

REALISMO Y ANTIRREALISMO EN LA DISCUSION SOBRE LA EXISTENCIA DE LOS ATOMOS

Antonio J. Diéguez
Universidad de Málaga

Publicado en *Philosophica Malacitana*, 8 (1995): 49-65.

Resumen

La recepción de la teoría atómica de Dalton por parte de los científicos del siglo XIX fue bastante matizada. La mayoría aceptó el valor heurístico y utilitario de la hipótesis atómica, pero permaneció escéptica sobre la existencia real de los átomos. Aún a finales de siglo, con motivaciones diversas, pero desde posiciones filosóficas igualmente antirrealistas, Mach, Duhem, Poincaré y Ostwald consideraban los átomos como una mera ficción instrumental, un modo de salvar los fenómenos del que la ciencia haría bien en desprenderse una vez cumplida su misión.

Abstract

The reception of Dalton's atomic theory by nineteenth-century scientists was quite varied. Most of them accepted the heuristic and utilitarian value of the atomic hypothesis, but remained sceptic about the real existence of atoms. Even at the end of the century, from equally antirealist philosophical positions, Mach, Duhem, Poincaré and Ostwald considered the atoms to be a mere instrumental fiction, a way of saving the phenomena, which science should dispose of as soon as its mission was fulfilled.

I

La moderna teoría atómica se originó en el siglo XIX con los trabajos del químico inglés John Dalton. Hasta entonces numerosos filósofos y científicos –desde Leucipo hasta Newton– habían defendido la existencia de los átomos; pero esa creencia se fundamentaba en preferencias filosóficas sobre la naturaleza última de las cosas y apenas sufrió modificaciones significativas desde que fue formulada por vez primera en la antigua Grecia. Con el surgimiento de la ciencia moderna el atomismo dejó de ser una curiosidad filosófica y pasó a ser un recurso explicativo ampliamente discutido por defensores y detractores.¹ La progresiva rebelión que desde los albores mismos del Renacimiento, y a lo largo de todo él, se produjo contra la física aristotélica, agotada ésta por las disputas escolásticas y sobrepasada por el copernicanismo, favoreció la adhesión a concepciones muy diferentes sobre la naturaleza del mundo físico. Entre ellas el atomismo resultaba particularmente atrayente debido a la simplicidad de sus recursos –fue aceptado, por ejemplo, por un gran antiaristotélico: Giordano Bruno. Pero lo que quizás resultó decisivo para su afianzamiento dentro de la ciencia naciente (a pesar de la oposición del propio Descartes) fue su concordancia con un pujante mecanicismo, que terminó por abrirse paso durante el siglo XVII bajo la influencia del cartesianismo y de la física galileana. Gassendi, Boyle y, al final del siglo, Newton fueron entonces los mejores valedores de la hipótesis atómica, aunque no los únicos.² El primero propugnó un atomismo inspirado en Epicuro, buscando su compatibilidad con la doctrina cristiana. El segundo se inclinó por una postura conciliadora entre el atomismo antiguo y la filosofía corpuscular baconiana y cartesiana, y sostuvo que su hallazgo de una relación inversamente proporcional entre la presión de un gas y su volumen podía ser perfectamente explicado si se suponía que los gases estaban formados por pequeños corpúsculos materiales. Newton recurrió también a un atomismo de corte epicúreo en el que introdujo como novedad fuerzas que actuaban entre los átomos. Para él, la materia estaba formada por partículas con masa, indivisibles y homogéneas, rodeadas de vacío y sujetas a atracciones y repulsiones mutuas.³

1. En la Edad Media muy pocos aceptaron el atomismo en sentido estricto. Entre ellos destaca Nicolás de Autrecourt. No obstante, numerosos alquimistas pensaban que los cuatro elementos (o los tres principios paracelsianos) formaban pequeñas partículas que se combinaban en los cuerpos compuestos, en lugar de constituir una mezcla homogénea.

2. Podrían citarse, entre otros, los nombres del matemático inglés Thomas Hariot [1560-1621], del médico alemán Daniel Sennert [1572-1637], el botánico Joachim Jung [1587-1657], y el médico francés Claude Berigard [1578-1640]. Cf. R. H. Kargon (1966), y G. B. Stones (1928). Galileo también aceptó, con titubeos en los que no es este lugar para entrar, la explicación atomista de algunos fenómenos físicos, como el calor. Cf. P. Redondi (1990). En cuanto a Bacon y Descartes, su posición era peculiar. Para ambos, los corpúsculos que interesaban a la ciencia no eran "átomos" en sentido estricto, sino las partículas efectivamente halladas en los cuerpos, que podían ser divisibles en principio. Frente a los atomistas, ambos negaban además la existencia del vacío, Bacon por considerar que los cuerpos experimentan un movimiento de conexión que causa el contacto mutuo e impide el vacío (*Novum Organon*, II, 48), Descartes porque definía e identificaba la sustancia corpórea con la extensión, lo que impedía que hubiera extensión sin materia (*Principia philosophiae*, II, 4-20). No obstante, los corpuscularistas como Bacon y Descartes coincidían con los atomistas propiamente dichos en explicar la naturaleza sobre la base del movimiento y colisiones de partículas.

3. Cf. *Optica*, cuést. 31.

Sin embargo, mientras que en Gassendi el atomismo estaba aún desligado de indagaciones experimentales acerca de la constitución de la materia y era demasiado filosófico, los trabajos de Boyle y de Newton intentaron por primera vez –con un éxito todavía escaso– que la hipótesis atómica jugase, a través de la experimentación, un papel relevante en la explicación científica del mundo. Papel que no haría sino afianzarse hasta que Dalton publicara en 1808 la primera parte de su *New System of Chemical Philosophy* (la segunda parte apareció en 1810 y la tercera en 1827). El principal logro de esta obra estuvo en utilizar el atomismo para dar cuenta de las regularidades observadas en ciertos procesos de reacción química, y ello mediante la audaz combinación del concepto de elemento químico con las ideas atomistas tradicionales.

Ha sido habitual sostener que el concepto de elemento químico fue usado en un sentido próximo al actual en la obra de Boyle de 1661 *The Sceptical Chymist*, pero la inexactitud de esta opinión ha sido ya suficientemente probada.⁴ Para los filósofos y alquimistas de la Edad Media y el Renacimiento los elementos eran (como Boyle se limita a constatar) sustancias simples de las que se componían los cuerpos y en las cuales éstos podían resolverse en última instancia. Consideraban además que *todos* los elementos intervenían, en diferente proporción, en la formación de cada una de las sustancias compuestas. Generalmente se aceptaban como elementos los cuatro de la tradición filosófica: agua, tierra, aire y fuego, o los tres principios de los iatroquímicos paracelsianos: sal, azufre y mercurio. Boyle, abundando en lo que ya hiciera van Helmont unos años antes, impugnó esas ideas como erróneas o no probadas –de ahí el título de su obra–, y para ello se sirvió de numerosos contraejemplos experimentales. Si se entendía que los elementos eran las sustancias simples en las que se resuelven los cuerpos mixtos, entonces era posible mostrar cómo de algunos cuerpos como el oro y la plata, que a la sazón eran tenidos por mixtos, no se podían extraer todos los elementos; o bien cómo de otros cuerpos se extraían más componentes que los aceptados como elementales; o bien cómo las sustancias consideradas elementales podían ser producidas a partir de otras.

De hecho, como señala Hall, Boyle "ni siquiera sacó una conclusión definida sobre si existen tales sustancias sencillas".⁵ Esto se explica si se tiene en cuenta las peculiaridades de su "filosofía corpuscular". Por un lado, declaraba vana la pretensión de los alquimistas peripatéticos y de los químicos paracelsianos de derivar las cualidades de un cuerpo (frío, calor, fragilidad, fusibilidad, etc.) a partir de las cualidades propias de cada elemento. En su opinión, las cualidades de los cuerpos eran el producto de las diferentes agregaciones de partículas y no de la combinación de las cualidades de las supuestas sustancias elementales. Abría así una separación mayor entre las propiedades químicas conocidas y los constituyentes últimos de la materia. Por otro lado, intentaba salvar esta separación reduciendo las propiedades químicas de los cuerpos a principios mecánicos, esto es, a movimientos, formas y tamaños del mismo tipo de corpúsculos. Pero dada la imposibilidad práctica de concretar en cada caso mediante procedimientos al uso algunas de estas características físicas de los corpúsculos y conectarlas con propiedades químicas, se hacía inútil cualquier intento de aislar con certeza algún elemento. Además, la idea de que el sustrato último de la

4. Cf. T.S. Kuhn (1952), M. Boas (1958), pp. 95-98, y A.R. Hall (1985).

5. Hall (1985), p. 415.

materia estaba constituido por corpúsculos homogéneos, que sólo difieren en su disposición o en sus propiedades mecánicas, dejaba abierta la posibilidad de la transmutación entre sustancias cualesquiera, por ejemplo, de los metales en oro, y esto chocaba frontalmente con la tesis de que existían elementos perdurables.⁶ He aquí las razones por las que algunos historiadores, como Kuhn, han sostenido la tesis de que la química estructural de Boyle ejerció en realidad muy poca influencia sobre el desarrollo posterior de la química, siendo mucho mayor el peso de las investigaciones que tomaron como fuente de inspiración el atomismo estático de Jung, Clave y Sennert, en el cual no había sitio para la transmutación.

Un siglo más tarde, en 1789, Lavoisier ofrecía en su *Traité élémentaire de chimie* lo que puede aceptarse como la formulación moderna del concepto de elemento químico: el último término alcanzable mediante el análisis químico. Y la acompañaba de una tabla donde se recogían treinta y tres sustancias elementales, como el oxígeno, el hidrógeno, el ázoe (nitrógeno), el calórico, etc., la mayor parte de las cuales son correctas desde el punto de vista actual. Pero, a cambio, Lavoisier tuvo buen cuidado en desligar la determinación de estos elementos de cualquier especulación sobre la naturaleza atómica de la materia. A su juicio, identificar a los elementos con los átomos era condenarse a no saber nada sobre aquéllos. Su concepto de elemento era de carácter operativo, apegado a la práctica química y lejos de hipótesis físicas puramente teóricas. Elementos son aquellas sustancias a las que *podemos* reducir los cuerpos por descomposición.

Así pues, mientras que Boyle no consiguió articular su filosofía corpuscular mecanicista de modo que fructificase en el hallazgo de auténticos elementos químicos, de cuya existencia incluso dudaba, Lavoisier, que tuvo un éxito más que notable en tales hallazgos, apartó de su trabajo la hipótesis atómica por suponerla improcedente, si no perjudicial. El primer mérito de Dalton, y lo que precisamente despertó el mayor rechazo en sus críticos, fue unir ambas cosas, elementos y átomos. Todo elemento químico debía estar constituido por *un tipo diferente de átomos* y siempre el mismo; a su vez, los compuestos químicos estarían formados por la combinación de átomos de distintos tipos, organizados en "átomos compuestos" (el concepto de molécula no fue establecido con precisión hasta después de mediados de siglo)⁷. No existe además transmutación de átomos; en las reacciones químicas éstos cambian únicamente su distribución.

II

6. Cf. Kuhn (1952), pp. 26 y 28. Según Kuhn, Boyle pensaba que ninguna sustancia elemental perdurable, esto es, no transmutable, había sido descubierta hasta entonces, y que buscarlas no iba a producir ningún progreso en la química.

7. Todavía en 1860 reinaba la confusión acerca de los términos 'átomo' y 'molécula'. Ese año, en la agenda del importante congreso internacional de químicos que se celebró en Karlsruhe figuraba la cuestión de si era necesario hacer una diferencia entre las expresiones *molécula* y *átomo*, refiriéndose la primera a las partículas más pequeñas de un cuerpo que pueden intervenir en una reacción química y que tienen propiedades físicas bien definidas, y la segunda a las partículas aún más pequeñas que forman las moléculas. La cuestión quedó sin resolver en dicho congreso. Cf. A. Pais (1984), p. 93.

A pesar de lo que pueda inferirse de algunas historias superficiales de la química, la teoría de Dalton estuvo lejos de alcanzar una aceptación general, especialmente en lo que a su concepción del átomo se refiere. La ambigüedad mencionada en el uso de la palabra 'átomo' para referirse tanto a las partículas simples de los elementos, como a las partículas de los compuestos resultantes de las reacciones químicas, no hacía mucho en favor de su propuesta. Y había además otros problemas. Contradecía, por ejemplo, el punto de vista prevaleciente sobre la homogeneidad de la materia, ya que los más de treinta elementos conocidos se convertían en otros tantos tipos de materia; y chocaba con la separación decretada por Lavoisier entre los elementos químicos y los átomos físicos.⁸ Como ahora veremos, fue este último aspecto el que levantó más oposición entre los químicos de la época. Así, mientras éstos adoptaron sin reparos las consecuencias que Dalton sacaba en cuanto a las reglas de combinación de cada elemento en función de sus pesos relativos, desestimaron en su mayoría la hipótesis atómica en la que Dalton sustentaba esas consecuencias.

Durante el siglo XVIII la química se había ocupado ampliamente de desarrollar la idea de las *afinidades* o *atracciones electivas*: se pensaba que algunas sustancias poseían disposiciones o tendencias específicas y constantes en cada caso para combinarse con otras. Ya Newton había destacado el fenómeno en su *Optica*, pero el primero que estableció experimentalmente y presentó (en 1718) una tabla de afinidades entre diversas sustancias fue Etienne-François Geoffroy. En dicha tabla, y en otras similares, aparecían una serie de columnas encabezadas por un reactivo común, y bajo cada uno de ellos se anotaban las sustancias con las que reaccionaba, comenzando por las más afines y terminando por las menos. A diferencia del atomismo anterior, la teoría de las afinidades electivas daba razón de cuáles eran las reacciones químicas que cabía esperar dadas las sustancias correspondientes. Ciertamente es que faltaba una explicación del hecho mismo de la afinidad, es decir, de por qué las sustancias manifestaban esas fuerzas atractivas, pero tampoco la fuerza de la gravedad contaba con una explicación semejante, al menos en el sistema newtoniano, y, sin embargo, terminó por ser aceptada. De hecho, durante algún tiempo se pensó que ambas fuerzas eran del mismo tipo.

Los intentos de medir con precisión las proporciones en que se unen los elementos en los diferentes compuestos sirvieron para introducir el número en la expresión de las reacciones químicas, lo que no era una aportación desdeñable. Pero no sólo eso; a finales de siglo dieron otros frutos cuya importancia se calibró adecuadamente en la centuria siguiente gracias, sobre todo, a la obra de Dalton. En 1792 el alemán Jeremiah B. Richter publicó (si bien el hecho pasó prácticamente desapercibido) los resultados de sus investigaciones sobre composición de bases y ácidos. Había encontrado que la cantidad de un ácido cualquiera que se necesita para neutralizar una cantidad determinada de una base (y viceversa) es siempre una cantidad fija, o sea, que los pesos de ambos, ácido y base, no se combinan en cualquier proporción, sino en función de unos *pesos equivalentes*.⁹ Unos años más tarde, en 1799,

8. Cf. L. A. Whitt (1990), p. 57.

9. Este hallazgo había sido publicado ya, aunque en forma más imprecisa, por Karl F. Wenzel en 1777, y fue luego generalizado en forma de ley bajo el nombre de *ley de las proporciones equivalentes* o también *ley de los pesos de combinación*. Dicha ley engloba en sí misma las otras dos que se mencionan a continuación en el texto, y su enunciado es el siguiente: Los pesos de dos elementos que reaccionan con el mismo peso de un tercer elemento, también pueden reaccionar entre sí.

el francés Joseph Louis Proust, profesor en Madrid, publicaba lo que se conocería como *ley de las proporciones definidas o constantes*: todos los compuestos contienen proporciones definidas de sus elementos constituyentes, o dicho de otro modo, la proporción de los pesos de los elementos que aparecen en un compuesto es siempre la misma (por ejemplo, según hoy sabemos, en la composición del agua la proporción de los pesos del hidrógeno y del oxígeno es de 1:8, así 9 gramos de agua contienen siempre 1 g. de hidrógeno y 8 g. de oxígeno). Entre 1801 y 1808 Berthollet mantuvo con Proust una fuerte polémica sobre esta ley. Berthollet pensaba que la combinación de elementos para formar compuestos podía variar ampliamente según se preparase el compuesto. No obstante, las pruebas experimentales aportadas por Proust lograron convencer a los químicos de la aceptabilidad de la ley.

Dalton estimaba que sus ideas sobre los átomos eran una base teórica mejor que la teoría de las afinidades para estos resultados experimentales. Afirmaba que, así como las leyes de Kepler sólo habían encontrado una explicación satisfactoria en la mecánica de Newton, la ley de Proust quedaba explicada si se suponía que en las reacciones químicas el número de átomos de cada elemento que se combina lo hace según proporciones definidas. Sin la hipótesis atómica el hecho de que se mantuvieran esas proporciones sería un misterio.¹⁰ Dalton propuso además una nueva ley relativa a las proporciones en la combinación de elementos: la *ley de las proporciones múltiples*. Según la misma, cuando dos elementos se unen en proporciones diversas para formar más de un compuesto, estas proporciones diversas guardan entre sí una razón simple (por ejemplo, en el dióxido de carbono (CO_2) la razón de los pesos de oxígeno y carbono que se combinan es 8:3, mientras que en el monóxido de carbono (CO) la razón de estos mismos elementos es 4:3, y como puede verse, la razón entre ambas proporciones es simple, 2:1). Esta ley podía explicarse suponiendo que los átomos de un elemento pueden combinarse con más de un átomo (dos, tres o los que fueran) de otro elemento. En el ejemplo propuesto se comprueba que en el dióxido de carbono el peso del oxígeno que se combina con una cantidad dada de carbono es el doble que en el monóxido de carbono, luego era de suponer que en el dióxido de carbono un átomo de carbono se une con una cantidad doble de átomos de oxígeno que en el caso del monóxido de carbono.¹¹

Pertrechado con este bagaje, Dalton pudo ofrecer una tabla de los pesos atómicos relativos de algunos elementos y compuestos. Tomando el peso del hidrógeno como unidad, el nitrógeno y el carbono tendrían un peso atómico 5, el oxígeno 7, el fósforo 9, etc. William H. Wollaston elaboró otra tabla tomando como base el oxígeno en lugar del hidrógeno, y fue él quien popularizó para esos pesos relativos el nombre '*pesos equivalentes*'.

La mayor parte de los químicos a comienzos del XIX asumían algún tipo de teoría corpuscular sobre la materia, pero no pasaban de considerar estas teorías como hipótesis metafísicas, al igual que había hecho Lavoisier. La fría recepción que dieron a la teoría de Dalton fue, pues, consecuente con esta postura. Como ha escrito L. A.

10. Cf. W. H. Brock (ed) (1967), pp. 4-5.

11. Este hecho queda recogido en los nombres actuales de estas sustancias, que son los que hemos empleado. Dalton llamaba óxido carbónico al monóxido de carbono y ácido carbónico al dióxido de carbono.

Whitt, "para los químicos de la época el atomismo daltoniano era digno de prosecución (*pursuit*), pero no de aceptación (*acceptance*)".¹² Atribuían a la hipótesis atómica un valor heurístico apreciable, pero lo único que la evidencia empírica probaba era que los elementos se combinaban siguiendo ciertas regularidades en la proporción de sus pesos. Que la razón de esas regularidades fuera la existencia real de los átomos era algo más que discutible para casi todos. William Whewell supo recoger el sentir general cuando afirmó que la utilidad de la teoría atómica no implicaba la realidad de los átomos. Estas son sus palabras:

En la medida en que la suposición de átomos como estos de los que hemos hablado sirve para expresar las leyes de la composición química a las que nos hemos referido, es una generalización clara y útil. Pero si la teoría atómica es presentada como afirmando (y su autor, el Dr. Dalton, parece haberla presentado con tal intención) que los elementos químicos están realmente compuestos de *átomos*, es decir, de partículas no divisibles, no podemos dejar de señalar que para tal conclusión la investigación química no ha proporcionado, ni puede proporcionar, una evidencia satisfactoria.¹³

Por eso los químicos, incluidos los más notorios, como Humphry Davy, presidente de la *Royal Society*, se atuvieron sólo a lo que consideraban la parte empíricamente probada de las investigaciones de Dalton, aquella que igualmente se recogía en la tabla de pesos equivalentes de Wollaston (llamados también 'equivalentes' a secas). Los equivalentes podían ser utilizados en los cálculos mientras se dejaba de lado cualquier especulación teórica sobre sus causas. Se aceptaba el *atomismo químico* de Dalton: la atribución de pesos relativos a los distintos elementos para explicar la formación de compuestos, pero no se aceptaba su *atomismo físico*: las tesis sobre la existencia real de partículas físicamente indivisibles, así como sobre sus propiedades y características. El átomo se entendía como "una unidad de reacción química, más que como una entidad material".¹⁴

De nuevo una posición instrumentalista parecía imponerse en la historia de la ciencia. Berzelius, por ejemplo, prefirió expresar las leyes de Dalton sobre las proporciones en términos de 'volúmenes', en lugar de 'átomos'; y Benjamin C. Brodie quiso incluso prescindir de cualquier referencia a los átomos, se los considerara como fuese, mediante el desarrollo de un simbolismo que, partiendo de las operaciones que dan lugar a las diversas sustancias, intentaba calcular, a modo de un álgebra, cómo se combinan éstas entre sí, sin entrar para nada en la cuestión de su estructura material.¹⁵

12. L. A. Whitt (1990), p. 59.

13. W. Whewell (1967), vol. I, p. 422.

14. M. J. Nye (1972), p. 3. Cf. Rocke (1979), p. 519 y (1984), p. 13. Todavía en 1867 el gran químico alemán Friedrich August Kekulé rechazaba los átomos si se entendía el término "en su significado literal de partículas indivisibles de materia", pero los aceptaba en el sentido químico operacional de "partículas de materia que no experimentan ulterior división en las metamorfosis químicas". (Citado en Rocke (1984), p. 316).

15. El número de citas que cabría aducir como ilustración de este instrumentalismo sobre el átomo es muy extenso. Como muestra un botón: en 1818 el químico alemán L. G. Meinelke escribía: [aunque] "juguemos a veces con los átomos químicos y las partículas, sin embargo la ciencia en Alemania ha tomado un curso demasiado serio y profundo como para dar alguna importancia a tales trivialidades hiperhipotéticas". (Citado en Rocke (1979), p. 534). No obstante, en 1832, aunque con escasa audiencia, el químico irlandés Michael Donovan se encargó de denunciar que no era en absoluto evidente que la aceptación de los equivalentes no estuviera impregnada de suposiciones tan discutibles como las del atomismo. En el mismo sentido se expresaba un atomista inglés, discípulo de Comte, A. W. Williamson, en su discurso presidencial de 1869 en la *London Chemical Society* (para

La disputa sobre la existencia real de los átomos y el papel de la teoría atómica se prolongó a lo largo de todo el siglo XIX. W. H. Brock y D. M. Knight han cifrado en tres los frentes de ataque al atomismo en aquel entonces: por un lado estaban los que, en analogía con el instrumentalismo una vez adoptado en astronomía, consideraban que las leyes matemáticas debían reemplazar a las explicaciones causales; por otro lado estaban los que pensaban que las entidades inobservables debían ser excluidas de la ciencia; y finalmente había quienes rechazaban la idea de que pudiese haber muchos tipos diferentes de materias elementales últimas.¹⁶ Todos ellos, junto con los indecisos o los que aceptaban sin más la hipótesis atómica como una mera ficción útil, formaron durante bastante tiempo el grueso de la comunidad científica. Y cuando, por alguna razón, empleaban la palabra 'átomo' en sus escritos, lo hacían como un recurso didáctico para explicar ciertos hechos experimentales, pero sin comprometerse con su existencia.¹⁷ En realidad, 'átomo', 'molécula' y 'equivalente' fueron términos usados frecuentemente con significados intercambiables.

III

Pero la química no era el único ámbito en el que se discutía acaloradamente sobre los átomos. A mediados de siglo la teoría atómica recibió un apoyo determinante desde el lado de la física. A partir de la década de 1850 Rudolf Clausius, James Clerk Maxwell y Ludwig Boltzmann desarrollaron la teoría cinético-molecular de los gases, cuyo éxito vino a reforzar –aunque también a corregir– el modelo atómico de Dalton.¹⁸ La idea de explicar el comportamiento de los gases mediante el supuesto de que están constituidos por partículas en movimiento libre que chocan incesantemente entre sí no era una idea nueva.¹⁹ En el siglo XVIII Daniel Bernoulli la había expuesto claramente. Pero entonces no pudo rivalizar con el modelo estático prevaleciente. Este modelo

estos datos y para toda la interesante discusión que vino acarreada por el discurso de Williamson véase W. H. Brock (ed) (1967), pp. 10-30). Resulta curioso comprobar cómo, a pesar de los hechos, la historia real de la recepción del atomismo daltoniano es maquillada en los libros de texto. En el manual de química escrito por el premio Nobel de química Linus Pauling leemos: "En la época en que se formularon [las leyes sobre proporciones], se vio que la teoría atómica proporcionaba una explicación sencilla de ellas; y si bien éstas no requieren que sea cierta la teoría atómica, la mayoría de los químicos la aceptaron, puesto que procuraba la explicación más sencilla de las relaciones químicas ponderables". L. Pauling (1961), p.145.

16. Cf. W. H. Brock (ed) (1967), p.1.

17. Cf. W. H. Brock (ed) (1967), p. 10.

18. M. J. Nye escribe: "Aparentemente los químicos sólo comenzaron a pensar más en serio sobre la posibilidad inminente de establecer experimentalmente el status ontológico de los átomos siguiendo el trabajo de los físicos en la teoría de los gases"; y más adelante añade: "Fue de hecho el desarrollo de la teoría cinética el que convenció a algunos químicos de la identidad de los átomos físicos y químicos", Nye (1976), pp. 251 y 254.

19. Se ha de señalar, no obstante, que para explicar el comportamiento de los gases se recurrió en principio a dos modelos atómicos distintos. Uno, en la línea de Epicuro, Newton y Dalton, mantenía, según hemos visto, que los átomos eran partículas sólidas y elásticas moviéndose en el espacio; otro, más en la línea de los átomos de Roger Boscovich, consideraba a éstos como centros de vórtices en el fluido etéreo, que actuaban como puntos de fuerza, atrayéndose o repeliéndose, de modo que la materia toda quedaba reducida a "un modo de movimiento". Este último modelo fue defendido entre otros por Faraday, por William Thomson, más conocido como Lord Kelvin, por William Rankine, por J. J. Thomson, e incluso por J. C. Maxwell y A. A. Michelson, pero fue perdiendo terreno poco a poco y el propio W. Thomson lo abandonó en torno a 1887. Cf. R. H. Silliman (1963) y E. E. Daub (1967).

describía los gases como una nube de partículas estacionarias, rodeadas por un fluido – el *calórico*–, y sujetas por fuerzas repulsivas que las mantienen vibrando en torno a posiciones de equilibrio. Bernoulli llegó a la conclusión de que la presión que ejerce un gas sobre las paredes de un recipiente es debida al choque contra ellas de millones de partículas. También John Herapath publicó en 1836 un artículo en el que utilizaba la teoría cinética para calcular la relación entre la presión de un gas y la velocidad de las partículas que lo componen; y James Prescott Joule se basó en dicha teoría para explicar los resultados de sus experimentos sobre la conversión del calor en trabajo mecánico.²⁰

No obstante, la elaboración precisa y sistemática de la teoría comenzó con Clausius. Este publicó en 1857 un artículo fundamental titulado "Sobre la naturaleza del movimiento que llamamos calor". Allí atribuía a las moléculas de un gas, además del movimiento en línea recta, un movimiento rotacional y otro vibratorio. Con ellos explicaba las diferencias entre los estados sólido, líquido y gaseoso, así como el paso de un estado a otro. Afirmaba también que la temperatura absoluta de un gas era proporcional a la energía cinética (*vis viva*) de sus moléculas considerada en su valor promedio, introduciendo el tratamiento probabilístico en el análisis del movimiento molecular. Este último aspecto fue desarrollado en especial por Maxwell, quien propuso distribuir las velocidades de las moléculas de un gas siguiendo una curva de distribución normal, de modo que las velocidades medias fueran siempre las más probables. Boltzmann completó el trabajo cuando, al igual que hiciera Maxwell, interpretó el segundo principio de la termodinámica como una ley estadística basada en las probabilidades de las distribuciones moleculares, y ofreció una definición precisa de la entropía en función de dichas probabilidades. Con eso daba además una solución a la paradoja de la irreversibilidad, que amenazaba con declarar incompatibles las leyes de la mecánica y las de la termodinámica.

Otro acontecimiento significativo vino a añadirse en aquel momento de vacilaciones a los que ya contaban en favor de la existencia de los átomos. El encuentro internacional de químicos que se celebró en Karlsruhe en 1860 tuvo como un objetivo principal conseguir un acuerdo general sobre la espinosa cuestión de los átomos. En lo que al atomismo físico se refiere ese objetivo no fue alcanzado. Sin embargo, al final de las sesiones del congreso, el químico italiano Stanislao Cannizzaro repartió copias de su intervención, que había despertado gran interés. En ella recordaba que los trabajos de su compatriota Amedeo Avogadro permitían desarrollar un método para determinar con exactitud los pesos atómicos y las fórmulas moleculares. Dicho método se basaba en la llamada 'hipótesis de Avogadro': volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de temperatura y presión, contienen igual número de moléculas. Una hipótesis que había sido formulada en 1811, pero que había sido rechazada por muchos, incluido el propio Dalton. El artículo de Cannizzaro terminó por despejar las dudas sobre los átomos físicos que quedaban entre muchos de los asistentes.²¹

IV

20. Cf. G. Holton (1988), pp. 511 y ss, y P. M. Harman (1990), pp. 156 y ss.

21. Cf. A. J. Rocke (1984), pp. 292-299, y P. M. Harman (1990), p. 155.

Sin embargo, no todos los químicos y los físicos se mostraban aún convencidos de la existencia real de los átomos, y para algunos de los más influyentes esa hipótesis seguía siendo una suposición no probada o simplemente errónea. Entre las voces más firmes que se alzaron para decir que la hipótesis atómica no era más que un modo de "salvar los fenómenos" estuvieron la del químico energetista Wilhelm Ostwald y la de los científicos de inspiración positivista Ernst Mach, Pierre Duhem y Henri Poincaré.²²

Wilhelm Ostwald fue una de las figuras más relevantes de la química de final de siglo. En 1909 recibió el Premio Nobel por sus investigaciones sobre catálisis, y contaba con la admiración y el respeto de todos. El joven Einstein, por ejemplo, solicitó una plaza de ayudante en su laboratorio. No obstante Ostwald mantenía unas opiniones muy tajantes sobre el atomismo, inspiradas en su peculiar concepción de la física. Ostwald pensaba que la hipótesis atómica seguía sin ser verificada después de mucho tiempo y que su anterior valor heurístico estaba perdiéndose en favor de la emergente termodinámica.²³ Para ésta el concepto fundamental no era el de materia, sino el de energía, y Ostwald, junto con otros físicos y químicos, pretendió orientar toda la física en torno a este último concepto. Su propuesta fue el *energetismo*, término que tomó de Rankine.

El energetismo partía de la negación del reduccionismo mecanicista que había impregnado las investigaciones físicas y químicas a lo largo del siglo. Frente a los intentos de basar la química en modelos mecánicos, como el atomismo, Ostwald se adhería a los trabajos de S. Arrhenius y J. H. van't Hoff, que buscaban para la química una fundamentación en la termodinámica, entendiendo los procesos químicos, al igual que el resto de los procesos naturales, como transformaciones de la energía. En consecuencia, los energetistas se opusieron a la reducción que Boltzmann hacía de las leyes de la termodinámica a leyes estadísticas de los movimientos moleculares; era la mecánica la que debía reducirse a la termodinámica y no al contrario.²⁴ La realidad última, por decirlo así, no es la materia, sino la energía. La materia no sería más que una manifestación derivada de la energía. Ostwald consideraba que lo único que se ve en las ecuaciones de la termodinámica es la energía en sus diferentes formas, sin referencia alguna a la naturaleza de la materia. Por ello "átomos, moléculas e iones debían ser tomados sólo como ficciones matemáticas para explicar las operaciones de la energía".²⁵

Puede parecer que los medios empleados por Ostwald para acabar con el atomismo fueron desproporcionados, puesto que tuvo que eliminar por completo la

22. Entre los energetistas cabe citar también a Georg Helm y a H. Saint-Claire Deville. Otros antiatomistas en diverso grado y por diversos motivos fueron J. B. Dumas, M. Berthelot, B. C. Brodie, al que ya hemos mencionado, y E. J. Mills.

23. Cf. Nye (1976), p. 258.

24. Boltzmann y los energetistas mantuvieron una encendida polémica en el encuentro de científicos alemanes en Lübeck en 1895. Arnold Sommerfeld ha descrito así el hecho: "El campeón del energetismo era Helm; detrás de él estaba Ostwald, y detrás de ambos la filosofía de Ernst Mach (quien no estaba presente en persona). El oponente era Boltzmann, secundado por Felix Klein. La batalla entre Boltzmann y Ostwald se pareció mucho a la lidia de un toro por un ágil torero. Sin embargo, esta vez el toro venció al torero a pesar de su agilidad. Los argumentos de Boltzmann atravesaron de parte a parte (*struck through*)". (Citado en E. E. Daub (1969), p. 330).

25. N. R. Holt (1970), p. 387.

noción de materia.²⁶ Sin embargo, no sería exacto pensar que el energetismo surgió en exclusiva como consecuencia de una actitud antiatomista. Si su única motivación hubiese sido desterrar la hipótesis atómica, habría sido, en efecto, un esfuerzo desproporcionado. Primero porque no se adelantaba mucho dejando de lado el concepto de materia junto con el de átomo, y segundo porque la hipótesis atómica era aún bastante problemática y en general se la aceptaba sólo con reservas. Detrás del energetismo había más que simple antiatomismo. Había una concepción fenomenalista de la investigación científica inspirada en la filosofía de Mach, un desencanto con respecto al programa reduccionista que había dominado la ciencia del siglo XIX, y una gran fascinación por el concepto recién acuñado de 'energía', que abría nuevas posibilidades y al que no se quería anclar en viejos conceptos. El energetismo no fue tanto un movimiento de reacción anti-átomo, como una búsqueda de un nuevo orden conceptual y teórico en la ciencia. No es extraño por ello que cuando en 1908 Ostwald se vio obligado a cambiar su posición sobre la existencia de los átomos, transformara el energetismo en una especie de credo político y social, cercano a lo que hoy llamaríamos eco-pacifismo, cuya máxima principal era: "No despilfarres energía, conviértela en una forma más útil".²⁷

El energetismo en una variante moderada, es decir, como subordinación de toda la física, y en especial de la mecánica, a la termodinámica, fue adoptado por Pierre Duhem. Si a ello se une un positivismo de inclinación convencionalista, se obtiene su posición con respecto a la existencia de los átomos. Los únicos enunciados susceptibles de verdad o falsedad son, según su conocida opinión, los enunciados que expresan "hechos de experiencia". Aquellos otros que son usados en una teoría pero no expresan hechos, no son ni verdaderos ni falsos, sino "cómodos" o "incómodos". Por eso un físico puede utilizar incluso hipótesis contradictorias para explicar fenómenos distintos, si ello le resulta conveniente.²⁸ En tal contexto, la hipótesis atómica no pasa de ser una de esas hipótesis posibles para interpretar hechos. Ahora bien, lo que importa en la ciencia es la ordenación lógica de un gran número de leyes bajo una serie de principios comunes. Sujetar estos principios a "suposiciones concernientes a las realidades que se ocultan bajo las apariencias sensibles" es una tarea "estéril y perdedera".²⁹ En resumen, Duhem defendía una posición instrumentalista con respecto al atomismo. La cuestión no es saber si los átomos existen o no, sino evaluar la hipótesis atómica para ver si es la más cómoda, la más conveniente, la más útil para interpretar los hechos. Y sobre eso él tenía sus reservas. Aquél que estudie la historia de la física -escribe en 1905- verá "las tentativas de explicación basadas en el atomismo [...] como esfuerzos del espíritu que quiere imaginar lo que sólo debe ser concebido; las verá renaciendo sin cesar, pero siempre condenadas al fracaso".³⁰ También Poincaré, cuyo convencionalismo era

26. Cf. A. Brenner (1990), pp. 85-86.

27. Cf. Holt (1970), p. 388.

28. Cf. P. Duhem, "La valeur de la théorie physique", en (1989), p. 507.

29. Cf. P. Duhem (1989), p. 53.

30. Cf. P. Duhem, "Physique de croyant", en (1989), pp. 461-462. El instrumentalismo de Duhem no niega empero la posibilidad de acceder a un cierto conocimiento de la realidad, en la medida en que "un acto de fe" injustificable pero irrefrenable nos asegura que una buena teoría no es "un sistema puramente artificial, sino una clasificación natural"; o, dicho de otro modo, "suponemos que las relaciones que establece entre los datos de la observación corresponden a relaciones entre las cosas". Duhem (1989), pp. 35-36. Duhem cree que el problema del atomismo es que empieza la casa por el tejado, pretendiendo que es conocimiento lo que no posee más que un carácter hipotético: "Aceptamos que la teoría física puede obtener cierto tipo de conocimiento de la naturaleza de las

más marcado que el de Duhem, consideró como una ventaja del energetismo el que permitía prescindir de los átomos.³¹ En todo caso consideraba al atomismo como una "hipótesis indiferente", es decir, como una metáfora, un artificio de cálculo o un apoyo al entendimiento mediante imágenes concretas.³²

Desde el punto de vista filosófico la posición de Mach fue la más articulada e interesante. Mach no fue un energetista, aunque mostraba cierta simpatía hacia el energetismo, y su filosofía inspiró a Ostwald, así como a Duhem y a Poincaré. Pensaba que el energetismo estaba en el mismo nivel que el atomismo: era un recurso heurístico meramente hipotético. En realidad Mach empezó siendo un atomista en su juventud. En 1863 publicó un libro titulado *Compendium der Physik für Mediciner* en el que usaba y defendía la teoría atómica. A partir de ese momento, sin embargo, Mach comenzó a revisar sus opiniones sobre el tema, y en 1872 rechazó públicamente el atomismo en su opúsculo sobre el principio de conservación de la energía, que llevaba por título *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*.³³ En un artículo de 1894, que era una reelaboración parcial de este tratado, Mach afirmaba: "No se puede negar que, desde Demócrito a nuestros días, ha prevalecido una inconfundible tendencia a explicar *todos* los eventos físicos *mecánicamente*. [...] No cabe ninguna objeción al intento de elucidar las propiedades de los eventos físicos mediante *analogías* mecánicas. Pero la física moderna ha ido *muy lejos* en esta dirección".³⁴

La filosofía fenomenalista que Mach elaboró en su madurez ha sido una pieza clave en la configuración del pensamiento de nuestro siglo. Su influjo sobre Einstein y Heisenberg le hace inspirador de los mayores cambios teóricos que la física ha experimentado desde Newton; y los miembros del Círculo de Viena le tuvieron siempre por su más claro antecesor. La opinión de Mach era ciertamente algo que contaba entre los científicos y los filósofos del momento. Y su opinión sobre el átomo no dejaba lugar a dudas. Se dice que cuando alguien se le acercaba para hablarle de los átomos él replicaba con impaciencia: '¿ha visto usted alguno?'. En varios lugares de su obra compara al átomo con una función matemática, útil para compendiar y ordenar fenómenos, pero arbitraria y carente de realidad objetiva. Uno de los textos más explícitos es el siguiente:

Cuando un geómetra desea comprender la forma de una curva, la resuelve primero en pequeños elementos rectilíneos. Sin embargo, al hacer eso, él es completamente consciente de que estos elementos son sólo recursos (*devices*) provisionales y arbitrarios para comprender por partes lo que no puede comprender como un todo. Cuando encuentra la ley de la curva ya no piensa más en los elementos. De manera similar, no le convendría a la ciencia física hacer caso omiso de la sapiencia recién adquirida por su hermana mayor, la filosofía, y ver en las moléculas y átomos, que son instrumentos variables y económicos creados por ella misma, realidades más allá de los fenómenos, poniendo una mitología mecánica como sustituto del viejo esquema animista o

cosas; pero este conocimiento, que es puramente analógico, aparece como término del progreso teórico, como el límite al que la teoría se aproxima incesantemente sin alcanzarlo jamás. Por el contrario, la escuela de los cartesianos y atomistas sitúa el conocimiento hipotético de la naturaleza de las cosas en el origen de la teoría física". Duhem (1990), p. 187.

31. Cf. H. Poincaré (1968), pp. 139-140.

32. Cf. H. Poincaré (1968), p. 167.

33. Cf. E. N. Hiebert (1970), pp. 79-106; y S. G. Brush (1968), pp. 192-215.

34. E. Mach, "On the Principle of the Conservation of Energy", en (1986), pp. 155 y 157.

metafísico, y creando así un sin fin de problemas espurios. El átomo debe permanecer como una herramienta (*tool*) para representar fenómenos, como las funciones de las matemáticas.³⁵

Por otra parte, en esto el átomo no era, para Mach, diferente de cualquier otra entidad observable o inobservable. No se trata de que los átomos no existan, pero la energía o algún *plenum* material sí. Lo que sucede es que el verbo 'existir' adquiere en su filosofía un sentido especial. Todo lo que existe lo hace como un constructo de "elementos", esto es, de sensaciones o fenómenos. "Un cuerpo es un conjunto relativamente constante de sensaciones táctiles y visuales, asociadas con las mismas sensaciones de tiempo y espacio", escribe al final de *El desarrollo de la mecánica*. Y añade: "la ciencia sólo puede reproducir o representar conjuntos de aquellos *elementos* que ordinariamente llamamos *sensaciones*. Se trata de la *conexión* de esos *elementos*".³⁶ Así pues, el mundo consiste en nuestras sensaciones y la finalidad de la investigación física es fijar el flujo de las mismas. Los objetos, las "cosas", son símbolos mentales ("símbolos que no existen fuera del pensamiento"), los cuales nos permiten conjuntar una serie de sensaciones que poseen cierta estabilidad. Pero son esas sensaciones y no las "cosas" las piezas de las que está constituido el mundo.³⁷ Ahora se trata sólo de aplicar con coherencia esta doctrina a los átomos, y así lo hace Mach: "Desde el momento en que conceptuamos la 'materia' sólo como una idea simbólica que se da inconsciente y naturalmente a un complejo relativamente estable de elementos sensibles, este mismo concepto debe merecernos la artificiosa hipótesis de los átomos y las moléculas de la Física y de la Química".³⁸

Mach cree que la tarea de la ciencia es esencialmente *económica*, consiste en "sustituir o *ahorrar* la experiencia mediante imágenes y representaciones mentales de los hechos, imágenes que son más fáciles de manejar que la experiencia misma y que bajo muchos aspectos la pueden sustituir".³⁹ Por eso se equivocan en su opinión quienes –como los atomistas, aunque no sólo ellos– quieren utilizar los instrumentos de la ciencia para ir más allá de los fenómenos y acceder a una supuesta realidad nouménica:

Los recursos conceptuales de la física, los conceptos de masa, fuerza, átomo, que no tienen otra misión que recordar experiencias económicamente ordenadas, son adscritos por la mayoría de los investigadores a una realidad exterior al pensamiento. Hasta se llega a pensar que esas fuerzas y esas masas son el objeto mismo de la investigación, de modo que una vez conocidas, todo lo que se refiere al equilibrio o al movimiento de esas masas saldría por sí mismo. Quien conociera el mundo sólo a través del teatro, y se enterara de los dispositivos mecánicos de la escena, llegaría sin duda a opinar que el mundo real necesita bastidores y que en cuanto se conocieran éstos, todo se lograría. Así debemos considerar también los medios auxiliares intelectuales que deben usarse para la *representación* del mundo en el *escenario mental*, mas no como *fundamento* del mundo real.⁴⁰

35. Mach, "The Economical Nature of Physical Inquiry", en (1986), pp. 206-207. En otro lugar repite: "La teoría atómica tiene en la física un papel semejante al de ciertas representaciones auxiliares matemáticas: es un *modelo* matemático para la representación de los hechos". Mach, (s.f.), p. 407.

36. Mach (s.f.), p. 423; cf. Mach, "The Economical Nature of Physical Inquiry", en (1986), pp. 208-209.

37. Cf. Mach, (1986), p. 201, (s.f.) p. 401 y (1987), p. 6.

38. Mach (1987), p. 275.

39. Mach (1987), p.399.

40. Mach (1987), p. 422.

Los átomos sólo podrían existir como existen las fuerzas, e incluso como existen las sillas, a saber: como símbolos mentales que compendian sensaciones, las cuales son la única realidad. Ahora bien, tomada en un sentido puramente instrumental, como según Mach ha de tomarse cualquier hipótesis científica, el atomismo no carecía para él de cierto valor heurístico y didáctico. Pero para ser aceptada provisionalmente en la ciencia una hipótesis debe poseer también valor económico en el sentido descrito. Su función esencial consiste en llevar a nuevas observaciones y experimentos que, al confirmarla o modificarla, extiendan nuestra experiencia.⁴¹ Si la hipótesis atómica cumplía adecuadamente esta función era algo que para Mach estaba aún por verse y sobre lo cual osciló a lo largo de su vida.⁴² De cualquier modo, cuando una hipótesis logra su objetivo de conectar fenómenos mediante la determinación precisa de sus relaciones, su tarea ha quedado cumplida y debe autodestruirse, dejando como fruto de su paso las leyes que se hayan obtenido con su ayuda. De manera que el posible triunfo de la hipótesis atómica no podía ser para él ninguna prueba de la existencia de los átomos, sino antes bien una ocasión para desembarazarse de ellos y quedarse con las leyes fenoménicas alcanzadas. Y, en efecto, mientras otros cambiaron de opinión a partir de 1905, Mach no aceptó jamás la existencia de los átomos. Siempre pensó que la función de esta hipótesis, como la de las otras, era meramente instrumental.

Con motivaciones diversas, Mach, Duhem, Poincaré y Ostwald justificaron su postura sobre los átomos como una muestra de prudencia metodológica ante una hipótesis que no estaba probada y que tropezaba con muchas dificultades. Tendían a ver en la creencia de que los átomos existen una adherencia metafísica de la que la ciencia haría bien en desprenderse. Ahora bien, muchos partidarios del atomismo también se mostraban prudentes y poco dogmáticos desde el punto de vista metodológico, lo cual no les impedía aceptar la hipótesis atómica como algo más que una ficción útil. Las palabras de Boltzmann, quien compartía bastantes puntos de la epistemología machiana, reflejan menos dogmatismo que las de sus oponentes: "Aunque las observaciones actualmente disponibles –escribe en 1897– en las que parece observarse directamente un movimiento molecular en los líquidos y gases no son concluyentes, no puede negarse la posibilidad de que lo sean las observaciones futuras [...]. Se puede preguntar sólo qué sería más desventajoso para la ciencia, si la extralimitación que subyace en el cultivo de imágenes semejantes o la gran prudencia que recomienda abstenernos de ellas".⁴³ Por otra parte, como también Boltzmann señala, tan hipotéticos son los átomos como una energía constituida en fundamento de todo.

La evolución posterior de la física dio la razón, aunque en una forma relativa, a Boltzmann, pero no se la quitó del todo a Mach. Boltzmann ya sabía que "la representación de los átomos como puntos materiales y de las fuerzas como funciones

41. Cf., Mach (1906), p. 240.

42. Cf. R. S. Cohen (1970), pp. 139-140, E. N. Hiebert (1970), pp. 86-87, y S. G. Brush (1968), pp. 199 y ss.

43. L. Boltzmann, "Sobre la inevitabilidad del atomismo en las ciencias de la naturaleza", en (1986), p. 123. En otro lugar escribe: "Es sólo una hipótesis que existan semejantes cosas diminutas cuya reunión forma cuerpos perceptibles por los sentidos, como es una hipótesis que lo que nosotros vemos en el cielo está producido por cuerpos tan grandes y lejanos [...]. Tal vez una hipótesis en la que las estrellas de luz sean únicamente emisiones de luz aclare todavía mejor los fenómenos celestes que nuestra astronomía actual; tal vez sea así, pero no es probable. Tal vez la hipótesis atomística sea desplazada por otras, tal vez ocurra, pero no es probable". Boltzmann, "La segunda ley de la teoría mecánica del calor", en (1986), p. 62.

de sus distancias es sin duda provisional".⁴⁴ Y así fue. Lo que quedó del átomo poco después estaba muy alejado de la imagen que se formaron los atomistas del diecinueve. Si el energetismo no tuvo éxito, tampoco lo tuvo el mecanicismo. El ataque de Mach a este último no cayó en saco roto. La nueva física que surgió en los primeros años de nuestro siglo con la teoría de la relatividad y la teoría cuántica no estaba ya basada en una concepción mecanicista del mundo. El giro dado fue tan radical que el debate no pudo plantearse más en esos términos. La materia y la energía dejaron de rivalizar por la prioridad ontológica, puesto que eran estrictamente equivalentes, y el átomo obtuvo partida de nacimiento cuando ya se sabía que no era indivisible (en 1897 J. J. Thomson había postulado la existencia del electrón), sino que estaba formado por partículas con unas propiedades tan extrañas que los físicos tuvieron dificultad en considerarlas "reales". Sorprende el parecido entre las tesis de Mach y lo que Heisenberg afirmara en 1952 sobre las partículas subatómicas: una partícula elemental –decía– "no es una partícula material en el espacio y en el tiempo, sino, de algún modo, sólo un símbolo con cuya introducción las leyes de la naturaleza asumen una forma especialmente simple".⁴⁵ Pero esa es otra historia.

Las escenas finales de la que ahora nos ocupa se desarrollan en los primeros años de nuestra centuria y a ellas dedicaremos unas pocas palabras más. Entre los tres famosos artículos que Einstein publicó en 1905, uno de ellos versaba sobre el movimiento aleatorio de partículas microscópicas en un fluido, el conocido como *movimiento browniano*. En 1828 el botánico escocés Robert Brown había tratado de descifrar por qué los granos de polen suspendidos en el agua se mueven con rapidez de un lado a otro sin causa aparente. A lo largo del siglo se ofrecieron varias interpretaciones del fenómeno, siendo una de las más aceptadas la que lo atribuía a pequeñas corrientes en el líquido debidas a variaciones de temperatura o a radiaciones lumínicas, pero también las hubo que lo ligaban a la agitación de las moléculas del líquido.⁴⁶ En el citado artículo, Einstein se basaba en la teoría cinético-molecular y explicaba el movimiento errático de las partículas como resultado de las colisiones de las moléculas del líquido contra ellas. Seguidamente proporcionaba una ecuación para determinar el desplazamiento medio de las partículas. En ella aparecía la constante N , o número de Avogadro, es decir, el número de moléculas que hay en un mol (molécula-gramo) de cualquier sustancia. La existencia de un valor fijo para N era una consecuencia directa de la hipótesis de Avogadro. En 1905 ya se habían obtenido algunos valores aproximados para N ; el propio Einstein calculó en su tesis doctoral, terminada ese mismo año, el valor $N = 2.1 \times 10^{23}$ (el valor actual es $N = 6.02 \times 10^{23}$), y en trabajos posteriores ofrecería varios métodos distintos para hallar mejores valores.

Poco después, en 1908, el químico francés Jean Perrin conseguía dar un valor más preciso de N a partir del estudio observacional del movimiento browniano. Al año siguiente, contando con este valor, sometió a prueba experimental la ecuación de Einstein (y una similar de Maryan Smoluchowski) esperando refutarlas. Sin embargo, el resultado que obtuvo tras un experimento realmente delicado coincidía aproximadamente con lo que las ecuaciones predecían. En publicaciones que siguieron, especialmente en su obra *Les Atomes* de 1913, Perrin ponía de relieve la asombrosa

44. Boltzmann (1986), p. 114 nota.

45. W. Heisenberg (1952). (Citado en F. Selleri (1986), p. 44).

46. Cf. M. J. Nye (1972), pp. 21-29.

coincidencia de valores que se alcanzaban para N usando hasta trece procedimientos diferentes de estimación basados en fenómenos físicos muy dispares. Una coincidencia tal (valores entre 6 y 7.7×10^{23}) no podía ser fruto del azar, N tenía que representar una magnitud real, tenía que medir el número real de moléculas. Si el supuesto de que existían moléculas (y, por tanto, átomos) conducía a esa igualdad de resultados en el hipotético número de ellas que habría en un mol, era porque realmente había moléculas (y átomos), y así lo entendieron finalmente algunos de los más recalcitrantes.⁴⁷ Ostwald reconoció que los resultados de Perrin "autorizan incluso al científico más cauteloso a hablar de una prueba experimental de la constitución atómica de la materia".⁴⁸ Y Poincaré se expresaba en el mismo sentido: "Las antiguas hipótesis mecanicistas y atomistas –decía– han adquirido en estos últimos tiempos bastante consistencia para dejar casi de aparecernos como hipótesis; los átomos ya no son una ficción cómoda; nos parece, por así decir, que los vemos desde que los sabemos contar. [...] El átomo del químico es ahora una realidad".⁴⁹ Mach y Duhem, sin embargo, se mantuvieron siempre en su opinión.

47. Cf. M. J. Nye (1972), caps. III y IV.

48. W Ostwald (1908), prefacio. (Citado en M. J. Nye (1972), p. 151).

49. H. Poincaré, "Les rapports de la matière et de l'éther" (1912), en (1963), pp. 68-70.

REFERENCIAS

- BOAS, M. (1958), *Robert Boyle and the Seventeenth Century Chemistry*, Cambridge: Cambridge University Press.
- BOLTZMANN, L. (1986), *Escritos de mecánica y termodinámica*, (trad. Javier Ordóñez), Madrid: Alianza.
- BRENNER, A. (1990), *Duhem. Science, réalité et apparence*, Paris: J. Vrin.
- BROCK, W. H. (ed) (1967), *The Atomic Debates*, Leicester: Leicester University Press.
- BRUSH, S. G. (1968), "Mach and Atomism", en *Synthese*, 18, pp. 192-215.
- COHEN, R. S. (1970), "Ernst Mach: Physics, Perception and the Philosophy of Science", en Cohen y Seeger (eds), *Ernst Mach. Physicist and Philosopher*, Dordrecht: Reidel, pp. 126-164.
- DAUB, E. E. (1967), "Atomism and Thermodynamics", *Isis*, vol 58, pp. 293-303.
- (1969), "Probability and Thermodynamics: The Reduction of the Second Law", *Isis*, vol. 60, pp. 318-330.
- DUHEM, P. (1989), *La théorie physique. Son objet, sa structure*, Reproducción facsímil de la 2ª ed. de 1914, Paris: J. Vrin, (1ª ed. 1906).
- (1990), "Logical Examination of Physical Theory", *Synthese*, 83, pp. 183-188.
- HALL, A. R. (1985), *La revolución científica 1500-1750*, (trad. J. Beltrán), Barcelona: Crítica.
- HARMAN, P. M. (1990), *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*, (trad. P. Campos Gómez), Madrid: Alianza.
- HEISENBERG, W. (1952), *Philosophic Problems of Nuclear Science*, New York: Fawcett.
- HIEBERT, E. N. (1970), "The Genesis of Mach's Early Views on Atomism", en R. S. Cohen & R. J. Seeger (eds), *Ernst Mach. Physicist and Philosopher*, Dordrecht: Reidel, pp. 79-106.
- HOLT, N. R. (1970), "A Note on Wilhelm Ostwald's Energetism", *Isis*, vol. 61, pp. 386-389.
- HOLTON, G. (1988), *Introducción a los conceptos y teorías de la ciencias físicas*, (trad. J. Aguilar Peris), Barcelona: Reverté.
- KARGON, R. H. (1966), *Atomism in England. From Harriot to Newton*, Oxford: Clarendon Press.
- KUHN, T. S. (1952), "Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century", *Isis*, vol. 43, pp. 12-36.
- MACH, E. (s.f.), *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*, (trad. J. Barbini), Buenos Aires: Espasa-Calpe, s. f., (1ª ed. en alemán en 1883).
- (1906), *Erkenntnis und Irrtum*, Leipzig: J. A. Barth, 2ª ed. (1ª ed. en 1905)
- (1986), *Popular Scientific Lectures*, (trad. al inglés de Th. J. McCormack), La Salle, Ill.: Open Court, (1ª ed. en alemán en 1894).
- (1987), *Análisis de las sensaciones*, (trad. E. Ovejero y Maury), Barcelona: Alta Fulla, (1ª ed. en alemán en 1886).
- NYE, M. J. (1972), *Molecular Reality*, London: Macdonald.
- (1976), "The Nineteenth-Century Atomic Debates and the Dilemma of an 'Indifferent Hypothesis'", *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 7, pp. 245-268.
- OSTWALD, W. (1908), *Grundriss der physikalische Chemie*, Leipzig: Engelmann.
- PAIS, A. (1984), *El señor es sutil. La ciencia y la vida de Albert Einstein*, (trad. F. Alsina), Barcelona: Ariel.

- PAULING, L. (1961), *Química general*, (trad. J. I. Fernández Alonso), Madrid: Aguilar, 1961 (6ª ed.).
- POINCARÉ, H. (1968), *La science et l'hypothèse*, Paris: Flammarion, (1ª ed. 1902).
— (1963), *Dernières pensées*, Paris: Flammarion.
- REDONDI, P. (1990), *Galileo herético*, (trad. A. Beltrán Mari), Madrid: Alianza.
- ROCKE, A. J. (1979), "The Reception of Chemical Atomism in Germany", *Isis*, 70, pp. 519-536.
— (1984), *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*, Columbus: Ohio State University Press.
- SELLERI, F. (1986), *El debate de la teoría cuántica*, (trad. M. Ferrero Melgar), Madrid: Alianza.
- SILLIMAN, R. H. (1963), "William Thomson: Smoke Rings and Nineteenth-Century Atomism", *Isis*, vol. 54, pp. 461-474.
- STONES, G. B. (1928), "The Atomic View of Matter in the XVth, XVIth, and XVIIth Centuries", *Isis*, 10, pp. 445-465.
- WHEWELL, W. (1967), *The Philosophy of the Inductive Sciences*, London: J.W. Parker. Reimpresión de la 2ª ed. de 1847 en Frank Cass & Co. Ltd.
- WHITT, L. A. (1990), "Atoms or Affinities? The Ambivalent Reception of Daltonian Theory", *Stud. Hist. Phil. Sci.*, 21, pp. 57-89.