelante por encontrar en el mundo una evidencia del capricho divino. En el momento al que hemos llegado ahora, encontramos una diferencia en los sentimientos que marca una transformación en la experiencia humana, porque vemos claramente que la aspiración de la mente es ahora demostrar el orden divino y su consistencia en sí mismo. Si no hubiera regularidad en la función ordinaria del universo, carecerían de significado hasta los milagros cristianos. Y, como ya hemos visto, la aspiración a transformar al mundo creado en un mecanismo formaba parte de la reacción contra la superstición pan-psíquica, contra la creencia de que la propia Naturaleza era de carácter mágico. No cabía duda de que Dios podía crear algo de la Nada; pero para Francis Bacon era obvio que la Naturaleza no era capaz de hacer nada igual; la cantidad de materia del universo tenía que ser constante. Ya hemos visto cómo Descartes dedujo la conservación del momento partiendo de su idea de la inmutabilidad de Dios.

Así, pues, quizá no exageremos al decir que hay algo en todo el clima intelectual de aquel tiempo que ayuda a explicar los intentos que se hicieron durante el período en cuestión para hacer revivir los sistemas que interpretaban la naturaleza de la propia materia desde puntos de vista puramente mecánicos. Esto fue lo que, en el siglo XVII, llevó a la preponderancia de las diversas formas de lo que, más adelante, se denominó filosofía corpuscular. Se generalizó la opinión de que todas las operaciones de la Naturaleza, toda la fábrica del universo creado, podía ser reducida al comportamiento de partículas minúsculas de materia, y que toda la variedad que se ofrece a la experiencia humana podía resolverse en una cuestión de tamaño, configuración, movimiento, posición y yuxtaposición de aquellas partículas. Volvieron a surgir a la vida, en un nuevo contexto, las teorías antiguas del átomo relacionadas con Demócrito y los epicúreos, pero existía una diferencia fundamental: mientras que las teorías antiguas tendían a atribuir todo a la combinación fortuita de átomos, de modo que el universo, por decirlo así, había sido dejado a la mera casualidad, ahora se suponía una racionalidad

en el mecanismo mismo; efectivamente, las teorías corpusculares eran el resultado de la búsqueda de lo racional y hasta una parte de la necesidad de justificar la existencia de Dios.

Por mucho que Francis Bacon protestase contra los sistemas filosóficos, tuvo buen cuidado de llamar la atención sobre la importancia de las explicaciones atómicas del universo. Hace algunas observaciones interesantes sobre este tema en una serie de ensayos titulados *Thoughts on the Nature of Things* («Ideas sobre la naturaleza de las cosas»). Imaginó a los átomos originales «agrupándose en ciertos grupos y nodos» de forma tal, que sus distintas combinaciones bastaban para explicar las variedades de sustancia que aparecen ante los cinco sentidos del hombre. Se daba cuenta de la importancia del movimiento de las partículas, y habló de la cantidad de cosas —el calor, por ejemplo— que podían explicarse por el mero hecho de la existencia de aquel movimiento que estaba teniendo lugar en escala diminuta en el interior de los cuerpos sólidos, en su misma sustancia. A propósito de esto, hizo observar que el gran defecto de los pensadores antiguos estaba en haber pasado por alto el estudio del movimiento y no haber tratado de entenderlo, cosa que era absolutamente necesaria para comprender los procesos de la Naturaleza. Algunos creían que las partículas que he mencionado eran lo último a que se podía llegar en el análisis y la subdivisión de la materia. Eran duras, impenetrables y definitivas, y era completamente imposible reducirlas a menos. Ellos estaban dispuestos a desear de un principio que había sido aceptado gracias a la autoridad de Aristóteles; estaban dispuestos a admitir la existencia de un vacío entre estas partículas y dentro de la misma sustancia de la materia. Se inclinaban a seguir a Gassendi, quien, en 1626, anunció su propósito de restaurar la filosofía de Epicuro y elaboró un sistema de carácter específicamente atómico. Otros, que consideraban que el vacío era imposible en todo sentido y, por tanto, creían en la continuidad ininterrumpida de la materia en toda la extensión del universo, se inclinaban más bien a seguir a Descartes. En su opinión, la materia era divisible hasta el infinito, las partículas podían ser divididas a su vez y, de hecho, no existía un átomo final que constituyese la base sólida de todas las formas de sustancia. Si se pudiera extraer todo el aire de un tubo, aquel tubo seguiría estando tan lleno como al principio, y la sustancia que entonces contendría seguiría siendo continua, aunque de carácter mucho más etéreo. Había otros, como Robert Boyle, que no querían decidirse entre ninguna de aquellas dos

opiniones, pero que no dejaban de confesar su inclinación hacia alguna clase de lo que ellos llamaban filosofía corpuscular. La revelación de la complejidad de estructura de la Naturaleza durante el siglo XVII —especialmente debida al empleo cada vez mayor de la lupa, del telescopio y, más adelante, del microscopio— despertaba el interés por la subdivisión diminuta de la materia. El propio Bacon es un ejemplo de cómo el hombre comenzaba a darse cuenta de la extraordinaria complejidad de la estructura de las cosas, incluso en los aspectos más diminutos de la Naturaleza. La nueva filosofía permitía reducir todo el universo a materia y movimiento. Hacía posible explicar toda la Naturaleza en términos de mecánica.

La intención —formulada explícitamente con frecuencia en el siglo XVII— de intentar la explicación de todo cuanto hay en el universo físico por medio de procesos mecánicos, ejerció un efecto muy profundo sobre las ciencias biológicas, a las que procuró imprimir su carácter peculiar. Parece como si estas ciencias hubieran sentido el estímulo de este nuevo modo de enfocarla en los primeros momentos de la Historia, quizá estimuladas a un desarrollo excepcional en ciertos aspectos. No obstante, parece que había de llegar un momento en el que el punto de vista mecanicista constituyó un estorbo más que una ayuda, siendo en último término el causante del entorpecimiento que se produjo en el desarrollo del saber y la comprensión.

Ya hemos visto el carácter mecánico de las investigaciones que William Harvey hizo sobre la circulación de la sangre; pero en Padua, la Universidad de Harvey, encontramos pruebas más notables y más directas del hecho de que la labor y los principios de Galileo comenzaban a influir en la Facultad de Medicina. Sanctus Sanctorius (1561-1636) se dedicó a adaptar el termómetro al uso clínico, y empleó un instrumento inventado por Galileo para medir el pulso. Estudió la temperatura, la respiración, las leyes físicas de la circulación y, principalmente, experimentó con pesos —poseía una balanza sobre la que podía comer y dormir, lo que le permitía controlar su propio peso en condiciones diversas—, y descubrió varios hechos referentes a la secreción insensible de sudor. Había, además, un joven, Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), que era un matemático amigo de Galileo. Su libro *Sobre el movimiento de los animales*, publicado en 1680-1681, poco después de su muerte, representaba un ejemplo supremo de la aplicación de la ciencia de la mecánica al estudio del organismo vivo. Sus contribuciones más brillantes a

la ciencia se refieren al estudio del movimiento muscular, empleando matemáticas y diagramas en forma tal, que su tratado parece casi un libro de mecánica. Uno de los capítulos trata de los «Problemas de mecánica útiles en la determinación más exacta de la fuerza motriz de los músculos». Examinaba el acto de caminar como nadie lo había hecho nunca antes que él, y luego estudiaba el vuelo de los pájaros y la forma en que nadan los peces; casi lo primero que se pregunta acerca de un ave es dónde se encuentra su centro de gravedad. Una de las secciones del libro se titula «La cantidad de aire sobre la que actúa el ala de un pájaro en vuelo tiene la forma de un sector sólido descrito por un radio igual a la longitud del ala».

Calcula que «la fuerza desarrollada por los músculos que accionan las alas es decenas de millares de veces superior al peso del pájaro», y hace observar que, si sucediese algo análogo en el caso del ser humano, la fuerza motriz de nuestros músculos pectorales no podría ser nunca suficiente para semejante trabajo, de modo que la vieja historia de Icaro no podía haber sido cierta. Parte de la obra de William Harvey para examinar la acción de las fibras cardíacas, y calcula que, para mantener la circulación, el corazón tiene que ejercer, con cada palpitación, una fuerza equivalente nada menos que a 135.000 libras. Compara el corazón con un pistón o una prensa de vino. Además, dedujo que si la sangre circula regularmente desde las arterias, pasando por los capilares a las venas —en su regreso al corazón—, la uniformidad de su corriente se debe a la elasticidad con que reaccionan las paredes de las arterias. Las arterias, después de dilatarse, se contraen, obligando a la sangre a un movimiento de avance igual que si las hubieran apretado con una cuerda; de modo que, en cierto modo, la regularidad de la circulación sanguínea se puede atribuir, si no directamente, sí indirectamente al corazón mismo. Un contemporáneo de Borelli, el danés Niel Stensen, que trabajó principalmente en Francia y en Italia, era también esencialmente mecanicista y trataba de aplicar principios matemáticos y geométricos a los músculos. Todo este método mecánico aplicado a los seres vivos tenía que transformarse forzosamente, más pronto o más tarde, en un obstáculo para el avance de las ciencias biológicas, en la proporción en que se iba haciendo menos propio del caso y en la proporción en que se precisaba la química, como en el caso de la digestión, por ejemplo.

El resultado, de aquella tendencia a poner a la mecánica por encima de todo, fue que se extendió la opinión de que el ser vivo no

era ni más ni menos que un aparato de relojería. Descartes, al completar la interdependencia continua de las diversas partes de la maquinaria de su universo físico, parece haber llegado a ser el representante más destacado de este modo de ver las cosas. La adhesión a este principio del automatismo animal estricto llegó a ser, si se me permite la expresión, una característica dogmática que los adeptos a este sistema consideraban como una especie de piedra de toque; decidía si uno podía reclamar para sí el derecho de posesión del elixir puro de la ortodoxia cartesiana. Todo el problema levantó grandes controversias en los siglos XVII y XVIII. La filosofía de Descartes hacía una distinción tan estricta entre el pensamiento y la materia, entre el alma y el cuerpo, que apenas era posible salvar la sima que quedaba entre ellos si no sucedía algo milagroso, algo que sobrepasase a la imaginación. Según este sistema, los animales eran considerados como exentos de todo pensamiento o conciencia verdadera, mientras que la esencia del alma consistía precisamente en poseer estas dos cosas. Por tanto, se sostenía que los animales, en realidad, no podían ver nada ni sentir la amargura, la angustia verdadera del dolor físico. Sus ojos no registraban más imagen que la que percibimos nosotros cuando miramos sin fijarnos, cuando miramos con los ojos fijos y vacíos sin percibir realmente lo que vemos. Según la teoría de Descartes, los animales, del mismo modo, no percibían más que sensaciones puramente corpóreas e inconscientes, pero no tenían conciencia, ni sufrían agonia mental, ni eran capaces de sentir realmente el dolor. Sin embargo, Dios, el alma humana y todas las cosas espirituales escapaban a la prisión de la mecánica y eran presencias sobreañadidas que se deslizaban entre las poleas, las transmisiones y las férreas piezas de una implacable máquina universal. Era muy difícil demostrar cómo estos dos planos de existencia podrían llegar a coincidir alguna vez, o en qué punto la mente y el alma podrían reunirse con la materia. Había cierto sentido en el cual el alma —representada en el sistema cartesiano por el Pensamiento— apenas podía considerarse tuviera ubicación espacial alguna. En otro sentido era posible también decir que no estaba relacionada con una parte determinada del cuerpo más que con otra. No obstante, Descartes la fijaba exactamente en la glándula pineal; en parte, porque se creía que los animales no racionales no poseían epífisis. Sin embargo, en la generación siguiente, Niels Stensen echó por tierra este argumento al descubrir esta glándula en otros animales. Al creer Descartes que había encontrado el lugar estratégico en que se unían

el alma y el cuerpo, ganó cierto mérito al concentrar su atención, acto seguido en la acción de los nervios. No obstante, creía que entre los nervios y los músculos se producía un intercambio de materia. En líneas generales, sus teorías le llevaron a un proceso demasiado directamente mecánico.

Leibnitz dijo que todo cuanto sucede en el cuerpo del hombre o de los animales es tan mecánico como lo que ocurre en el interior de un reloj. Algunos ingleses, todavía del siglo XVII —Henry More, el platónico de Cambridge, por ejemplo—, creían que Descartes había ido demasiado lejos en su idea del hombre como una estatua orgánica, como una máquina automática. Newton pensaba que, aunque el sistema de Descartes precisaba un Creador que hubiera puesto en movimiento la maquinaria en un principio, se acercaba peligrosamente a declarar superfluo a Dios una vez que el universo hubiese comenzado a funcionar. Y es curioso observar que, si a principios del siglo los hombres religiosos habían ansiado un universo entrelazado matemáticamente para poder justificar la racionalidad y la consistencia en Si mismo de Dios, antes que acabase el siglo sus sucesores comenzaban a sentirse nerviosos al darse cuenta de que el mecanicismo, posiblemente, se transformaba en algo demasiado perfecto y suficiente a sí mismo. Boyle no estaba de acuerdo con Descartes en cuanto a la necesidad de Dios; decía que no solamente era necesario para poner en movimiento todo y establecer las leyes del movimiento, sino también para combinar los átomos o los corpúsculos en aquellos notables sistemas arquitectónicos que hacían posible que se organizaran hasta dar lugar al mundo vivo. Newton estaba incluso dispuesto a creer que la gravedad, que, al parecer, no tenía otra explicación posible, significaba la actividad constante de un Ser vivo que llenaba la totalidad del espacio. También estaba dispuesto a pensar que las combinaciones insólitas que se daban algunas veces en el cielo —por ejemplo, conjunciones poco frecuentes, o el paso de cometas por una órbita cuando estaba situado en las proximidades algún otro cuerpo celeste— producían ligeros disturbios mecánicos y discrepancias casuales que precisaban la continua y atenta intervención de una Deidad vigilante.

Los efectos de la revolución científica en general y de las nuevas teorías mecanicistas en particular quedan muy en claro en las obras del honorable Robert Boyle, que vivió de 1627 a 1691, y quien, al mismo tiempo, ayuda a demostrar la importancia de algunas de las ideas de Francis Bacon. A partir de los veinte años entró en la

esfera de influencia de los miembros de un grupo que, a partir de 1645, se reunía en Londres para estudiar la Nueva Filosofía, denominada específicamente por ellos Filosofía Experimental. A los veinte años, al escribir a otro miembro de aquel grupo, confesó que, en otro tiempo, se había sentido muy atraído por Copérnico, pero ahora escribía acerca del sistema tolomeico y del de Copérnico, igual que del sistema de Tycho Brahe, como si se tratase de teorías rivales en una controversia que, de momento, no era posible decidir en un sentido u otro. Cinco o seis años más tarde —es decir, en 1652-53— parece que se había convertido a la doctrina de la circulación de la sangre, y conoció a William Harvey en los últimos años de la vida de éste. En 1654 se trasladó a Oxford para establecerse allí por invitación del doctor John Wilkins, que acababa de ser nombrado director del Wadham College, y en derredor del cual se agrupaban toda una serie de químicos, médicos, etc., defensores apasionados de Bacon y de la Filosofía Experimental. Aunque habla de haber descubierto «lo útil que es la Geometría Especulativa para la Filosofía Natural», Boyle siente su deficiencia matemática, y su obra tiene un aspecto más baconiano porque sus investigaciones carecen del matiz matemático. En algunos pasajes de sus obras se lanza explícitamente a justificar el ataque no matemático de los problemas científicos:

Boyle trató ante todo de ser un historiador en el sentido que Bacon le daba a este término —el sentido implícito en *historia natural*—, es decir, de reunir los resultados de determinadas investigaciones y acumular una gran colección de datos que serían útiles en lo futuro para todo aquel que deseara reconstruir la filosofía natural. Con este fin se dedicó a compilar colecciones como una historia natural del aire, una historia de la fluidez y la firmeza, una historia experimental del calor o del frío, igual que Bacon había hecho con el viento o con el calor. Nos dice que una de las colecciones estaba destinada a continuar la *Sylva Sylvarum* —es decir, la historia natural de Francis Bacon—. Confiesa que era tan partidario de Bacon que, durante mucho tiempo, se negó a leer a Gassendi o a Descartes, o incluso el *Novum Organum* del propio Bacon, por temor a sentirse seducido demasiado pronto por hipótesis demasiado excelsas, aunque admite que cabe la hipótesis después de los experimentos, y no insiste más que en el carácter subordinado que aquélla ha de tener, y en que los hombres de ciencia no deben aferrarse a teorías sobre aquella base. Dice que, alguna vez, comunicará los resultados experimentales sin añadirles teoría alguna, porque lo que tendrá utilidad

permanente serán los datos obtenidos durante sus investigaciones, tanto si sus teorías demuestran ser ciertas como si no. Creó un interés público indudable por sus experimentos, pues empleaba un numeroso equipo de «ayudantes, experimentadores, secretarios y coleccionistas».

Otro hombre de ciencia contemporáneo, Huygens, hace observar, y así lo han repetido desde entonces los historiadores de la ciencia, no faltos de alguna justicia, que, en proporción con la enorme cantidad de trabajo experimental que realizó y anotó Boyle, sus descubrimientos importantes o los cambios estratégicos que produjo en la ciencia fueron muy pocos. Igual que Bacon, escribió: «Desde hace mucho tiempo me viene pareciendo que uno de los obstáculos, y no el menor, con que se enfrenta la verdadera evolución de la Filosofía Natural como debe ser, es el que los hombres han sido tan osados publicando sistemas que la comprendan toda.» Se quejaba de que, incluso la nueva ciencia, la Filosofía Mecánica, tenía todavía una base experimental demasiado exigua, y de que los hombres de ciencia miraban con desprecio las generalizaciones limitadas de los experimentadores baconianos: el mundo necesitaba que todo se explicase partiendo de principios fundamentales, a la manera de Descartes, y tomaba por bagatela el demostrar que cierto fenómeno era la consecuencia de la aplicación de calor. Apreciaba a Bacon incluso en aquello en que los autores modernos más le han atacado —en su historia natural—.

Y aunque Boyle tenía mucho malo que decir sobre el contemporáneo de Bacon —el famoso químico Van Helmont—, así como sobre otros muchos hombres de ciencia, encontraba duro creer que el gran Francis Bacon hubiera sido un iluso. En uno o dos casos en que Bacon fue objeto de burlas y ataques por haber dado a conocer experimentos que no resultaron ciertos, se puso a investigar cómo podía haberse equivocado sir Francis, y descubrió que, por ejemplo, Bacon tenía razón si se supone que empleó una clase de espíritu de vino más pura que la que se empleaba generalmente una generación más tarde. Aparte de esto, se interesaba por esas anomalías o impurezas que existen con frecuencia en los productos empleados por los químicos, y que explican por qué muchos de sus experimentos se desarrollaban anormalmente. Escribió sobre todas las clases de accidentes que, en casos determinados, impedían que un experimento produjese los resultados esperados o un resultado uniforme. Anotaba y archivaba cuidadosamente todas sus observaciones él mismo, e insistía en lo importante que era hacerlo, confirmando los experimentos con repeticiones incessantes y sin fiarse de la mayoría de lo que se

publicaba pretendiendo ser resultados experimentales. Era baconiano también por la manera en que continuamente daba gracias a Dios por haber sido iniciado en las operaciones químicas por artesanos analfabetos, gentes que no eran capaces de dar cabida en su mente a las nociones y filosóficos de los alquimistas, quienes estaban cegados por la ferigona de su oficio. Quizá hasta era baconiano en su interés por lo que popularmente, se conoce como alquimia, en su creencia de que podía transformar el agua en tierra, de que había transmutado el oro en un metal inmoble, y en el secreto y la mistificación que manifestaba con respecto a una parte de sus obras. A esta confianza en su trabajo se debió el que se dirigiera al Parlamento en 1689 y lograra la abolición de la ley dictada durante el reinado de Enrique VI contra todos aquellos que tratasen de multiplicar el oro y la plata.

Se nos hace difícil imaginar el estado en que se encontraba la investigación química en los tiempos anteriores a Boyle, o comprender, por una parte, las mistificaciones y los misticismos y, por otra, la condición de anarquía en que se encontraba todo entre los alquimistas en general. Van Helmont, que vive aproximadamente unos veinte años después de Bacon, hizo uno o dos descubrimientos químicos de importancia; pero están enterrados en tal montaña de imaginación—incluyendo la opinión de que todos los cuerpos pueden ser reducidos en último término a agua—, que incluso los propios comentaristas de Van Helmont en el siglo xx son, también ellos, criaturas fabulosas, y las cosas más extrañas que dice Bacon parecen racionales y modernas por comparación. Con respecto a la alquimia, es más difícil averiguar el verdadero estado de cosas, porque los historiadores que se especializan en este campo parecen algunas veces estar también dejados de la mano de Dios; porque igual que los que escriben sobre la controversia Bacon-Shakespare o sobre la patria de Colón, parece como si se contagiarian de la misma clase de locura que están describiendo.

No obstante, hay dos cosas que se aprecian claramente en los tiempos de Boyle, porque la campaña contraria que despertaron fue uno de los objetos explícitos de gran parte de su obra. Por una parte combatía la interpretación escolástica de las propiedades y las cualidades—verdosidad, fluidez, frialdad, etc.— que poseen los cuerpos; o, en otras palabras, discutía la doctrina tradicional de lo que se denominaba *forma sustancial*; doctrina que, en su opinión, se había endurecido y pervertido desde que la expuso Aristóteles. Demostró

que la doctrina de las *formas sustanciales* no había conseguido explicar nada y no había hecho más que añadir una especie de mistificación cuando estaba claro que, al no existir ya el obstáculo de tal doctrina, en tiempos recientes se habían resuelto problemas fundamentales de estática, hidrostática, etc. Por otra parte, con respecto a la constitución de la materia, los partidarios de Aristóteles creían que las sustancias podían ser descompuestas en los cuatro elementos—tierra, agua, aire y fuego—. Los alquimistas, a los que Boyle llamaba habitualmente espagiristas, creían que la materia podía ser descompuesta en tres principios hipostáticos—azufre, sal y mercurio—. Al atacar estas opiniones o cualquier combinación de ellas, Boyle llegó casi a colocar la primera piedra de la química moderna, e hizo sus contribuciones más importantes a la ciencia—con respecto a la estructura de la materia—. Es tan estimulante su obra en este aspecto, que hay que buscar alguna explicación histórica del porqué hubo de pasar un siglo para que la ciencia química comenzase a mantenerse sobre sus propios pies.

En el momento en que su obra había de tener tanto interés y tanta importancia para la historia de la ciencia, es curioso observar que Robert Boyle, a pesar de todas sus predicciones contra eso mismo, y a pesar de la forma en que él mismo trató de defenderse contra ello, sintió el estímulo de una especie de doctrina, una filosofía que lo abarcaba todo y que se había generalizado mucho entre los pensadores de vanguardia de aquellos tiempos. En cierto sentido era baconiano incluso en esto, porque lo que le había atraído era la teoría corpuscular del universo, y en uno de los ensayos más fascinantes de Bacon, como ya hemos visto, se llama la atención sobre la teoría corpuscular, con la observación muy significativa de que o era cierta, o era de suma utilidad para fines demostrativos, pues no existía ninguna otra hipótesis que le permitiera a uno comprender ni retratar la extraordinaria sutileza de la Naturaleza. En vez de tomarla como una teoría puramente especulativa de la clase que había que evitar a toda costa, Bacon, por el contrario, había dicho a los hombres de ciencia que aquélla era precisamente la dirección en que tenían que moverse si deseaban «ganarle a la Naturaleza por la mano». Boyle nos dice que, durante mucho tiempo, evitó leer nada acerca de la teoría corpuscular, por temor a que su trabajo y su mente se vieran influidos por ella; pero se aprecia en sus escritos que no fue capaz de resistirse. Lo discute continuamente, tanto si es bajo la forma de una teoría atómica de Gassendi, o la del sistema

de Descartes, que considera a la materia divisible *ad infinitum*, y volvía a ambos en una generalización de la teoría corpuscular, colcándolos frente a las teorías aristotélicas y alquimistas de la materia. En una ocasión dijo que estaba dispuesto a que le corrigieran en sus generalizaciones particulares sobre la formación de mezclas y compuestos en química; pero que, como filósofo natural, no esperaba «ver que se le ofreciera ningún otro principio más comprensivo e inteligible que el corpuscular», al que muchas veces llamaba filosofía «mecánica», puesto que pretendía dar una explicación mecánica del universo físico. Nos encontramos, pues, con que, en este otro aspecto, Boyle es un producto de la revolución científica en su fase esencialmente mecánica.

Boyle dijo que los peripatéticos, los aristotélicos, empleaban demasiado poco el experimento: que no lo introducían más que cuando deseaban ilustrar los principios a que habían llegado en su sistema general filosófico. Aquella objeción tenía un carácter marcadamente baconiano y quizá no era enteramente justa, y lo mismo sucedía con sus ataques continuos al método silogístico. También era Boyle baconiano cuando hacía observar que los propios filósofos mecanicistas «habían aportado muy pocos experimentos en corroboración de sus afirmaciones». Se propuso conscientemente hacerles aquel servicio a éstos, a darle a su teoría de la materia el fondo experimental que requería, y en este sentido, a pesar de sus repetidas protestas de lo contrario, se exponía él mismo a ser atacado con los mismos argumentos que había utilizado para criticar a los peripatéticos; es decir, por emplear los experimentos para corroborar teorías que existían ya en su mente. Boyle nos dice que, ante todo, se propuso conseguir «una mejor comprensión entre los químicos y los filósofos mecanicistas que, hasta ahora, estaban cada uno poco familiarizados con la labor del otro». Insistió en la necesidad de una alianza entre la química y la ciencia mecánica en el estudio del cuerpo —señaló la importancia de que hubiera quien se especializase en ambas ciencias al mismo tiempo— y demostró que la Química tenía un papel importante que realizar; por ejemplo, en la investigación del proceso digestivo. Consideraba que toda la filosofía corpuscular se veía confirmada por la ciencia química, en cuyas operaciones —decía— sucedía con frecuencia que «la materia se dividía en partes demasiado pequeñas para ser perceptibles aisladamente por los sentidos». Por tanto, y por otra parte, Boyle relaciona con frecuencia los principios de la mecánica con problemas de carácter químico o médico; por

ejemplo, tiene una obra titulada *Medicina Hydropstatica*, o *La Hidrotática aplicada a la Materia Médica*. Asimismo recurre constantemente a estas ciencias en relación con las hipótesis de moda en el siglo XVII sobre la estructura de la materia. Uno de sus escritos se titula *De cómo es posible reconciliar la medicina específica con la filosofía corpuscular*. Una y otra vez expresa su ansiedad por demostrar que los experimentos químicos son pertinentes y aplicables a las más altas esferas de la filosofía natural. En todo esto se aprecia con suficiente claridad su convencimiento de que le estaba haciendo, al Cristianismo el mejor de los servicios, cuyos intereses salvaguardaba celosamente, y en favor del cual, para su mayor extensión, escribió numerosos tratados.

En sus ataques, tanto contra Aristóteles como contra los alquimistas, nos da una imagen muy detallada de la estructura de la materia tal y como se concebía en la nueva filosofía mecánica, y podemos seguir la senda por la que se encaminó a su nueva doctrina respecto a los elementos químicos. Desde su punto de vista, el universo podía ser explicado a partir de tres principios originales —materia, movimiento y reposo—, de los cuales la propia materia era susceptible de ser reducida a partículas diminutas, sobre las que dice, en una ocasión, que está dispuesto a suponer tengan una longitud de una billonésima de pulgada. Primeramente dijo:

«Existen en el universo tres grandes aimacenes de partículas materiales, cada una de las cuales es demasiado pequeña para, estando aislada, poder ser percibida por los sentidos; y al ser entera e indivisa tiene que poseer una forma determinada, así como ser extraordinariamente sólida. Por tanto, aunque pueden ser divisibles mentalmente y por la Omnipotencia Divina, no obstante, por motivo de su pequeñez y de su solidez, la Naturaleza no consigue casi nunca dividirlos; y así se podrían denominar, en cierto modo, *mínima* o *prima naturalia*»

En el párrafo siguiente dice:

«También hay multitud de corpúsculos que están hechos por la coalición de varias de dichas [partículas o] *mínima naturalia*, y cuyo tamaño es tan pequeño y su adhesión tan íntima y estricta, que cada una de estas concreciones primitivas o grupos... de partículas queda también por debajo de la percep-

ción sensorial cuando está aislada, y aunque no es absolutamente indivisible por la Naturaleza en [las partículas originales o] *prima naturalia* que la compusieron... sucede muy rara vez que se vean disueltas o rotas, y siguen enteras en una gran variedad de cuerpos sensibles.»

Boyle dice que si se admiten las partículas originales y su agrupación en nodos o concreciones, los movimientos y distribuciones puramente mecánicos de estos diminutos corpúsculos explicarían todas las características distintas y las tendencias de los cuerpos físicos, de manera que no es necesario recurrir a las nociones aristotélicas de la forma, ni a mistificación alguna respecto a la cualidad de vendor que tienen los cuerpos que son verdes por naturaleza. Las diferencias entre una sustancia y otra no son sino las diferencias entre los sistemas esquemáticos en los que se disponen las partículas de la materia común, los movimientos que tienen lugar entre ellos y las diferencias de textura o estructura que producen las diversas combinaciones posibles. La configuración de los corpúsculos, las dimensiones de las agrupaciones, la posición o postura de las partículas, bastan para explicar la diversidad de formas que existe en la Naturaleza. Una de las obras de Boyle se titula *Experimentos sobre el origen mecánico, o la producción de las cualidades particulares*, y en él leemos un discurso sobre el origen mecánico del calor y del magnetismo. En otro lugar, Boyle demostró que los cuerpos son fluidos cuando los corpúsculos reposan unos sobre otros sin tener más puntos de contacto que algunas partes de sus superficies, de forma tal que se deslizan fácilmente unos a lo largo de otros hasta que encuentran algún cuerpo resistente «contra cuya superficie interna se acomodan exquistamente». «Los colores que presentan los cuerpos no se deben al predominio de este o aquel principio en ellos, sino a su textura y, especialmente, a la disposición de sus partes superficiales, que hacen que cambie la luz que reflejan.» La blancura es el resultado de la reflexión de un cuerpo cuya superficie

«la vuelve áspera una cantidad casi innumerable de pequeñas superficies; las cuales, al tener una naturaleza casi especular [como diminutos espejos convexos], están dispuestas de manera tal, que unas mirando hacia un lado y otras hacia otro, no reflejan una hacia la otra los rayos luminosos que caen sobre ellas, sino hacia afuera, hacia los ojos del observador».

Y de la misma manera que el terciopelo o el peluche cambian de color si se frota una parte del tejido en una dirección y otra parte en dirección contraria—igual que el viento crea ondas de color y de sombra en un campo de trigo al arremolinarlo—, así también la postura y la inclinación de las partículas de un cuerpo determinado gobiernan la forma en que se modificará la luz al ser reflejada hacia los ojos del espectador. Algo similar a esto se produce también en varios procesos de la Naturaleza o de la Química; por ejemplo, en el caso de la putrefacción, el aire o algún otro fluido arrastra las partículas más sueltas, y la sustancia se disloca, produciendo, quizá, hasta un cambio en la composición de los diversos corpúsculos. El sabor de las cosas, lo explica de forma parecida:

«Si los cuerpos son reducidos a una multitud de partes de tamaño suficientemente pequeño, es muy posible que algunos de éstos, bien en parte, bien en conjunción con otros, adquieran un tamaño y una forma que les hace especialmente adecuados para afectar el órgano del gusto.»

Algunas veces habla como si creyese que el sabor era efecto de los pinchazos producidos por las agudas aristas de los corpúsculos. Su opinión de conjunto está clara: las cualidades y las propiedades de los cuerpos que nosotros conocemos pueden explicarse todas ellas por el movimiento, el tamaño, configuración y combinación de las partículas entre sí. El comportamiento de las partículas y las manifestaciones resultantes de ello en los diversos cuerpos que existen, lo atribuye él a lo que llama «las afecciones mecánicas de la materia», porque, según nos dice, son análogos a «las diversas operaciones de un ingenio mecánico». Con frecuencia habla del cuerpo humano diciendo que es una «máquina sin igual», y dice del universo que es «un autómata, o una máquina que funciona por sí sola».

Estaba muy preocupado con lo que llama continuamente la textura o la estructura de la materia, el resultado de las innumerables combinaciones que son posibles entre partículas y corpúsculos. Muchas de sus grandes obras ponen de relieve su tremendo interés en este problema, y no nos sorprende que su contribución más importante a la Química se produjera precisamente en este campo—su discusión sobre qué era lo que constituía un elemento químico—. En su obra más famosa, *El químico escéptico*, se ocupa de esta cuestión particular. No nos da su sistema positivo en su forma más

desarrollada; se trata más bien de un ejemplo de su labor destructiva en su punto más alto. Atacaba lo que sus predecesores habían considerado hasta entonces como cosas virtualmente irreducibles de la Química: por un lado, la doctrina aristotélica de los cuatro elementos, y por otro, la doctrina alquimista de los tres principios hipostáticos. Demostró que los alquimistas se equivocaban al suponer que, por el empleo del fuego, todos los cuerpos compuestos podían ser analizados en sus elementos integrantes. Demostró que, en realidad, sucedían cosas distintas si un cuerpo compuesto se sometía a la acción del calor, ya quemándolo a fuego abierto, ya calentándolo en una retorta cerrada. Los resultados producidos en una sustancia por una cantidad moderada de calor —decía— no eran siempre comparables con los efectos producidos por una gran cantidad de calor. Demostró que, algunas veces, el fuego producía la unión de cuerpos de naturaleza distinta, o que producía, a partir de una sustancia determinada, un compuesto nuevo que no existía previamente. Hablando combinado dos compuestos para formar jabón, calentó este jabón en una retorta cerrada y obtuvo dos sustancias distintas de las que había empleado para sintetizarlo. Sostenía que el fuego divide los cuerpos compuestos porque algunas de sus partes están más fijas, mientras que otras son más volátiles; pero que no tiene importancia que todas o algunas de estas partes sean de naturaleza elemental o no: el fuego no motiva necesariamente el análisis de una sustancia hasta sus principios elementales. Al mismo tiempo, hizo observar que no había habido nadie capaz de dividir al oro en cuatro componentes, mientras que la sangre era una sustancia susceptible de ser descompuesta en más de cuatro ingredientes distintos.

Llamó la atención sobre la diferencia que existe entre compuestos químicos y simples mezclas; demostró de qué manera ambas cosas están relacionadas de modo diferente con los elementos que las componen, e indicó los ensayos que facilitarían la identificación de sustancias individuales. En un ataque en toda la línea que lanzó contra la creencia reinante en los tres «principios» de Paracelso —azufre, sal y mercurio— aclaró la descripción de la naturaleza irreducible de un elemento químico, aunque ya Van Helmont se le había anticipado en esto, y es más, podemos decir que, debido a la forma en que enfocó el asunto, Boyle introdujo nuevos elementos de confianza que anulaban las ventajas que hubiera podido sacar. Demostró que el fuego no era capaz de reducir el vidrio a sus elementos, aunque todo el mundo sabía perfectamente que había elementos en

que hubiera podido ser reducido, puesto que se componía de arena y álcali. Consideraba que un trozo de oro era una cosa compuesta por corpúsculos muy finos, y se inclinaba a creer que aquellos corpúsculos metálicos se resistirían más al análisis que el llamado una «concreción», extraordinariamente estable, extraordinariamente difícil de reducir y fácil de recuperar, incluso después que el oro había sido mezclado con alguna otra cosa y, aparentemente, había desaparecido. Pero no estaba convencido de que nunca pudieran ser descompuestas por algún procedimiento en algo que fuera más genuinamente elemental, y no parece haber estado dispuesto a ser convencidamente pragmático, como lo fue Lavoisier más adelante, y a aceptar una sustancia como elemental por el mero hecho de que, hasta entonces, no había podido ser descompuesta por procedimientos químicos. Alguna vez hasta llegó a expresar dudas acerca de la existencia de los «elementos químicos», o sobre si era necesario postular tal cosa, puesto que las diferencias entre una sustancia y otra podían ser explicadas como efectos del tamaño, forma, estructura, contextura el movimiento producidos por el simple aumento y la disposición arquitectónica de las partículas primigenias de la materia primaria. Por tanto, la misma Química podía ser reducida a lo que se ha denominado «micromecánica», y el propio Boyle mostraba una tendencia a irse directamente a esta explicación fundamental de las cualidades que encontraba en toda clase de materia. Aunque esta opinión fuese en cierto modo un primer conato de lo que había de demostrarse mucho más adelante, es muy probable que haya sido perjudicial, pues con ella se pasaba por alto toda la idea que hoy tenemos del elemento químico y hasta de la Química. Quizá su filosofía mecanicista le ayudara en ciertos aspectos, pero otras veces le presentó dificultades muy graves. Y no solamente a él, sino que, proporcionalmente a la influencia que su obra ejerció en el mundo, también ocasionó un retraso en la evolución de la Química. La división de la materia de Paracelso en los tres «principios» hipostáticos quizá perdiera algo de su prestigio en el período que siguió; pero el sistema de Aristóteles —la doctrina de los cuatro «elementos»— iba a ganar adeptos, como se apreció durante el siglo XVIII.

El estudio que Boyle hizo de la atmósfera, que fue el que inició su carrera de químico y sus disputas con los peripatéticos, ocupa un lugar de gran importancia en el relato de los descubrimientos del siglo XVII. Cuando Galileo se encontró ante dos planchas de mármol o de metal pulido que se adherían tan fuertemente que una podía

levantar a la otra, interpretó el fenómeno de acuerdo con la tesis aristotélica de que la Naturaleza aborrece el vacío, y pasó por alto la objeción de que la resistencia que oponían aquellos dos cuerpos al ser separados apenas podía achacarse a algo que todavía no existía; es decir, al vacío que *hábiera* producido su separación. Al no poder conseguir que una bomba elevase el agua desde más de diez metros de altura, Galileo no pensó en preguntarse por qué el horror de la Naturaleza al vacío había de llegar a su límite extremo en aquel punto precisamente; dijo que la columna de agua se rompía por su propio peso, igual que decía que se podía pensar en colgar una columna de hierro tan larga y pesada que se rompiese por su propio peso. Galileo sabía que la atmósfera tenía peso, y calculaba que una columna de mercurio, al ser tanto más pesada que el agua, se rompería ya al alcanzar una altura catorce veces menor que la columna de agua que conseguía elevar una bomba. Pero fue su discípulo Torricelli quien tomó un tubo de un metro de largo —cerrado por un extremo—, lo llenó con mercurio y sumergió el lado abierto en un recipiente que contenía mercurio, de forma que la columna líquida bajó hasta una altura de setenta y seis centímetros, demostrando que la presión del aire mantenía a aquella altura la columna de mercurio y que, en el espacio que dejaba arriba, tenía que existir algo parecido a un vacío. Aquello condujo al descubrimiento del barómetro y a nuevos experimentos relativos a la presión atmosférica —sus variaciones según la altura, por ejemplo—, mientras que, en Alemania, la observación de la bomba de agua condujo al importante descubrimiento de la bomba de aire.

Robert Boyle mejoró notablemente la bomba de aire alemana, la cual, según nos dice, hacía preciso el trabajo intenso de dos hombres durante varias horas antes de conseguir vaciar el recipiente. Demostró que se podía pesar el aire, y que poseía un poder de expansión que se oponía a la presión, y que la columna barométrica solamente se mantenía en alto debido al paso del aire exterior. En cierto momento expresó la interesante conjetura de que el comportamiento del aire podía explicarse si se consideraba que sus diminutas partículas eran otros tantos muellecillos en tensión. Además de todo esto, estudió la respiración y la combustión, y se aproximó al descubrimiento del oxígeno cuando dijo: «Hay en el aire una pequeña quintaesencia vital —si me es permitido llamarla así— que sirve para refrescar y restaurar nuestros espíritus vitales, para cuyo fin la parte más grosera e incompáramente mayor del aire [es] inutilizable.»

Se dio cuenta de que en la atmósfera existe «una amalgama confusa de efluvios... Casi no hay nada en el mundo que sea más heterogéneo». Pero parece que, en su opinión, el propio aire era homogéneo, y que sus variaciones no se debían más que a vapores y efluvios que, en realidad, eran ajenos a su constitución. Precisamente, en este campo sus experimentos hicieron mucho para justificar la influencia baconiana que los decía, el principio de que los hombres de ciencia debían emplear el método experimental con el fin de reunir datos concretos, sin preocuparse demasiado, en el primer momento, de llegar a una síntesis. Y si bien al concentrarse en la actividad mecánica del aire ejerció un efecto perjudicial en el estudio químico de la atmósfera en el período siguiente, como hemos de ver, Boyle supone, en general, una diferencia tan notable con la química más antigua, que los historiadores se han tenido que preguntar, sorprendidos, por qué no se consiguieron mayores progresos en aquella ciencia durante el siglo siguiente.