

# HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS



## ATOMISMO *versus* ENERGETISMO: Controversia científica a finales del siglo XIX

**MORENO GONZÁLEZ, ANTONIO**

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad Complutense de Madrid  
antonio.moreno@educ.mec.es

---

**Resumen.** Los aprendizajes sobre la naturaleza atómica de la materia, en los niveles primarios, secundarios y también universitarios, son equívocos, porque están centrados sólo en la evolución de los modelos atómicos a lo largo de la historia, como si desde el origen de los tiempos nadie hubiera puesto en entredicho esa naturaleza corpuscular. Sin embargo, la propia historia fue muy distinta: hasta el primer tercio del siglo XX la comunidad científica no asumió la concepción atómica de la materia, incluso hubo rechazos tan significativos y triunfantes, durante algún tiempo, como el protagonizado por los *energetistas*. Estas deficiencias son patentes en los libros de texto, en los libros de divulgación científica y en los procesos de enseñanza-aprendizaje desarrollados por el profesorado, en general. A despejar este equívoco pretende contribuir el presente trabajo, en parte expuesto en la conferencia de clausura del VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias - *Educación científica para la ciudadanía* - celebrado en Granada (7-10/9/2005). La conferencia fue desarrollada mediante comentarios apoyados en sinopsis, gráficas e ilustraciones que no es posible reproducir aquí en su totalidad; de entre lo esencial, he seleccionado aquello que admitía una mejor y fácil reproducción, espero no haber cercenado excesivamente el contenido de la conferencia originaria.

**Palabras clave.** Átomo, energía, fuerza, continuo, discontinuo, calor, newtonianismo, termodinámica, mecanicismo, caso-estudio, controversia, monismo.

---

### **Atomism *versus* energetism. Scientific controversy at the end of the 19th century**

**Summary.** Learning on the atomic nature of matter is often equivocal in primary, secondary and universities too, due to the fact that they are focused on the evolution of the diverse atomic models throughout history, as if no one had ever questioned the corpuscular nature at stake. However, history itself developed along rather different paths: the scientific community did not acknowledge the atomic nature of matter until as late as the first third of the 20<sup>th</sup> century, and, for a while, there were such significant and triumphant rejections as the one led by the *energeticists*. These shortcomings are conspicuous in textbooks, popular science books and, generally, in the teacher-learning processes developed by teachers. The current paper, partially discussed in the closing lecture at the 7<sup>th</sup> International Conference of Research on Science Teaching – *Science education for citizenship* – held in Granada (7-10/09/2005) is intended to illuminate this misunderstanding. The conference was developed with printed and visual support which has not totally been reproduced here; among the essential data, I have selected that which allowed for a better reproduction, hoping not to have cut out excessively the original contents.

**Keywords.** Atom, energy, force, continuous, discontinuous, heat, newtonianism, thermodynamics, mechanism, case-studies, controversy, monism.

---

## 1. CONSIDERACIONES SOBRE LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN RELACIÓN CON LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Si se considera la historia como algo más que un depósito de anécdotas y cronología, puede producir una transformación decisiva en la imagen que tenemos actualmente de la ciencia.

Thomas S. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1975, p. 20)

Un recurso para afrontar la mejora del interés por la ciencia, de despertar el espíritu crítico ante los hechos en que la ciencia está involucrada y de manifestar que es una forma más de la cultura es recurrir a la historia, filosofía y sociología de la ciencia (HPS) como un elemento del currículo docente, tanto en los niveles primario y secundario como en la formación del profesorado, conscientes de que, como se dice en *El sueño de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*, «nada en la historia de la ciencia es siempre sencillo» (Weinberg, 2003). A lo que podríamos añadir «ni en la enseñanza de las ciencias». Hay que esforzarse en buscar formas de incorporación de HPS a los procesos de formación del profesorado (Moreno, 2000a), porque la historia de la ciencia puede ser una vía para superar las dificultades que se presentan al tratar de darles un contenido cultural a las enseñanzas científicas, que a su vez aportan contenidos provechosos para atender los requerimientos cada vez más acuciantes e irreversibles de la multiculturalidad social y la transdisciplinariedad académica (Brush, 1969; Carson, 1997). Así viene intentándose con desigual fortuna desde hace tiempo (Duschl, 1994, 2000) y en esta dirección pretendo, también desde hace tiempo, desarrollar mi trabajo docente e investigador. Por citar logros recientes y dignos de mención, cabe recordar que, en algunas universidades italianas, está mejorando la formación del profesorado de secundaria en cuanto a la formación histórica porque han conseguido, no sin bastantes intentos frustrados, añadir dos cursos obligatorios de formación para el profesorado donde se incluyen, conjuntamente, aspectos históricos y didácticos.

Un aspecto que no se puede pasar por alto al referirse a la historia de la ciencia es la aportación que desde ella se hace a la contextualización de saberes, métodos, influencias sociales e ideologías de todo tipo (científicas, políticas, religiosas, económicas...) (Abd-El-Khalick, 2001; Elkana, 2000). La experiencia personal más próxima de la que puedo hablar, y gratificante, es la investigación hecha en torno a la determinación de  $G$ , la constante de la gravitación universal (Moreno, 2000b, 2001), a la que anacrónicamente se le atribuye una datación que no se corresponde con los hechos y, por tanto, acarrea otros errores que es conveniente deshacer para acercarse lo más posible al proceso real de la construcción del conocimiento. Asimismo, esta investigación puso de relieve la trascendencia social de una teoría científica, la gravitacional de Newton, a lo largo del tiempo, contribuyendo a satisfacer necesidades relacionadas con la navegación y el comercio (determinación de meridianos y paralelos), a la mejora de los instrumentos de medida para aportar soluciones a las controvertidas ideas sobre la fluidez o no del interior de la Tierra, entre otras.

La investigación histórica, sobre todo la que tiene como fin último proporcionar recursos docentes para la enseñanza de las ciencias, necesita estar soportada en una estructura, una «trama» epistemológica, metodológica y contextual que le dé sentido al proceso histórico y facilite una visión didáctica y global de dicho proceso (Kragh, 1992). Ésta es la «trama» en la que trato de engarzar la investigación histórica desarrollada hasta ahora, que si bien merece algunos comentarios he de prescindir de ellos y presentarla como mera información y aval de los fundamentos del trabajo realizado, y por realizar, que pretende no ser ocasional, disperso, ni casual (véase esquema de la página siguiente).

El profesorado de ciencias, como el de cualquier otra disciplina, además de estar preparado en la disciplina misma y en la didáctica correspondiente, ha de ser una persona culta, capaz de integrar, relacionar y distinguir saberes, épocas y comportamientos. La formación histórica le proporciona perspectivas para su actividad docente e investigadora (Marín, 1997), que le permite estimular la actividad del alumnado desde la consideración de la ciencia como un proceso en cambio, socialmente relevante, que pretende desentrañar los mecanismos del universo en su conjunto, del que forman parte seres, objetos y cosas –reales o hipotéticos– en permanente interacción (Lewis, 1972; Jung, 1994).

A la vista de la «trama» propuesta y como apunte del carácter cambiante y global de la ciencia, baste referir someramente la evolución habida en las ciencias físicas en los últimos cuatro siglos, en que se ha consolidado como una forma racional de interpretar la naturaleza apoyada en la matematización y la experimentación (Mason, 1988):

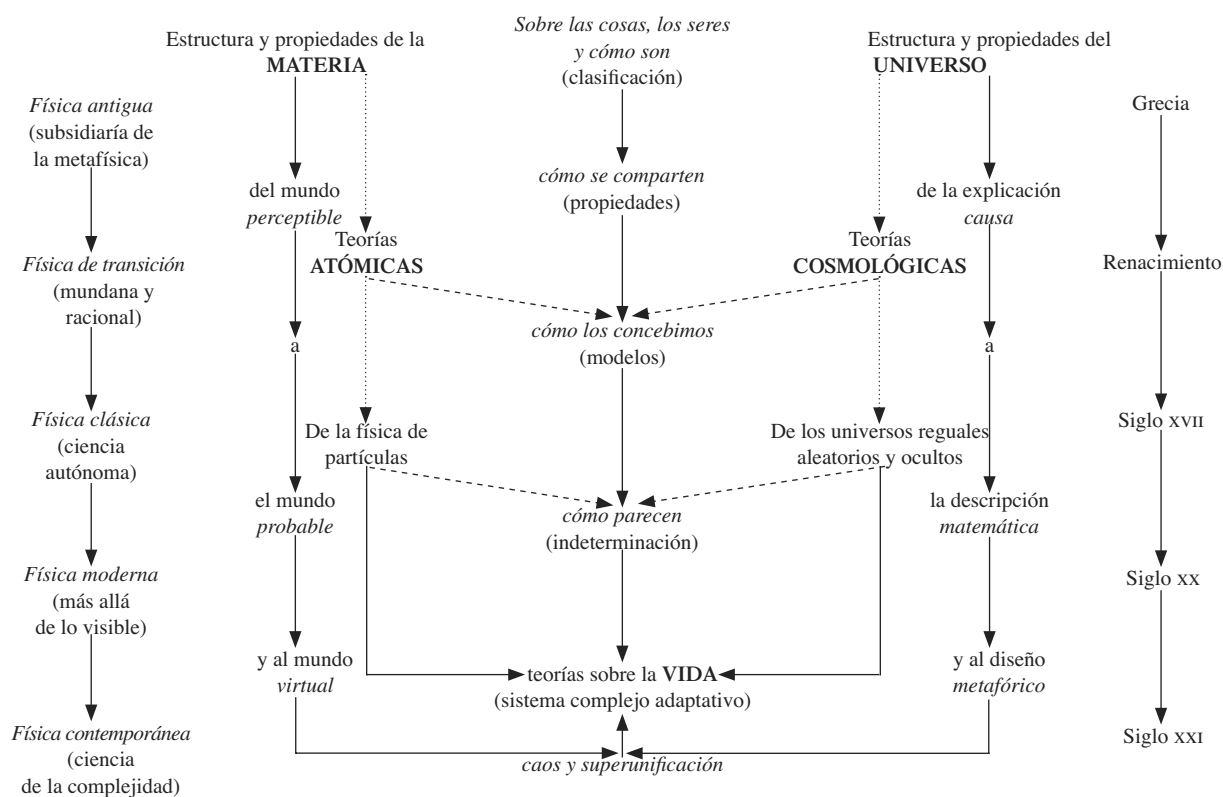
En los siglos XVII y XVIII se producen hechos que se asocian con la revolución científica por antonomasia:

1. Cuantificación de las ciencias clásicas
2. Cuantificación de las ciencias baconianas

En el siglo XIX, una nueva revolución, fundamentada en las sucesivas teorías electromagnéticas, conduce a la **institucionalización de la física teórica** como cuerpo específico de conocimiento y como disciplina académica, continuada a comienzos del siglo XX con las revoluciones cuántica y relativista.

A finales del siglo XX y principios del XXI se está produciendo una **cuantificación o digitalización del conocimiento**. ¿Puede hablarse de una nueva revolución? Posiblemente sí. Además, las cada vez más potentes **tecnociencias**, con las que se pierde la ancestral «pureza» de las ciencias exactas, físicas y naturales, polarizarán la investigación (ya lo están haciendo) y las enseñanzas por derroteros más interdisciplinares, en los que están llamados a desempeñar un papel esencial los aspectos éticos y la formación responsable de la ciudadanía, para lo que habremos de estar preparados los profesores.

FUNDAMENTOS HISTÓRICO FILOSÓFICO DE LAS CIENCIAS DE LA NATURALEZA



**2. «CASE-STUDIES» (O «CASOS ESTUDIO», PREFERIBLE A «ESTUDIOS DE CASO»)**

La búsqueda de nuevos materiales históricos es en sí misma una tarea de gran complejidad.

George Sarton, *The Study of the History of Science* (Dover Publications, Nueva York, 1957, p. 33)

En el proyecto Manhattan (1942) coincidieron Vannevar Bush y James B. Conant que, tras el desenlace frustrante para ellos y otros muchos de aquel proyecto letal, mantuvieron una provechosa relación que contribuyó a una nueva orientación de las enseñanzas científicas desde dos perspectivas diferentes:

1. La historia de la ciencia. Los «case-studies» de Conant.
2. La informatización de las enseñanzas. El hipertexto de Bush.

Dos iniciativas que están determinando, con creciente influencia, los derroteros por donde se pueden encaminar las enseñanzas de las ciencias. En relación con la historia de la ciencia, en particular, hay que destacar el papel desempeñado por algunos discípulos de Conant, especialmente:

Gerald Holton, promotor del Harvard Project Physics, partidario de la historia de la ciencia en la enseñanza, dentro de un programa de educación liberal que aspira a dotar a la ciudadanía de formación científica y cultural más allá de la cultura de «letras». Aspiraba a erradicar la tópica y pernicioso dualidad de culturas que tan acertadamente analiza C.P. Snow en su famoso libro *The Two Cultures* (1959).

Thomas Kuhn, autor del célebre y celebrado libro *Estructura de las revoluciones científicas* (1962), surgido de su colaboración con Conant, a quien dedica el libro con un definitorio «A James B. Conant, que puso esto en marcha». Aunque Kuhn (Fuller, 2000) tiene menos claro que Holton cómo ha de ser utilizada la historia en la enseñanza de las ciencias, insta a que se busquen formas de enseñanza de la historia, centrándose sobre todo en la detección e influencias de los paradigmas, sobre los que él mismo con el tiempo tuvo sus propias dudas.

Entre los apoyos institucionales a las enseñanzas científicas con orientación histórica, la creación de la NSF (National Science Foundation) después de la Segunda Guerra Mundial supuso un punto de partida crucial, dando amplia cobertura a las iniciativas de Conant en el desarrollo del proyecto sobre los «case-studies» que culmina con la publicación de dos volúmenes con el estudio de varios casos y sobre todo con la difusión de este modelo de estudio y enseñanza a través del Harvard Project Physics.

Conant en *On Understanding Science*, publicación que precedió a su famoso *Harvard Case Histories in Experimental Science*, escribe:

Este libro está interesado principalmente en un problema pedagógico simple, pero difícil. Me propongo examinar la siguiente cuestión: cómo poder dar en nuestros centros un buen conocimiento de la ciencia a los graduados que en el futuro serán abogados, escritores, profesores, políticos, administradores públicos y oficinistas.

En este primer acercamiento a la historia, Conant desarrolla sus dos primeros casos: «Touching the Spring of the Air» y «Electricity and Combustión». Casos que amplía en los *Harvard Case Histories*, junto con otros nuevos como «The Atomic-Molecular Theory», «The Development of the concept of Electric Charge», etc.

Una reciente revisión de la aportación que desde los «case-studies» puede obtenerse en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias es la hecha por un grupo de profesores de la Facultad de Educación de la Universidad de Manitoba (Winnipeg, Canadá) encabezados por Arthur Stinner. Parte de sus experiencias y conclusiones han sido publicadas en *Science & Education* (Stinner et al., 2003). Los autores comentan las diferentes formas desde las que viene afrontándose la incorporación curricular de la historia de las ciencias a la enseñanza, refiriéndose a las siguientes: Viñetas (Wandersee, 1990, 1992; Roah y Wandersee, 1993), Casos Estudio (Conant, 1947, 1957; Perry y Perry, 1969), Confrontaciones, Narraciones temáticas, Diálogos y Dramatizaciones. En los últimos años, Stinner, su equipo (Williams y Stinner, 1993), y algunos profesores e investigadores europeos como Jurgen Teichmann, del Deutsches Museum de Munich, están ocupándose en el diseño de dramatizaciones. Entre las ya conocidas cabe destacar las dedicadas al caso Galileo, al debate público entre ciencia y religión en Inglaterra o al debate sobre la edad de la Tierra, situado en 1872, con protagonistas como Kelvin (Smith y Wise, 1999), Huxley, Lyell y Helmholtz (Cahan, 1993). El contexto educativo en el que aplican estas propuestas didácticas va desde las escuelas infantiles hasta la universidad con resultados, poco extendidos todavía, pero muy halagüeños. Como conclusión, que asumo plenamente, escriben:

Creemos que lo más necesario es un esfuerzo internacional conducido por historiadores, científicos, pedagogos y profesores que respondan al reto expuesto por Heilbron (conferencia IHPST, 1999, en Como) para preparar materiales y encontrar vías pedagógicamente válidas para incorporar la historia y la filosofía de la ciencia a la enseñanza de las ciencias. Es el momento para que las ideas de James Conant sobre los casos estudio sean actualizadas y revisadas sirviendo a las necesidades de los estudiantes y las sociedades del siglo XXI.

Tras este movimiento innovador, han seguido las huellas otros profesores e investigadores de países diversos (McComas, 2000). En particular me referiré a lo que mejor conozco.

Desde el Interdivisional Group of History of Science de la European Physical Society y especialmente desde el grupo de Pavía liderado por Fabio Bevilacqua, director del Pavía Project Physics, inspirado en el

«Harvard» de Holton, se pusieron en marcha acciones sobre el fomento de la historia en la enseñanza. Paralelamente, el International History, Philosophy and Science Teaching Group, en el congreso celebrado en Tallahassee, decide fomentar reuniones internacionales para intercambio de comunicaciones y experiencias en el mismo sentido.

Finalmente en Como, con motivo del bicentenario de la invención de la pila de Volta, en 1999, se hace la primera reunión conjunta de ambas sociedades, después en Winnipeg (2003) y la siguiente se realiza en Leeds, en 2005. En este proceso se fusionan las iniciativas europea, americana y australiana en un proyecto común en torno a la historia de la ciencia y la enseñanza de las ciencias. Como medio dinamizador de este proceso hay que destacar la iniciativa de Michael Matthews con la revista *Science & Education. Contributions from History, Philosophy and Sociology of Science and Education*, fundada en 1992, donde formo parte del comité editorial desde su fundación, y el Pendulum Project iniciado en 2002 en Sydney (Matthews, 2000).

En España, cabe mencionar las iniciativas de algunos profesores que, si bien no tienen repercusión más allá de su ámbito de trabajo, son encomiables. Como lo es el interés mostrado por revistas como *Enseñanza de las Ciencias, Alambique*, y otras publicaciones más internas de los departamentos universitarios, por la incorporación de HPS a la enseñanza de las ciencias. No obstante, la repercusión en las aulas es exigua, mal que afecta a buena parte de la investigación didáctica que nos está obligando a repensar los mecanismos y las valoraciones que vienen diferenciando investigación e innovación educativas.

Para concluir esta introducción y como apunte de aportaciones de los conocimientos históricos a la formación científica y a la enseñanza de las ciencias he aquí algunas referencias:

- Transitoriedad de lo «perfecto»: movimiento circular uniforme, movimiento rectilíneo
- Implicaciones sociales
- Visiones del mundo
- Métodos de acercamiento a la naturaleza
- Ideologías imperantes
- Modificaciones del sentido de la realidad a lo largo del tiempo
- Incorporación de elementos externos a la ciencia para el tratamiento de los fenómenos naturales
- Utilidad de lo desechado en otros tiempos
- Variaciones de las apariencias
- Reciprocidad ciencia-técnica
- Valor formativo de las controversias científicas
- Actitud de los estudiantes ante la ciencia
- Dialéctica entre observación y teoría
- Tardanza en la incorporación de las novedades científicas a los libros de texto
- Detección de errores, a veces, seculares en textos y otras publicaciones científicas
- Anacronismos que tergiversan el sentido de la realidad científica

A éstas y otras aportaciones de la historia hay que incorporar las tendencias actuales, también desde HPS, a:

Desoccidentalizar el conocimiento  
Desmasculinizar la ciencia  
Desresponsabilizar la ciencia (establecer corresponsabilidades)  
Descentralizar la actividad científica (nuevos grupos, nuevos países)  
Desacralizar la ciencia (eliminar la creencia en un «olimpico» científico)

Se intenta producir una nueva tendencia a la democratización de los saberes como en el Renacimiento sucediera y en la Ilustración; secularizándolos entonces y difundiendo por vías diferentes ahora. A aquel primer intento de rebajamiento de la distancia entre ciencia y pueblo, le sucede ahora el propósito de un acercamiento a niveles sociales más domésticos, sobre todo ante la necesidad de concienciación ciudadana para el logro y mantenimiento de un nivel de calidad de vida en condiciones ambientales que no rompan el equilibrio ecológico. Se trata por tanto de eliminar etiquetas adquiridas a lo largo de la historia que colocaron a la ciencia y a los científicos en un plano de marginalidad privilegiada frente a otros carentes de desarrollo científico y tecnológico, que comprenden la inmensa bolsa de países pobres del mundo.

### 3. CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS: UNA FORMA DE CAMBIO CONCEPTUAL

La muerte de las teorías e hipótesis científicas nos revela muchas cosas acerca de la naturaleza de la ciencia. Examinando la historia de las teorías muertas se ve que la adquisición de conocimiento científico es un constante refinar de nuestros instrumentos de observación y de los conceptos con que organizamos los resultados de las observaciones. La ciencia es un edificio en perpetua construcción, es cierto, pero además se construye sobre cimientos cambiantes.

Sergio de Régules, *Las orejas de Saturno y otras crónicas de la Ciencia* (Paidós, México, 2003, p. 112)

La sociología de las ciencias es una especialidad procedente de la sociología del conocimiento y, en particular, de la *Wissesoziologie* (sociología del conocimiento) de Max Scheler y Karl Mannheim. Creada a finales de los años treinta por Robert K. Merton (discípulo en Harvard del eminente y pionero historiador de la ciencia George Sarton), se mantuvo mucho tiempo bajo el impulso de su creador. Aunque su trabajo inicial (Merton, 1938, 1985) estaba relacionado con el desarrollo científico de la Inglaterra del siglo XVII, después se extendió a otros muchos aspectos de la actividad científica.

Una de las peculiaridades más sobresalientes de los estudios mertonianos es prestar atención tanto a los principios de organización científica como a los efectos perversos que puedan resultar de su puesta en marcha. La sociología de Merton está más orientada a los factores sociales

que influyen en la producción de los conocimientos que a estudios de los conocimientos mismos. Cuestiones como dónde, cómo, por qué, cuándo se produce y difunde la ciencia y quiénes la apoyan desde una posición externa a la misma ocupan el centro de su influyente artículo en *Isis* (1973), «The Sociology of Knowledge». El análisis del conocimiento científico en sí mismo quedaba para la epistemología y la historia de la ciencia.

Desde los trabajos de Stephen Toulmin, Russell Hanson, Paul Feyerabend, Thomas Khun y otros, muchos de ellos influidos por Ludwig Wittgenstein, las investigaciones sobre historia y sociología de la ciencia han conducido a reconocer que tanto los factores históricos como los personales, culturales y sociales, en sus más amplias acepciones, forman parte de *esa cosa llamada ciencia*, en palabras de Alan Chalmers. Este abanico de influencias y condicionantes se focaliza sobre nuevos problemas a considerar que necesariamente obliga a retocar lo que en otros tiempos era tenido como historia de la ciencia: teorías del cambio, inconmensurabilidad, progreso científico, construcción social de los hechos, necesidad de persuadir, etc., son algunos de los nuevos factores a tener en cuenta.

En particular, la publicación de *La estructura* (1962) de Kuhn y el redescubrimiento de algunos textos como los de Duhem (1914), Fleck (1935) y Polanyi (1958) dieron un giro a la sociología mertoniana fundamentada en las posibles y recíprocas influencias entre ciencia y sociedad hacia una visión de los conocimientos científicos considerados en sí mismos objeto de estudio sociológico. Desde esta nueva orientación, que trata de reencontrarse con los sociólogos premertonianos (Durkheim, Mannheim...), se presta particular interés a la construcción social del conocimiento científico, y ésta es la razón por la que las **controversias** han pasado a ser objetivo preferente de la renovada sociología de la ciencia (Silverman, 1992), (Engelhardt y Caplan, 1987), (Narasimahn, 2001), (Raynaud, 2003).

Dominique Raynaud acota así el significado de las controversias:

Desde el punto de vista sociológico, una controversia científica se caracteriza por la *división* persistente y pública de muchos miembros de una comunidad científica, unidos o no, que sostienen argumentos contradictorios en la interpretación de un determinado fenómeno.

Esta revisión metodológica de la historia ha obligado a reconocer, como era de esperar, que la construcción del conocimiento científico es un problema en sí mismo, no solventable con la simple enumeración de hechos y personajes, y mucho menos con la orientación anecdótica y hagiográfica que durante tanto tiempo ha viciado la historia de la ciencia. En definitiva, sucede que la ciencia es una manifestación más de la cultura de los pueblos, con sus peculiaridades como cualquier hecho cultural, sujeta, entre otras cosas, a las **controversias** propias de toda actividad intelectual.

El análisis de las controversias científicas, vistas con la óptica de los tiempos en que se produjeron, es una fuente de conocimiento sobre la elaboración de la

ciencia (Pourprix, 2003) y su papel en cada momento, sobre las convicciones, incertidumbres y temores que los científicos han de afrontar. En buena medida las controversias pueden responder a lo que Nancy Nersessian califica como «historia cognitiva de la ciencia», refiriéndose a la historia de la ciencia como un medio que proporciona nuevas revelaciones sobre la ciencia en tanto empresa humana que es. La historia vista desde esta perspectiva trata de examinar las raíces cognitivas que los científicos emplean y los artificios a que recurren para poner en práctica el pensamiento teórico y práctico que caracteriza la actividad científica (Nersessian, 1995). Entre las controversias más relevantes, pueden citarse:

Batalla por el electrón (Millikan vs Ehrenhaft); circulación sanguínea (Harvey vs Descartes); generación espontánea (Pasteur vs Pouchet); escalas cosmológicas (Saudage vs Vancoulers), organización de las especies (Cuvier vs Geoffroy Saint-Hilaire); evolucionismo vs creacionismo (varios); determinismo vs indeterminismo (Einstein vs Bohr); fluidos eléctricos (Franklin vs Du Fay); naturaleza de la luz (Newton vs Huygens); nucleares sí-nucleares no; eutanasia sí-eutanasia no; big-bang vs universo estacionario (varios); Planck vs Mach sobre el carácter del pensamiento occidental...

En mayor o menor medida, las controversias, además de inducir cambios conceptuales en la concepción de los procesos científicos en liza, suelen poner de manifiesto, como señalan Engelhard y Caplan, aspectos éticos, políticos e ideológicos que siempre han marcado el desarrollo científico y tecnológico, por mucho que algunos se empeñen en defender la neutralidad de la ciencia.

La investigación sobre controversias, por tanto, vista desde la didáctica de las ciencias experimentales se enmarca en el modelo de aprendizaje como cambio conceptual y metodológico, o si se prefiere en el *aprendizaje como investigación*, dentro del amplio abanico de la interrelación ciencia, técnica y sociedad. La visión epistemológica que aportan los cambios generados en el desarrollo y resolución de las controversias es una valiosa contribución a la reestructuración de conceptos a lo largo del tiempo y una valiosa aportación a lo que pueda entenderse por «naturaleza de la ciencia». A su vez, el análisis social de los conflictos generados por las controversias pone de manifiesto implicaciones diversas entre la producción científica y el entramado social (económico, filosófico, religioso, político, ético...) que la soporta. Además, y dicho sea en pocas palabras, las controversias son testimonios de lo que salió bien y de lo que salió mal, que es una buena lección de humildad para quienes han defendido la ciencia como hecho prepotente frente a otros más cuestionables, y sobre todo para que los estudiantes asuman que los científicos no son una casta especial de profesionales privilegiados e infalibles; en todo caso el privilegio está en mantener ese «hambre del alma» que Albert Einstein consideraba imprescindible para estar siempre dispuesto a pensar, aprender, rectificar: a saber más y mejor.

#### 4. LA CONTROVERSIA ATOMISMO-ENERGETISMO: OSTWALD VERSUS BOLTZMANN

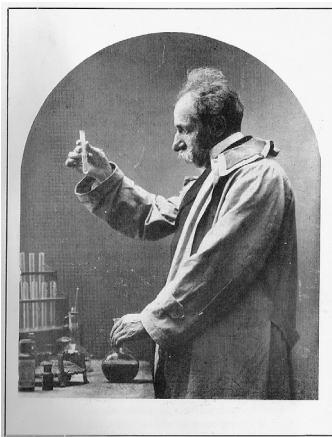
Lo que oímos se origina gracias al trabajo ejercido sobre el tímpano y el oído medio por las vibraciones del aire. Lo que vemos es sólo energía radiante que realiza una operación química sobre la retina, lo que se percibe como luz [...] Desde este punto de vista, la totalidad de la naturaleza aparece como una serie de energías espacial y temporalmente cambiantes de la que tenemos conocimiento en la medida en que inciden sobre el cuerpo, especialmente sobre los órganos de los sentidos, organizados por la recepción de las energías propias.

Wilhelm Ostwald, citado por Stephen Mason en *Historia de las ciencias* (1988, vol. 4, p. 143)

De entre las controversias habidas a lo largo de la historia nos ocupamos, en esta ocasión, de una especialmente relevante: la planteada en el último tercio del siglo XIX entre *atomistas* y *energetistas*. El interés de esta controversia (Clark, 1976; Deltete, 1983; Helm, 2000; Hiebert, 1975), además del hecho en sí mismo, es la significación que tiene respecto al debilitamiento de la ciencia newtoniana desde mediados del siglo XIX que culmina con las teorías cuántica y relativista. No obstante, es una controversia poco conocida, y desde luego ignorada en los planes de estudio aplicados tanto en los niveles obligatorios, como en el bachillerato, en los relativos a la formación de maestros y profesores, e incluso en los de las facultades de ciencias. A veces, sucede que existen elementos ocultos en el desarrollo histórico de la ciencia que ni la historia de la misma, hecha pública, los contempla, porque se centra más en los grandes momentos del acontecer científico. Esta circunstancia obliga a ser cautos con las historias a nuestro alcance y selectivos con los autores de las mismas, porque los errores o las omisiones históricas pueden ser de funestas consecuencias para el conocimiento mismo del devenir de la ciencia y, sobre todo, para la enseñanza de las ciencias, que es nuestro cometido. Una consecuencia inmediata es que la historia contada, cuando carece de rigor, flaquea en el aspecto nuclear del desarrollo conceptual y metodológico: la epistemología de la ciencia. Desconocer, en este caso, cómo la naturaleza atómica de la materia fue asunto dudoso y controvertido hasta hace «cuatro días», y que tuvo entre sus oponentes a prestigiosos científicos, impide tener una visión real de lo que hubo tras la asunción del atomismo, por el hecho en sí mismo, y también por las enseñanzas que se extraen, cuando se conoce este episodio, respecto a cómo se construye el conocimiento científico, por quiénes y por qué sucedió en aquel momento y aquellas circunstancias.

Reparé en esta controversia, a finales de los años ochenta, durante la preparación de la biografía de José Rodríguez Carracido (Moreno, 1991), pionero en la introducción de la bioquímica en España, que en un principio fue antiatomista recalcitrante hasta que, como sucedió con el resto de los alineados en esa postura, hubo de sucumbir a la evidencia de la estructura atómica de la materia. Dicho sea esto para apoyar también la defensa de las biografías científicas (Gillispie, 1975) como una forma de contextualización de la ciencia y de ilustrar la evolución del pensamiento científico. Sobre las ventajas de las biografías,

así como de las precauciones a tomar respecto de ellas, es un clásico entre los historiadores el análisis hecho por Stephen Brush en sus estudios sobre el papel de la historia de la ciencia en la enseñanza (Brush, 1969).



José Rodríguez Carracido (1856-1928)

La controversia atomismo-energetismo, planteable también como mecanicismo-energetismo, es una nueva forma de manifestación de la secular controversia entre las concepciones **continua** y **discontinua** de la naturaleza. En este caso, la discrepancia más manifiesta es en torno a la descripción newtoniana de los fenómenos naturales, basada en el concepto de **fuerza como agente físico** (Nay, 2003) y en la concepción corpuscular de la materia, presumiblemente compuesta por **átomos**, para algunos. La vuelta al atomismo en el siglo XVII, desde las primeras y olvidadas propuestas griegas sobre el mismo, fue un intento de sacudirse las visiones teológicas de los fenómenos naturales que bajo el paraguas aristotélico, usado como convino y no siempre ajustándose al pensamiento del estagirita, trataba de identificar los fenómenos naturales con la acción todopoderosa de un dios providente y creador del mundo. El atomismo era una más de las líneas de pensamiento tendentes a encontrar una teoría unificadora de la naturaleza (Mieli, 1947), que los químicos afrontaron con leyes ponderales y cuantificadoras de las reacciones químicas, y los físicos como un modelo estructural de la materia. La controversia atomismo-energetismo fue planteada entre los químicos como atomismo-equivalentismo. Un destacado

antiatomista fue Marcelin Berthelot quien, siendo ministro de Educación, llegó al extremo de impedir la enseñanza de la teoría atómica en los centros educativos franceses.

Las primeras manifestaciones decididamente energetistas fueron hechas por el matemático y físico alemán Georg Helm que propone en su *Theory of Energy* (1887) una «energética general» basada en un «principio de la energía», más amplio que el principio de conservación de la energía. En 1890 publica un ensayo donde trata de reducir la mecánica a la energética por medio de dicho principio, y en otro publicado en 1892 intenta reducir, también a la energética, la electricidad y el magnetismo (Smith, 1998).

El líder del energetismo que con más apasionamiento defendió aquella «nueva ciencia» fue el profesor de química física Wilhelm Ostwald, afín a las teorías del físico y filósofo Ernst Mach. Ambos consideraban innecesaria la, según ellos, «ficción» de los átomos, al tiempo que rechazaban el concepto newtoniano de *fuerza como recurso* para explicar las interacciones materiales, por considerar que era un concepto artificioso, casi metafísico, carente de realidad y de dudoso significado, sin el rango de magnitud observable. La filosofía monista de Mach, basada únicamente en las sensaciones y las relaciones, y su entendimiento de la ciencia desde un principio de economía conceptual y metodológica, marcaron las pautas del energetismo. Mach opinaba que los físicos encontraban más atractivo el programa de investigación mecánico y molecular porque, a pesar de los errores (*misconceptions*, escribe Mach) inherentes a los planteamientos de los procesos mecánicos, eran preferibles a los planteamientos no mecánicos, y achaca a los atomistas y mecanicistas el hecho de confundir *inteligibilidad* con *familiaridad*. Mach considera que los principios básicos de cualquier ciencia siempre son conceptualmente opacos por las preconcepciones metafísicas que subyacen en ellos. No obstante esta filosofía del conocimiento, Mach admite la utilidad heurística y didáctica del atomismo, aun estando radicalmente en contra de los átomos como concepto estructural de la materia. Prefiere recurrir al concepto de **energía** y su correspondiente ley de conservación para dar cuenta de cualquier efecto, estático o dinámico, que se produzca en la naturaleza, apoyando su negativa del atomismo en la imposibilidad de «visualizar» los átomos, en que no se puede medir lo que pasa entre ellos, salvo las manifestaciones energéticas.



Wilhelm Ostwald

- 1853 Nace en Riga (Letonia)
- 1881-1887 Profesor de química en Riga y en Leipzig
- 1905-1906 Imparte un curso de química en la Universidad de Harvard. Primer profesor alemán visitante en una universidad norteamericana
- 1906 Se retira de la enseñanza
- 1909 Premio Nobel de Química por sus trabajos sobre catálisis
- 1932 Muere en Leipzig

Está considerado como uno de los fundadores de la física química por la que se interesa a partir de la lectura de la tesis de Svante Arrhenius (1859-1927). En 1887, Ostwald y Jacobus H. Van't Hoff (1852-1911) fundaron la primera revista dedicada exclusivamente a la física química.

A tal extremo llegó en su defensa del energetismo que, entre otras muestras extremas, en 1901 bautizó como *Landhause Energie* una finca que compró en Grossbotten (Leipzig).



Casa «La Energía» de Ostwald en Grossbotten (Alemania).

Mach dio muchas muestras de oposición al mecanicismo, sin dejar de reconocer la validez histórica y epistemológica que tuvo en otros tiempos. En *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of its Development* (1974, 1ª ed. 1883) desarrolla las propuestas fundamentales en apoyo a sus ideas:

La opinión que hace de la mecánica la base fundamental de todas las demás ramas de la física, y según la cual todos los fenómenos físicos deben recibir una explicación *mecánica*, es según nosotros un prejuicio. El conocimiento más antiguo desde el punto de vista histórico no debe *permanecer* necesariamente en la base de la comprensión de hechos descubiertos más tarde. En la medida en que gran número de fenómenos son conocidos y categorizados, pueden surgir e instaurarse concepciones directrices enteramente nuevas [...] Nosotros tenemos simplemente que descubrir las dependencias reales de los movimientos de masas, de las variaciones de temperatura, las variaciones del valor de la función potencial, las variaciones químicas, sin imaginarnos nada bajo estos elementos mas que las características físicas directa o indirectamente obtenidas por la observación.

Mach, en cambio, no se manifestó como energetista en la forma beligerante y tozuda que lo hizo Ostwald. Éste, como líder de la «escuela energetista», llevó la «ciencia de la energía» a las posiciones más radicales, incluso a los fenómenos sociales, según comentaré más adelante. Los comienzos de la llamada «ciencia de la energía» fueron el resultado del trabajo realizado principalmente en Escocia a mediados del XIX por quienes tuvieron la doble condición de ingenieros y presbiterianos, entre los que destaca William J.M. Rankine. Ostwald se calificó a sí mismo de «monista» en el sentido del «monismo natural» de Haeckel, pero mientras éste considera como la realidad «la sustancia material», para aquél es la energía, como constante ontológica que se transforma en múltiples apariencias: mecánica, química, psíquica, térmica, eléctrica y magnética. Formas que «sumadas» constituyen la energía total que existe y se conserva en el Universo. El enfrentamiento conceptual entre atomistas y energetistas puede resumirse en estas dos tendencias:

energía como sustancia —————> energetismo  
 energía como propiedad —————> atomismo

La polémica se desencadenó en torno a la interpretación del calor, concebido como movimiento en el marco mecanicista y como sustancia en el de la termodinámica, donde primaban las magnitudes observables contrariamente a la hipotética consideración de átomos en movimiento.



**Obras básicas del energetismo**

1855 *Compendio de la ciencia de la energética*  
 William J.M. Rankine (1820-1872)  
 (Edimburgo - Glasgow)

1895 *Más allá del materialismo*  
 (Primer título: *El fracaso del atomismo contemporáneo*)  
 Friedrich Wilhelm Ostwald (1853-1932)  
 (Riga - Leipzig)

1911 *Tratado de energética o termodinámica general*  
 Pierre Duhem (1861-1916)  
 (París - Cabrespine)

En esta controversia que los energetistas, considerados a sí mismos triunfadores durante un tiempo, y que veían cómo la derrota del mecanicismo que desde la publicación, en 1687, de los *Principia* de Newton dominó el mundo, subyacía la duda ante la elección de la **masa** o la **energía** como magnitud fundamental. En realidad se trataba de decidir cuál de las dos disciplinas –**mecánica** o **termodinámica**– habría de dominar en un momento en que algunos consideraban la física prácticamente una ciencia «acabada», por lo que todas estas formas de plantear la controversia no son más que el reflejo del debate surgido a finales del siglo XIX en torno al propio ser de la física, que puede resumirse en estos términos:

1. ¿Cuál es el objetivo real de la física?
2. ¿Cuál es la relevancia y los límites de los modelos físicos?

Recordemos que por entonces los pilares de la llamada «física clásica» eran la mecánica, la termodinámica y la teoría electromagnética, en tanto que pasado el siglo los



pilares de la «física moderna» se configuraron en torno a la relatividad y la mecánica cuántica, siendo, básicamente, los momentos críticos para la física newtoniana a finales del XIX:

- El **energetismo**, finalmente desbancado por las teorías atómicas.
- El **electromagnetismo de las cargas en movimiento**, resuelto con la teoría especial de la relatividad.

Pues bien, en este tránsito, la controversia que nos ocupa tuvo mucho que ver. Los comienzos de la mecánica cuántica hay que situarlos en 1900 cuando Planck propone la cuantización de la energía. Llega a esta solución estudiando la radiación electromagnética de un cuerpo negro, recurso que utilizó para refutar las objeciones que los energetistas ponían a la formulación que Boltzmann, abanderado del atomismo (Blackmore, 1995), hizo del segundo principio de la termodinámica. Planck en su *Autobiografía* cuenta cómo vivió la controversia entre atomistas y energetistas, muy difícil en sus comienzos para los primeros porque, «frente a la autoridad de hombres como Ostwald, Helm o Mach, no había manera de prevalecer» (Planck, 2000).

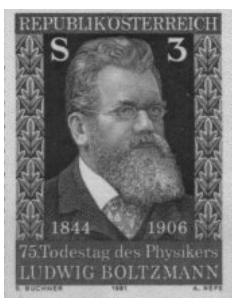
El caso de Planck es paradigmático en lo que puede suponer para un científico asumir los cambios conceptuales, e incluso de concepción de la naturaleza, que a veces sobrevienen en el devenir de la actividad científica. Aparte de las propias declaraciones de Planck, su discípulo Max von Laue, en la loa fúnebre pronunciada a la muerte de su maestro, recordaba cómo Planck se adentró en la física por una vía que se consideraba con poco futuro, que «para fundamentarla teóricamente hubo de acometer sin duda una transformación interior, pues recurrió a los métodos de la teoría atómica, que hasta entonces siempre había visto con reparos». El propio Planck mantuvo una interesante controversia entre 1908 y 1913 (Freire, 2003), analizada por Fuller en su libro sobre Kuhn, en torno a las diferentes actitudes ante la ciencia (Fuller, 2000). Controversia que ha sido tratada didácticamente por varios autores recurriendo a las «Storytelling» que, como las dramatizaciones antes citadas, forman parte de los recursos didácticos para incorporar la historia de la ciencia a la enseñanza de las ciencias.

Ludwig Boltzmann y James Clerk Maxwell formularon la teoría cinético-molecular de los gases que finalmente se impuso al modelo material del calor, dando un sólido apoyo conceptual, experimental y metodológico, a las teorías atómicas de la materia (Boltzmann, 1986). Boltzmann fue el atomista que hubo de vérselas con Ostwald en la polémica conferencia celebrada en Lübeck en 1895. Arnold Sommerfeld (1868-1951), que iniciaba su carrera como físico matemático, asistente a aquella conferencia y partidario de Boltzmann, relata así tan agria polémica:

El 17 de septiembre, entre las 9 y las 12 de la mañana, Helm comenzó a hablar sobre el energetismo. Wilhelm Ostwald, de pie detrás de él, y detrás de ambos la filosofía natural de Ernst Mach que no estaba presente. El oponente era Boltzmann, secundado por Félix Klein. La discusión entre Boltzmann y Ostwald parecía, tanto externa como internamente, una pelea entre un toro y un hábil espadachín. Pero el toro venció al matador a pesar de toda la destreza con la espada del último (refiriéndose a Boltzmann).

Hacia 1880 la ciencia de la energía había perdido el control por parte de sus promotores británicos: Rankine y Maxwell habían desaparecido de la escena y Thomson y Tait, los físicos más representativos, eran vistos como científicos conservadores, supervivientes de la pasada filosofía natural. Una nueva generación de físicos –los llamados «maxwellianos»– habían retomado las doctrinas energéticas para sus propias investigaciones. Entre ellos destacaron G.F. FitzGerald (1851-1901), Oliver Heaviside (1850-1925) y Oliver Lodge (1851-1940) que reinterpretaron el ya famoso *Treatise* de Maxwell desde una orientación energética. Marcando las diferencias con el pasado inmediato, algunos consideraron al propio Maxwell «maxwelliano a medias».

El descubrimiento del electrón (1897) por J.J. Thomson acabó con el cuestionamiento del atomismo, quedando los planteamientos mecánicos y termodinámicos en la forma que han llegado a nuestros días, tras las revoluciones cuántica y relativista que ya se estaban gestando por aquellas fechas finiseculares (Thomson, 1909). Poco más tarde, en 1905, la publicación de Einstein sobre el movimiento browniano sentó las bases experimentales y definitivas para la aceptación de la estructura atómica de la materia.



Ludwig Boltzmann

- 1844 Nace en Viena
- 1869-1873 Profesor de matemáticas en Viena y Graz
- 1876 Profesor de física experimental en Graz
- 1890-1900 Profesor de física teórica en Munich, Viena y Leipzig
- 1902 Profesor de «Naturphilosophie»
- 1906 Se suicida en Duino, cerca de Trieste

Los trabajos de Boltzmann sobre la teoría cinética de los gases los hizo independientemente de los realizados por James Clerk Maxwell (1831-1879).

«Me doy cuenta de que sólo soy una persona aislada luchando débilmente contra la corriente del tiempo» (Boltzmann, 1898).

**Hechos básicos para el reconocimiento del atomismo**

**J.J. Thomson.** En 1897 contribuye a la identificación de los rayos catódicos como átomos de electricidad, los denominados *electrones* por Stoney.

**Rutherford y Soddy.** Publican en 1902 *Causa y naturaleza de la radioactividad*, que explican a partir de la estructura atómica de la materia.

**Einstein y Smoluchoski.** Desarrollan entre 1905 y 1906 la teoría cinética del movimiento browniano.

**Jean Perrin.** Llama la atención en 1906 sobre el movimiento browniano explicable desde las colisiones moleculares.

**R.A. Millikan.** Realiza en 1909 el experimento de la gota de aceite para determinar la carga del electrón.



Declaración de **Ostwald** en 1909 sobre el reconocimiento de la existencia física de los **ÁTOMOS**

Aldo Mieli cita el siguiente texto atribuido a Ostwald por Robert Millikan en *Electrones (+ y -), protones, fotones, neutrones y rayos cósmicos* (trad. C.E. Prelat, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1944):

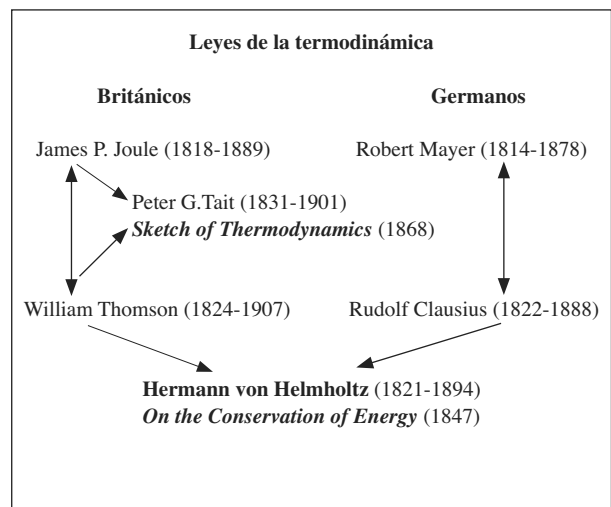
Estoy ahora convencido de que recientemente hemos entrado en posesión de la evidencia experimental de la naturaleza discreta o granular de la materia, que en vano buscaba la hipótesis atómica durante cientos o miles de años [...] El aislamiento y cómputo de iones gaseosos por una parte [...] y por la otra la concordancia de los movimientos brownianos con las exigencias de la hipótesis cinética justifican que el más cauto de los hombres de ciencia hable ahora de la prueba experimental de la teoría atómica de la materia. La hipótesis atómica ha alcanzado así la forma de una teoría científica fundada.

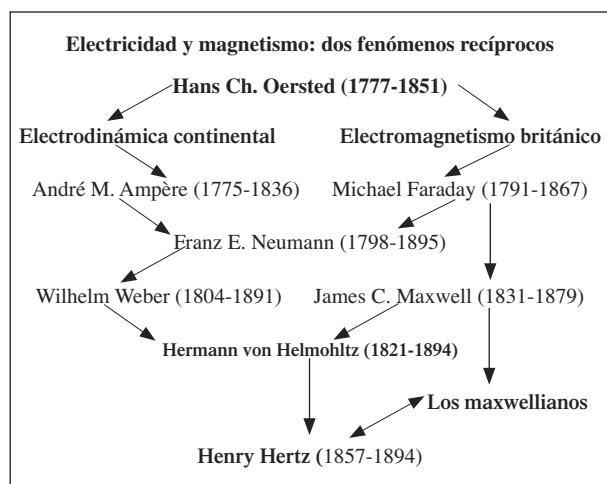
Aunque no estrictamente, entre los defensores del energetismo predominaron los químicos, y entre los del atomismo, los físicos. El análisis de la controversia ayuda a considerar las diferentes formas en que físicos y químicos contemplan la naturaleza de la ciencia y la naturaleza misma. Son diferentes formas también de aproximación a la termodinámica, especialmente en la forma de concebir y medir la entropía. Hablan los energetistas de «el fin de la visión mecanicista de la naturaleza hacia un nuevo siglo de las luces». Buscan la unidad en la diversidad, una visión holística del mundo (Sachs, 2001), en tanto que Boltzmann considera las teorías científicas como «una imagen mental puramente íntima» de los fenómenos. Según él, las teorías científicas deberían ser vistas como imágenes conceptuales o representaciones del mundo más que descripciones directas basadas en hipótesis realistas.

En esta controversia entra en juego, además, la valoración de los límites del pensamiento humano. A los planteamientos citados de Mach, Ostwald y Boltzmann, pueden añadirse otros de análoga importancia como los de DuBois Reymond y Helmholtz, afines al energetismo, defensores de que hay unos límites al conocimiento natural, de tal modo que nuestras experiencias dependen de la manera en que nuestros nervios son afectados. Parten

de un principio determinista del conocimiento enunciado como *ignoramos e ignoraremos*.

La controversia atomismo-energetismo, como sucede con las teorías electrodinámicas, pone de manifiesto diferencias básicas entre la física continental (Alemania y Francia, especialmente) y la física británica. Para la primera, el experimentalismo y «tocar» la realidad es una actitud esencial de la ciencia; la segunda, procedente de la física newtoniana, da más cabida a hipótesis, a pesar de la famosa y repetida frase de Newton, «hypotheses non fingo». Los siguientes gráficos sintetizan ambas tendencias, a través de sus protagonistas más relevantes, en dos casos cruciales para la física: la controversia que nos ocupa y los estudios sobre la unificación entre fenómenos eléctricos y magnéticos. En ambos casos pueden contraponerse las bases epistemológicas según la afinidad a la continuidad o a la discontinuidad en la naturaleza. Quizá porque todavía se trata de una primera aproximación, por mi parte, a este contraste entre los estilos británico y continental para ambos casos, sobre el que no he encontrado estudios específicos, lo aparentemente llamativo es que en tanto la física británica asienta sobre la aceptación del atomismo sus aportaciones a la termodinámica, lo que explica que el continental Boltzmann se sintiese parte de aquel estilo científico, en el electromagnetismo es continuista, fundamentada en la teoría del campo, entidad continua sobre la que se asientan los fenómenos eléctricos y magnéticos. Y la misma observación puede hacerse, pero en sentido inverso, de la física continental, como refleja la sinopsis: continuistas en termodinámica y atomistas en electrodinámica, basada en los elementos de corriente como unidades básicas de los fenómenos eléctricos y magnéticos. Éste es un estudio interesante y pendiente que acaso puede vincularse incluso con las diferencias metodológicas en investigación y docencia practicadas en uno y otro lugar. Es de destacar el papel armonizador desempeñado por Helmholtz en la física del siglo XIX, que tanta repercusión tuvo para la física actual; sin embargo es un científico del que apenas se ha hecho difusión de su trascendental obra en la literatura científica en castellano; una más de las deficiencias culturales e históricas en la formación de estudiantes y profesores.





Si bien las teorías atómicas acaban con el energetismo «a la Ostwald» (antinewtoniano), la cuantificación de la energía da un protagonismo fundamental a los procesos de emisión y absorción de energía asociados a los logros alcanzados en la investigación sobre partículas elementales, que junto con la identidad relativista materia-energía ha hecho decir a algunos que estamos ante una nueva forma de energetismo. Hubo incluso algunos físicos protagonistas de la mecánica cuántica alineados con ciertos principios del energetismo decimonónico, es el caso de Heisenberg, oponente al atomismo del siglo XIX. Prefiere el concepto aristotélico de *sustancia* y fundamenta sus estudios cuánticos en «la exclusiva relevancia de las magnitudes observables», según proclamó en la Conferencia Gifford en la Universidad de St. Andrews de Aberdeen (Escocia). En cambio Bohr, más afín al atomismo del XIX, afirma: «Al llegar al mundo de los átomos, al científico no le interesa tanto hacer cálculos como crear imágenes».

La controversia tuvo, desde ambos bandos, repercusiones prontas y sobresalientes en la física del siglo XX: los modelos *atomistas* de Maxwell y Boltzmann contribuyeron a los inicios de la mecánica de los cuantos, en tanto que las propuestas *energetistas*, por su parte, contribuyeron al desarrollo de la termodinámica de los procesos irreversibles.

En cuanto a las imágenes, como representaciones físicas, escribía Sainte-Claire Déville en *Leçons sur l’Affinité* (1867):

Siempre que se ha querido imaginar, dibujar los átomos, yo no sé que se haya conseguido hacer otra cosa sino la reproducción grosera de una idea preconcebida, de una hipótesis gratuita, en fin, de conjeturas estériles [...]; y estas ilustraciones, hoy tan en boga, son para la juventud de nuestras escuelas un peligro más serio de lo que se piensa [...]; hacen creer en una interpretación real de los hechos y olvidar nuestra ignorancia.

A este respecto, Ostwald, que acuñó como máxima en tono bíblico «no te servirás de imágenes ni de símiles»,

apuntaba en su *Chimie inorganique* (citado por Blas Cabrera en su discurso de recepción como académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 1910, que trató sobre *El éter y sus relaciones con la materia en reposo*):

[...] la hipótesis atómica ha sido un instrumento muy útil para la teoría y la investigación, porque ha facilitado mucho la inteligencia y el empleo de las leyes generales. Pero es necesario no dejarse arrastrar por el acuerdo existente entre la imagen y la realidad hasta confundir la una con la otra. En el dominio hasta el presente estudiado, los fenómenos químicos ocurren como si los cuerpos estuviesen compuestos por átomos de la manera que hemos expresado. Pero resulta de aquí, en cuanto a la existencia de estos átomos, todo lo más una *posibilidad*, y de ninguna manera una *certidumbre*.

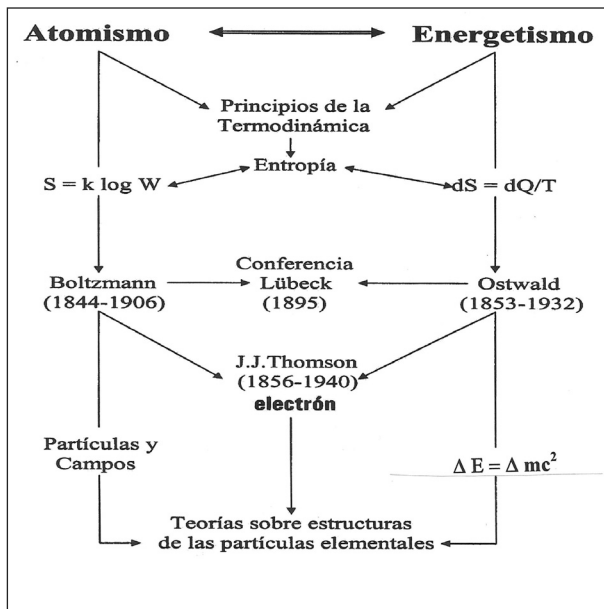
Ahora bien, la controversia no se cerró definitivamente con ningún «perdedor», había razones poderosas en ambos bandos porque desde las dos partes se procedía de posiciones epistemológicas sólidas, aunque tan diferentes que conducían a consecuencias dispares. Steven Weinberg escribe en su magnífico libro *El sueño de una teoría total. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*:

Durante un cierto periodo de tiempo en los años ochenta y noventa del siglo pasado, se libró una batalla entre los defensores de la nueva mecánica estadística y aquéllos, como Planck y el químico Wilhelm Ostwald, que seguían manteniendo la independencia lógica de la termodinámica. Ernst Zermelo fue incluso más lejos y argumentó que, puesto que sobre las bases de la mecánica estadística la disminución de la entropía sería muy poco probable pero no imposible, las hipótesis sobre las moléculas en que se basa la mecánica estadística deben ser falsas. Esta batalla fue ganada por la mecánica estadística después de que la realidad de los átomos y las moléculas fuera aceptada generalmente a comienzos de siglo. Sin embargo, aunque la termodinámica ha sido explicada en términos de partículas y fuerzas, continúa tratando con conceptos emergentes como los de *temperatura* y *entropía*, que pierden todo significado en el nivel de las partículas individuales.

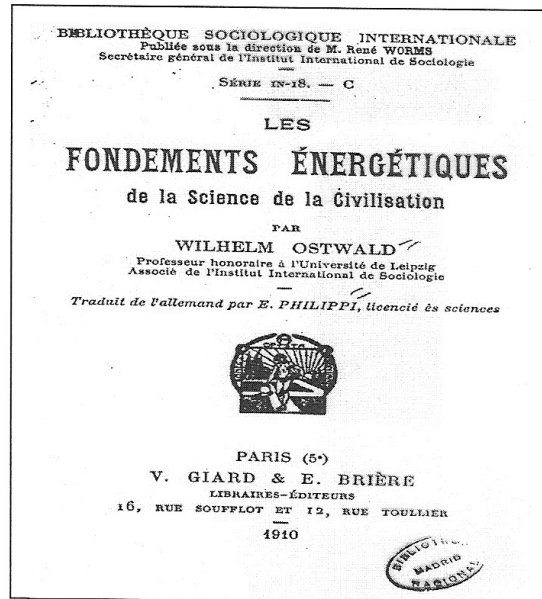
Son las grandes revoluciones del siglo XX que dejan, parece ser, situado a Newton en un ámbito definitivo. A la vez se abren nuevos frentes que traspasan el mundo newtoniano, que cuestionan la fragmentación del conocimiento, incluso la investigación básica. No se trata de volver a la querencia postpositivista (Carnap, Neurath...) buscando la unidad de la ciencia, sino la unidad de la naturaleza, un principio fundamental de la ciencia en sus orígenes (filosofía natural). La fragmentación del conocimiento ha tenido una influencia decisiva en los sistemas educativos que quizá empiezan a notar los achaques de aquella fragmentación decimonónica y hayan de adentrarse en propuestas más unificadoras.

Como síntesis de los fundamentos de la controversia, del desenlace y del estado actual de las concepciones atómicas y energéticas, unificadas gracias a la genial aportación de Albert Einstein en sus teorías relativistas, sirva el esquema de la página siguiente.

Yoav Ben-Dov en *Invitación a la física* (1999) deja abiertas algunas puertas al energetismo en una versión moderna:



Si bien desde el punto de vista físicoquímico la polémica quedó resuelta, la beligerancia energetista no decayó, trasladándose al análisis de los fenómenos sociales como bien muestra una de las obras muy difundidas de Ostwald, a la que en principio tuvo la intención de titular «Los fundamentos energéticos de la sociología», dedicada a Ernst Solvay, «creador de la energética social» en palabras del propio Ostwald. En esta obra trata de extender la concepción energética aplicada a la física y a la química a otras ramas del conocimiento como la fisiología, la psicología, la antropología, en general a lo que él denomina «ciencia de la civilización» (Ostwald, 1910).



Destaquemos que, mucho antes de que el concepto de *fractal* fuera desarrollado por Benoît Mandelbrot, en los años setenta, Perrin ya lo había incluido en *Los Átomos*. Quizás, como pensaban algunos físicos en los años sesenta, existe un nivel fundamental donde todas las partículas poseen el mismo estatus, con una sola diferencia en relación con los átomos de la antigüedad: que en vez de permanecer siempre idénticas, todas puedan transformarse en otras partículas. Lejos de estar compuestas por partículas más pequeñas, serían la expresión de una sola identidad física que se manifestaría tanto en una forma como en otra. En esta teoría—llamada de los «cordones de botas» (*bootstrap*) según la expresión popular estadounidense inspirada en las aventuras del barón de Münchhausen— podemos apreciar una nueva versión del energetismo.

Este planteamiento, conectado con la teoría general de la relatividad en sus repercusiones cosmológicas, podría justificar la afirmación que en su día hiciera Bruno Ibeas, profesor de Historia de la Filosofía en la Universidad de Madrid, en *Las Teorías de la Relatividad de A. Einstein*: «Einstein, por ser subjetivista, es dinamicista como Kant, y, si se quiere, energicista a la manera de Ostwald» (Ibeas, 1922).

### 5. REPERCUSIÓN DEL ENERGETISMO: UN DESENLAZADO MÁS ALLÁ DE LA CIENCIA

La energética permite explorar con éxito todos los dominios de la civilización, y no solamente hace comprender su pasado en líneas generales, sino que además indica claramente hacia dónde deben tender sus esfuerzos [...] La energética, por poderosamente que haya contribuido a modelar el saber humano, no es más que una ciencia del porvenir. Pero todo hace prever que su hora llegará pronto.

Wilhelm Ostwald, *La Energía* (Llibrería Gutenberg, Madrid, 1911, p. 272)

Agotada la posibilidad de que el energetismo prosperara en la forma planteada inicialmente, desbancado irremediablemente por el triunfante atomismo, el energetismo se convirtió para Ostwald en un caso obsesivo de transposición social, animado por el optimismo científico y tecnológico de su tiempo (Clark y Henderson, 2002). Hasta tal punto llega Ostwald en sus planteamientos sociales, que considera el progreso de la humanidad como la resultante de la acumulación de toda la energía posible, con vistas a conseguir la máxima potencia y «libertad» del universo, el máximo valor y la máxima felicidad.

La *German Monist League* (Honkala, 2003) fundada en 1906 y presidida por Ostwald entre 1910 y 1915 fue una fundación para llevar el energetismo, en su doble vertiente científica e ideológica: a las masas populares, para las que consideraba vital la información científica; al mundo de la educación; a los movimientos ecológicos (Mirowski, 1994), defensores de la pureza alemana en todos los órdenes de la naturaleza, con una actitud que algunos sitúan como antecedente del nacional socialismo (Staudenmaier, 2004); al plano internacional fomentando la cooperación entre países para la producción e intercambio de la ciencia. Él mismo fue el primer profesor visitante alemán en una universidad norteamericana, la de Harvard.

En 1901 fundó *Annalen der Naturphilosophie*, que se publicaron hasta 1921 y en los que introdujo criterios de citas y referencias bibliográficas en la forma que actualmente se utilizan en la literatura científica (Rodny y Solov'ev, 1969). En 1907 presidió la Delegación para la Adopción de un Lenguaje Auxiliar Internacional que sirviera como medio de intercambio y entendimiento en los asuntos internacionales. Así nació el Ido, propagado a través de la revista *Progreso*; era una especie de esperanto reformado. Ostwald fue nombrado Presidente Honorario de la Academia Ido. Un personaje, en suma, de gran influencia en su tiempo (Schummer, 2000). Como curiosidad del prestigio de que gozaba es elocuente la carta que, dirigiéndose a él como «highly honored Herr Professor», el padre de Einstein le escribió en 1901, cuando éste contaba 22 años y acababa de terminar sus estudios en física y matemáticas en el Politécnico de Zurich, solicitando para su hijo una plaza como «assistant». Si bien, entonces, Ostwald hizo caso omiso a la carta del preocupado padre, años después, en 1911 él fue el primero en proponer la candidatura de Albert Einstein para el Premio Nobel de Física.



Obra de Ostwald escrita con la intención de llevar los conocimientos científicos y técnicos a las gentes de cualquier condición y formación, convencido de la necesidad de una cultura científica para todos: «Los caminos de la Técnica: *La pirámide de las Ciencias*»

Quien se mantuvo de por vida en la oposición al atomismo fue Mach (Brush, 1968). En 1910, cuando no podía dudarse de la naturaleza atómica de la materia, e incluso el mismo Ostwald había claudicado de su energetismo a ultranza, Mach respondía así a Planck en un debate mantenido entre ambos: «si la creencia en la realidad de los átomos es tan crucial, entonces yo rechazo la manera de pensar de la física. Yo no seré un físico profesional y renunciaré a mi reputación científica».

El energetismo también invadió la esfera política: Vladimir Ilich Lenin (1870-1924) en *Materialismo y Empiricriticismo* (1909) critica lo que él califica como «confusionismo de Ostwald», manifestándose contrario a quienes dudan del atomismo de la materia y arremetien-

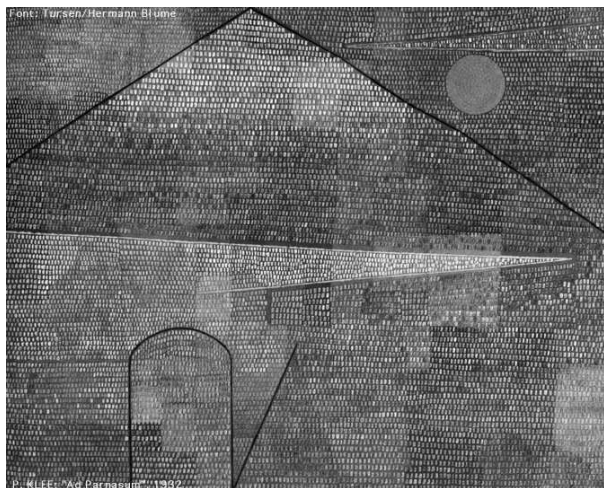
do muy agresivamente contra el físico bolchevique Aleksandr Bogdanov (1873-1928), afín a los planteamientos energéticos de Ostwald. Si no en forma tan directamente aludido, el energetismo está presente en la obra de Karl Pearson *La gramática de la ciencia*, traducida al castellano (Pearson, 1909) por el entonces catedrático de Lógica del Instituto de Toledo y político socialista Julián Besteiro (1870-1940), y luego presidente de las Cortes Constituyentes durante la Segunda República. Mach dedicó sus obras sobre mecánica a Pearson, profesor de matemáticas aplicadas y mecánica en la Universidad de Londres, defensor de una moral racionalista y una organización socialista de los pueblos, en oposición a las ideas vigentes en la Inglaterra victoriana.

Otro ámbito donde se manifestó el energetismo y en el que Ostwald hizo aportaciones tomadas en consideración fue la búsqueda de una relación útil entre ciencia, tecnología y arte; en particular mostró especial interés por la pintura, que practicaba a partir de su propia teoría de los colores (Ball and Ruber, 2004); trataba de crear arte desde un punto de partida científico. En 1919 el arquitecto Walter Gropius creó la Bauhaus en Weimar, un centro docente público que agrupó pintores, escultores, arquitectos y artesanos de diferentes oficios procedentes de la fusión de la Escuela de Bellas Artes y de la Escuela de Artes y Oficios; tenían la aspiración de democratizar el arte y enaltecer la artesanía, mediante la conjunción de ambas prácticas. Desde la Bauhaus, y otros grupos como «De Stijl» liderado por Mondrian, se interesaron por las peculiares inquietudes artísticas de Ostwald; Gropius lo invitó en 1926 a visitar la Bauhaus en Dessau, adonde se trasladaron gracias al apoyo moral y económico del «Círculo de Amigos de la Bauhaus», entre los que se contaba Albert Einstein, porque la derecha alemana consiguió que se les retiraran las ayudas en Weimar. En 1933, la presión nazi acabó definitivamente con aquel movimiento docente y social, reiniciado en 1937 en Chicago. En sus conferencias en la Bauhaus, Ostwald expuso sus ideas sobre el color, la armonía de las formas, la conexión entre música y arte, etc.

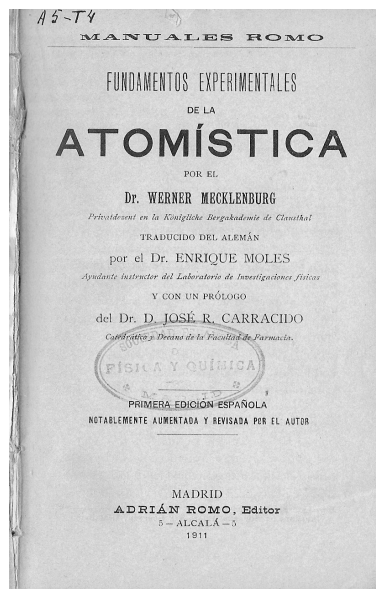
Entre los pintores de la Bauhaus, Paul Klee y Kandinsky fueron los más destacados. Este último simpatizó con la teoría de los colores de Ostwald, no así Klee, quien sin embargo se consideró energetista en un primer momento, y atomista después.



Klee energetista: ilustración del *Cándido* de Voltaire.



Klee atomista



En España, la controversia no pasó inadvertida. Ya he comentado que precisamente llegué a interesarme por ella trabajando en la biografía de Carracido. Además de Carracido, participaron en debates, sobre el atomismo y el energetismo, el ya citado Bruno Ibeas, Obdulio Fernández, Enrique Hauser, Rodríguez Mourelo, entre otros. Eugenio Piñerúa, catedrático de química general de la Universidad de Madrid, en la última lección dada en el curso 1923-1924, con motivo de su jubilación, que versó sobre *Ideas antiguas y modernas: acerca de la constitución de la materia de las sustancias corpóreas*, escribía:

Todavía no hace más de treinta años que el gran químico alemán Ostwald publicó un artículo esencial titulado «La ruina del atomismo». En efecto: los hombres de laboratorio, entregados por entero a trabajos experimentales, se resistieron durante mucho tiempo a creer en la existencia de los átomos. ¿Existen los átomos realmente?, se preguntaban. Y si existen, ¿de qué están constituidos? He aquí la doble cuestión a la que pedían una respuesta satisfactoria.

Vemos pues que reinaba entre los sabios cierto escepticismo en lo tocante a la hipótesis atómica; pero los años 1911 y 1912 marcan el comienzo de un nuevo periodo.

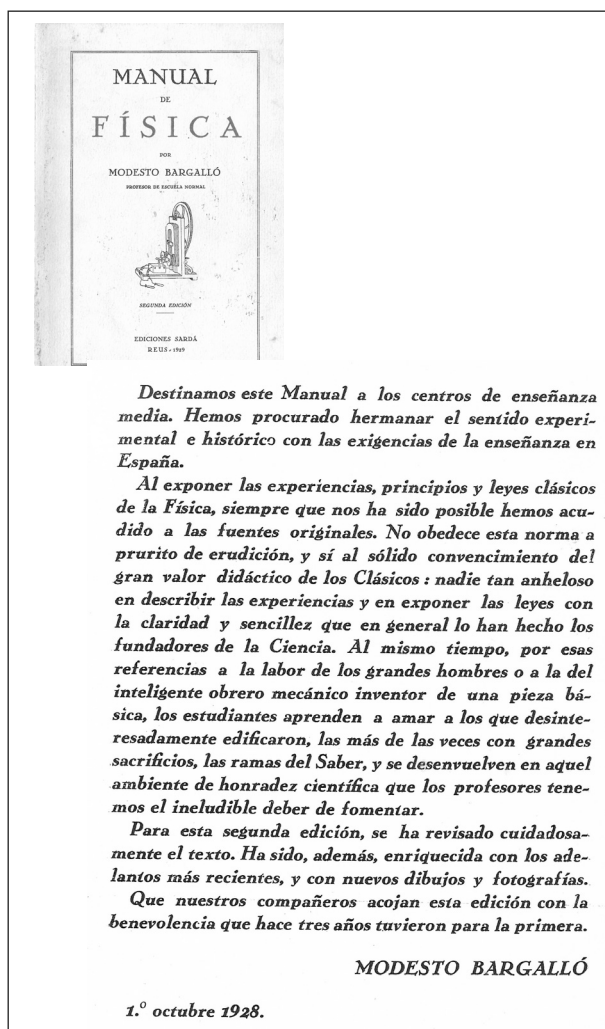
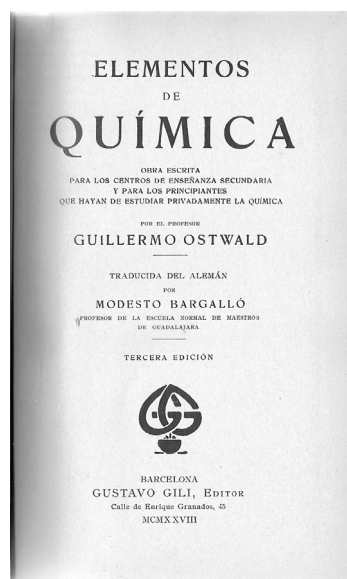
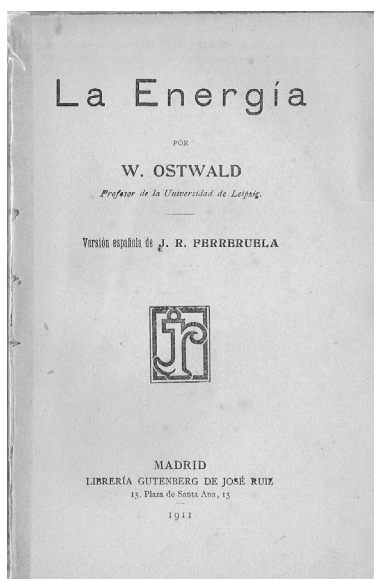
Como muestras irrefutables sobre la discontinuidad de la materia, continúa refiriéndose Piñerúa a las pruebas sobre la constitución atómica de la materia aportadas por Jean Perrin, recogidas en un libro que alcanzó mucha difusión, *Los Átomos* (Perrin, 1913), y al descubrimiento por Rutherford y sus colaboradores de las partículas alfa. Hay que recordar aquí el ya mencionado artículo de Einstein en su *annus mirabilis* de 1905 sobre el movimiento browniano, apoyo fundamental para la confirmación del atomismo de la materia. En el capítulo «Probing the interior of the atom» (Schlagel,

2001) se hace un análisis sencillo y preciso de cómo hubo de ser abandonado necesariamente el energetismo.

Entre las publicaciones con que se difundió en España el atomismo, ya bastante asumido por la comunidad científica, destaca ésta de Mecklenburg, químico alemán que envió durante algunos años «Notas alemanas de física» y «Notas alemanas de química» a *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*. En uno de aquellos envíos llegó a España la primicia, como otras a través de dichas notas, sobre la relatividad de Einstein. Mecklenburg termina con esta reflexión la obra traducida por Moles (1883-1953):

Y la energética ¿conduce y llega, si las señas no engañan, a la teoría atómica? Las investigaciones teóricas de Planck y Einstein y los trabajos experimentales de John Stark hacen muy verosímil que, incluso la misma energía, la fuerza que mueve el universo, esté compuesta por elementos activos sencillos, por 'átomos de energía' y por tanto el porvenir de la energética residirá, en su desarrollo, en una teoría atómica refinada (Mecklenburg, 1911).

Ostwald fue en España un científico muy considerado, del que se siguieron puntualmente sus teorías sobre análisis químico, catálisis y electroquímica –no sólo interesó su beligerante actitud energetista– y de quien fueron traducidas algunas de sus obras de divulgación más significativas. Además de la traducción de su original libro sobre la energética, donde da cuenta detallada del proceso histórico en que se gestaron sus ideas y convicciones antiatomistas –publicado en castellano con el equívoco título *La Energía* (Ostwald, 1911)–, fueron traducidos algunos de los muchos libros de texto que Ostwald escribió.



*Destinamos este Manual a los centros de enseñanza media. Hemos procurado hermanar el sentido experimental e histórico con las exigencias de la enseñanza en España.*

*Al exponer las experiencias, principios y leyes clásicos de la Física, siempre que nos ha sido posible hemos acudido a las fuentes originales. No obedece esta norma a prurito de erudición, y sí al sólido convencimiento del gran valor didáctico de los Clásicos: nadie tan anheloso en describir las experiencias y en exponer las leyes con la claridad y sencillez que en general lo han hecho los fundadores de la Ciencia. Al mismo tiempo, por esas referencias a la labor de los grandes hombres o a la del inteligente obrero mecánico inventor de una pieza básica, los estudiantes aprenden a amar a los que desinteresadamente edificaron, las más de las veces con grandes sacrificios, las ramas del Saber, y se desenvuelven en aquel ambiente de honradez científica que los profesores tenemos el ineludible deber de fomentar.*

*Para esta segunda edición, se ha revisado cuidadosamente el texto. Ha sido, además, enriquecida con los adelantos más recientes, y con nuevos dibujos y fotografías.*

*Que nuestros compañeros acojan esta edición con la benevolencia que hace tres años tuvieron para la primera.*

MODESTO BARGALLÓ

1.º octubre 1928.

En 1930 se publicó la traducción de la cuarta edición alemana de *La Escuela de Química. Introducción al estudio de la Química*. Un libro escrito en forma de diálogo entre un profesor y un alumno, al estilo que muchos otros practicaron para difundir la ciencia, que «tiene sus raíces —escribe Ostwald en el prólogo— en el sentimiento de gratitud que todavía me inspira hoy la Escuela de Química (*Schule der Chemie*) del inmortal Stöckhardt. El libro de Julius A. Stöckhardt (1809-1886) que Ostwald considera una «obra maestra de pedagogía» fue de texto durante varias décadas y en él iniciaron su formación científica otros químicos eminentes, como Bayer, Fisher y Wallach.

Ostwald, en el prólogo a su *Escuela* explica por qué recurrió en aquellos diálogos al planteamiento histórico de las teorías químicas:

Personalmente estoy convencido de la ventaja de este sistema pedagógico sobre el acostumbrado, y me ha servido de gran enseñanza ver de nuevo confirmada la convicción que manifesté, pronto hará veinte años, de que el desarrollo lógico de una ciencia ofrece grandes coincidencias con el histórico.

Esta convicción fue secundada por algunos profesores españoles de entonces, autores a su vez de libros de texto, como es el caso de Modesto Bargalló, traductor de *Elementos de Química* de Ostwald (en 1928 se publicó una tercera edición de esta traducción) utilizado en la enseñanza secundaria y en las escuelas normales para la formación de los maestros. Modesto Bargalló, profesor de la Escuela Normal de Guadalajara, fue uno de los pioneros en incluir en sus libros de texto de física y de química referencias muy documentadas sobre la historia de las ciencias, superando la mala práctica de quienes recurrían a la historia como mera anécdota, cuando no, lo que es aún peor, como una hagiografía de los científicos preferidos por los autores.

Como síntesis y colofón a la controversia en estudio, sirvan las palabras del físico español Blas Cabrera (1878-1945), traductor de la crucial obra de J.J. Thomson *Electricidad y Materia*, durante una conferencia radiofónica emitida el 21/1/1936:

También en la historia del conocimiento han sido frecuentes nuevas orientaciones que rompen con el orden tradicional y alteran de modo insospechado el panorama que ofrece el saber.

A los físicos de mi generación (Cabrera nació en 1878), les ha tocado en suerte vivir uno de estos momentos, sin duda el más dramático desde los días de Newton [...] El atomismo y la continuidad pudieron pensarse como imágenes equivalentes, entre las cuales escogía cada mente, bajo los dictados de la propia simpatía filosófica o por la comodidad del razonamiento. Así, aún en nuestra época escolar, utilizábamos normalmente en la explicación de los fenómenos químicos la supuesta realidad atómica que impone la proporcionalidad entre las masas de los cuerpos simples que intervienen en una reacción, mientras en las teorías físicas regía la noción de continuidad más conforme a la naturaleza del análisis matemático utilizado como instrumento suyo. La curiosidad intelectual de la juventud de aquellos días pudo conocer los ingeniosos esfuerzos de Ostwald y Duhem para interpretar el ato-

mismo incuestionable de aquellas leyes químicas como forma aparente de una materia continua. Sólo por entonces, cuando agonizaba el siglo XIX y nacía el XX, logró demostrarse la existencia de los átomos [...].

La concepción atomista afectaba profundamente a la valoración de la ciencia pues para alcanzar el conocimiento objetivo a que aspira la ciencia fue menester acudir a los métodos estadísticos [...].

Ninguna generación se ha visto en esta situación obligada a profesar una ciencia que aparece más remota de la que aprendió en las aulas universitarias, que la que separaba el saber de nuestros profesores de lo que enseñaban los filósofos griegos. Con ello mi generación ha ganado que se le reconozca una flexibilidad intelectual que acaso no aprecien bastante quienes no se han visto nunca precisados a realizar este difícil ejercicio de acrobacia mental.

**NOTA**

Ponencia presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, 7 al 10 de septiembre de 2005).

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABD-EL-KHALICK, F. (2001). History of Science, Science Education, and Nature of Science: Conceptual Change, Discourse, Collaboration, and Other Oversights! *History of Science Newsletter*, 30(1).

BALL, P. y RUBEN, M. (2004). Color Theory in Science and Art: Ostwald and the Bauhaus. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43, pp. 4.842-4.846.

BEN-DOV, Y. (1999). *Invitación a la física*. Barcelona: Editorial Andrés Bello.

BLACKMORE, J. (ed.). (1995). *Ludwig Boltzmann. His Later Life and Philosophy, 1900-1906*. Dordrecht: Kluwer.

BOLTZMANN, L. (1986). *Escritos de mecánica y termodinámica*. (Edición de Javier Ordóñez). Madrid: Alianza.

BRUSH, S.G. (1969). The role of the history in the teaching physics. *The Physics Teacher*, 7(5), pp. 271-280.

BRUSH, S.G. (1968). Mach and Atomism. *Synthese*, pp. 192-215.

CAHAN, D. (ed.). (1993). *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*. California: University of California Press.

CARSON, R.N. (1997). Science and the Ideals of Liberal Education. *Science and Education*, 6(3), pp. 225-238.

CLARK, P. (1976). Atomism versus thermodynamics, en C. Howson (ed.). *Method and appraisal in the physical sciences. The critical background to modern science, 1800 - 1905*. Cambridge University Press, pp. 41-104.

CLARK, B. y HENDERSON, L.D. (eds.). (2002). *From Energy to Information: Representation in Science and Technology, Art, and Literature*. Stanford University Press.

CONANT, J.B. (1947). *On Understanding Science. An Historical Approach*. Oxford University Press.

CONANT, J.B. (1957). *Harvard Case Histories in Experimental Sciences*. Harvard University Press.

DELTEDE, R.J. (1983). «The Energetics Controversy in late Nineteenth - Century Germany: Helm, Ostwald and their critics». Tesis doctoral. Yale University.

DUHEM, P. (1914). *La Théorie physique: son objet et sa structure*. París: Marcel Rivière.

DUSCHL, R.A. (2000). «Using and Abusing: Relating History of Science to Learning and Teaching Science». Presentación en el congreso Science Communication, Education and the History of Science, en la British Society for the History of Science (Londres, 12-13 de julio).

DUSCHL, R.A. (1994). Research on the History and Philosophy of Science. *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York: McMillan Publishing Company.

ELKANA, Y. (2000). Science, Philosophy of Science and Science Teaching. *Science and Education*, 9(5), pp. 463-485.

ENGELHARDT, H.T. y CAPLAN, A.L. (eds.). (1987). *Scientific Controversies. Case studies in the resolution and closure of disputes in science and technology*. Cambridge University Press.

FLECK, L. (1935). *Genesis and Development of a Scientific Fact*. Chicago University Press.



- FREIRE, O. (2003). A Story Without an Ending: The Quantum Physics Controversy 1950-1970. *Science and Education*, 12(5-6), pp. 573-586.
- FULLER, S. (2000). *Thomas Kuhn. A Philosophical History for Our Times*. The University Chicago Press.
- GILLISPIE, CH. (ed.). (1975). *Dictionary of Scientific Biography*. Nueva York: Charles Scribner's Sons.
- HELM, G. (2000). *The Historical Development of Energetics*. Traducción y ensayo preliminar de R.J. Deltete. Obra original publicada en alemán en 1898. Kluwer Academic Publishers.
- HIEBERT, E.N. (1975). The Energetics Controversy and the New Thermodynamics, en Roller, D. (ed.). *Perspectives in the History of Science and Technology*. University of Oklahoma Press.
- HONKALA, A. (2003). «Wilhelm Ostwald, the German Monist League and the educational reforms in Germany around the turn of the 19th and 20th century». Tesis doctoral. Finlandia: University of Oulu.
- IBEAS, B. (1922). *Las teorías de la relatividad de A. Einstein*. Madrid: Bruno del Amo.
- JUNG, W. (1994). Toward Preparing Students for Change: A Critical Discussion of the Contribution of the History of Physics in Physics Teaching. *Science and Education*, 3(2), pp. 99-130.
- KRAGH, H. (1992). A sense of History: History of Science and the Teaching of Introductory Quantum Theory. *Science and Education*, 1(4), pp. 349-363.
- LEWIS, G.L. (1972). The history of Science and its Place in a Physics Course, cap. 9 de *Teaching School Physics*. Londres: Unesco-Penguin Books.
- MACH, E. (1974). *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of Its Development* (primera edición alemana en 1883). The Open Court Publishing Co., LaSalle.
- MARÍN MARTÍNEZ, N. (1997). *Fundamentos de didáctica de las ciencias experimentales*. Universidad de Almería.
- MASON, S. (1988). *Historia de las ciencias*, 5. Madrid: Alianza Editorial.
- MATTHEWS, M.R. (2000). *Time for Science Education. How Teaching the History and Philosophy of Pendulum Motion Can Contribute to Science Literacy*. Nueva York: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- McCOMAS, W.F. (2000). *The Nature of Science in Science Education. Rationals and Strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- MECKLENBURG, W. (1911). *Fundamentos experimentales de la Atomística*. Madrid: Adrián Romo.
- MERTON, R.K. (1938). *Science, Technology and Society in the Seventeenth-Century England*. St. Catherine Press Ltd, Bruges.
- MERTON, R.K. (1985). *La sociología de la ciencia*, 2. Madrid: Alianza Editorial.
- MIELI, A. (1947). *La teoría atómica química moderna*. Madrid: Espasa-Calpe.
- MIROWSKI, P.E. (ed.). (1994). *Ecology in the Minor of Economics*. Notre Dame University.
- MORENO, A. (1991). *José Rodríguez Carracido*. Fundación Banco Exterior, Madrid. Contiene información sobre la controversia atomismo-energetismo en España.
- MORENO, A. (2000). *La historia de la ciencia: ¿saber útil o curioso complemento?*, 24, pp. 99-112. Barcelona: Alambique.
- MORENO, A. (2000). Pesar la Tierra: test newtoniano y origen de un anacronismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), pp. 319-332.
- MORENO, A. (2001). Weighing the Earth: a Newtonian Test and the Origin of an Anachronism. *Science and Education*, 10(6), pp. 515-543. Ampliación del anterior.
- NARASIMHAN, M.G. (2001). Controversy in science. *J. Biosci.*, 26(3).
- NAY, M.J. (ed.). (2003). Especialmente el capítulo «Force, Energy, and Thermodynamics». *The Cambridge History of Science*, 5, The Modern Physical and Mathematical Sciences. Cambridge University Press, Crosbie Smith.
- NERSESSIAN, N.J. (1995). Opening the Black Box: Cognitive Science and History of Science. *Osiris*, pp. 194-211.
- OSTWALD, W. (1910). *Les fondements énergétiques de la Science de la Civilisation*. París: Girad & Brière.
- OSTWALD, W. (1911). *La Energía*. Madrid: José Ruiz.
- PEARSON, K. (1909). *La Gramática de la Ciencia*. (Trad. Julián Besteiro). Madrid: Daniel Jorro.
- PERRIN, J. (1913). *Les Atomes*. París: Félix Alcan.
- PERRY, G.W. y PERRY, P. (1969). *Case-Studies in Teaching*. Londres: Isaac Pitman and Sons.
- PLANCK, M. (2000). *Autobiografía científica y últimos escritos*. (Prólogo y edición de Alberto Galindo). Madrid: Nivola.
- POLANYI, M. (1958). *Personnal Knowledge*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- POURPRIX, B. (2003). *La fécondité des erreurs*. Villeneuve d'Ascq. Presses Universitaires du Septentrion.
- RAYNAUD, D. (2003). *Sociologie des controverses scientifiques*. París: Presses Universitaires de France.
- ROAH, L.E. y WANDERSEE, J.H. (1993). Short Story Science. Using historical vignettes as a teaching tool. *The Science Teacher*, septiembre, pp. 18-21.
- RODNYI, N.T. y SOLOV'EV, Y.T. (1969). *Wilhelm Ostwald. An Outstanding Scientist and Science Organizer*. Moscow: Nanka.
- SACHS, M. (2001). From atomism to Holism in 21<sup>st</sup> century physics. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 26, número especial.

- SCHLAGEL, R.H. (2001). *From the Myth to the Modern Mind. A Study of the Origins and Growth of Scientific Thought*, 2. Nueva York: Peter Lang.
- SCHUMMER, J. (ed.). (2000). *Wilhelm Ostwald at the Crossroads of Chemistry, Philosophy, and Media Culture*. Conference reports, University of Leipzig.
- SILVERMAN, M.P. (1992). Raising Questions: Philosophical Significance of Controversy in Science. *Science and Education*, 1(2), pp. 163-179.
- SMITH, C. (1998). *The Science of Energy. A Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Londres: The Athlone Press.
- SMITH, C. y WISE, M.N. (1999). *Energy and Empire. A biographical study of Lord Kelvin*. Cambridge: Cambridge University Press.
- STAUDENMAIER, P. (2004). The 'Green Wing' of the Nazi Party and its Historical Antecedents. *Ecofascism: Lessons from German Experience*, AK Press.
- STINNER, A., McMILLAN, B.A., METZ, D., JILEK, J. y KLASSEN, S. (2003). The Renewal of Case Studies in Science Education. *Science & Education*, 12, pp. 617-643.
- THOMSON, J.J. (1909). *Electricidad y Materia*. (Trad. Blas Cabrera). Madrid: Romo.
- WANDERSEE, J.H. (1990). On the value and use of the history of science in teaching today's science. Constructing historical vignettes. *More History and Philosophy of Science in Science Teaching*. Florida: Tallahassee.
- WANDERSEE, J.H. (1992). The historicity of cognition: Implications for science education research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), pp. 423-434.
- WEINBERG, S. (2003). *El sueño de una teoría final. La búsqueda de las leyes fundamentales de la naturaleza*. Barcelona: Crítica.
- WILLIAMS, H. y STINNER, A. (1993). «Teaching Science in the Secondary School. A modern perspective». Documento de trabajo preparado para su publicación. University of Manitoba.