

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XX JORNADAS

VOLUMEN 16 (2010)

Pío García  
Alba Massolo

Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



## Historia experimental de la ciencia experimental: aparatos mecánicos para ilustrar el electromagnetismo

*Víctor Rodríguez\* y Pedro W. Lambertí\*\**

### Introducción:

Se exploran aquí algunas facetas del contexto general en torno de la construcción de aparatos mecánicos que fueron diseñados a los fines de sugerir un marco explicativo de tipo mecanicista para ciertos fenómenos electromagnéticos. El trabajo, que es continuación de otros anteriores [Lambertí et al, 2009], se focaliza principalmente en la comparación de dispositivos elaborados por Maxwell y Boltzmann, -los que fueron reproducidos por uno de los autores de esta monografía (PWL)-, pero desde una perspectiva sensible a dos tópicos que consideramos de interés equivalente. Por un lado, nos ha interesado la evolución del mecanicismo durante el siglo XIX, y en particular, el lugar que ocuparon ciertos aparatos diseñados para ilustrar fenómenos relativamente sofisticados del ámbito electromagnético. Ellos estuvieron, en alguna medida, asociados a entidades teóricas de considerable presencia en la concepción del mundo físico de la época, como es el caso del éter, que es analizado especialmente aquí por su lugar en la interpretación de aspectos mecánicos propios del funcionamiento de dichos aparatos. Por otra parte, una motivación complementaria es la exploración de la dimensión epistemológica de la metodología experimental en la historia de la ciencia, en especial de la física. En nuestro caso, estimamos que ella se enriquece tanto con las cuestiones teóricas, como con las experimentales y en particular con la debida atención que merecen los instrumentos con fines teóricos epistemológicos, como se intentará ilustrar más adelante.

### Consideraciones sobre el marco conceptual:

En relación con la última cuestión mencionada en el párrafo anterior, la reconstrucción concreta de los aparatos de Maxwell y Boltzmann ha permitido explorar diversos aspectos de su funcionamiento que no aparecen mencionados en la literatura especializada que los cita y describe. Es de destacar al respecto la riqueza expresiva de los mismos en comparación con las limitaciones de los informes escritos sobre el funcionamiento de ellos en algunos experimentos, tal como aparecen en los artículos y libros de los historiadores consultados. Estos aparatos fueron contruidos, -reproducidos-, siguiendo estrictamente las pautas mencionadas por los autores

---

\* Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba

\*\* FaMAF, Universidad Nacional de Córdoba y CONICET

(Maxwell y Boltzmann) y cotejados por la información disponible sobre interpretaciones de los mismos y de sus funcionamientos elaboradas por físicos e historiadores. Adicionalmente, por contacto con los encargados de los museos en los que se encuentran los originales, se han podido chequear y aclarar algunos detalles técnicos de difícil acceso desde la literatura. La efectiva realización de ellos y su uso posterior han permitido concretar numerosos ‘mundos posibles’ que trascienden a la virtualidad literaria. Esta dimensión es un complemento que estimamos de valor considerable para el acercamiento a los experimentos científicos realizados en otras épocas. Naturalmente, hay antecedentes sobre estos abordajes y esta metodología en la historia de la ciencia. H. Kragh, por ejemplo, en *An Introduction to the Historiography of Science* [Kragh, 1987], dedica un breve capítulo a la historia experimental de la ciencia. Aunque este campo temático sigue creciendo, en buena medida motivado por los nuevos enfoques sobre epistemología de la experimentación, en este tipo de exposiciones es posible ver la tensión existente entre dos puntos de vista polares y el consecuente intento de lograr matices intermedios. La pregunta de base es acerca del significado y alcance de la reproducción de experimentos de otras épocas. Uno puede usarlos como test para la validación o refutación de informes presentados por científicos cuando existe la duda acerca de su efectiva realización por parte de los mismos. Nuestra intención aquí es proponer un complemento que estimamos fértil para la indagación epistemológica. Usando la expresión de Maxwell, “experimentos para ilustrar” (en *Introductory Lecture on Experimental Physics*, [Maxwell, 1890]), consideramos que la reproducción de ciertos aparatos permite aumentar considerablemente el alcance didáctico y conceptual en la enseñanza de ciertos temas y en la reflexión epistemológica asociada a ellos. A la tradicional dualidad de las reconstrucciones históricas y reconstrucciones racionales o lógicas, intentamos sumar el campo incipiente de las reconstrucciones de instrumentos vinculados a la experimentación, fundamentalmente como estrategia epistemológica acerca de las prácticas científicas y sus productos. Lateralmente, consideramos que es una dimensión no suficientemente explorada dentro de la línea de investigaciones relacionada con lo que se ha dado en llamar el currículo oculto dentro de la enseñanza de la física [ver e.g., Kortemeyer et al, 2009],

La mayoría de los profesores de física esperan que los cursos introductorios tengan un propósito doble: enseñar las bases de un currículo estándar de física ... y transmutar una apreciación de la naturaleza de la física, i.e., su modo de pensar y su filosofía. Esto último es llamado a veces el “currículo oculto” y esas consideraciones epistemológicas son raramente hechas explícitas. ... Despreciar el currículo oculto es particularmente desafortunado debido a que las creencias epistemológicas de los estudiantes influyen en su éxito de el aprendizaje dentro del currículo explícito<sup>1</sup>.

En nuestra opinión, estas investigaciones adolecen todavía de un considerable descuido de las prácticas experimentales dentro del contexto de descubrimiento en la historia de la física y de su importancia para una comprensión cabal de los fenómenos físicos. Como es sabido, difícilmente los laboratorios actuales asociados a la enseñanza ofrecen instrumentos idóneos para captar el clima no sólo de la vida de los laboratorios sino también de experimentos del pasado.

Con respecto al otro aspecto mencionado, -la evolución del mecanicismo-, son de destacar, dentro de nuestro contexto, las motivaciones de estos grandes científicos para mostrar una imagen mecánica de fenómenos electromagnéticos. Entendemos que es una trama no trivial la gama de relaciones entre el mecanicismo y las máquinas. Varios enfoques diferentes son posibles aquí, y de hecho han sido considerados por los especialistas en la historia de la física del siglo XIX. Nuestra intención es sólo insinuar que existe una compleja combinación de conceptos y prácticas provenientes de la historia de las técnicas por un lado, y de la evolución de la física por otro, incluido el perfil que conecta a esta disciplina científica con esa particular concepción del mundo asociada a la época moderna, esto es, la evolución de la *techne* y por otra parte un mecanicismo de causas eficientes vinculado a una imagen visible de engranajes, correas y dispositivos especiales.

Usualmente se suele asociar a estos estilos de indagación con diferentes conceptualizaciones acerca de los modelos y sus roles. Dentro de la dispersión de significados que ha exhibido el término "modelo", vale especialmente aquí el concepto de modelo material. Como ha sido considerado por varios autores, ellos pueden asistir a un científico reemplazando un fenómeno en un campo no familiar por uno en un campo más cercano. Esta vertiente didáctica y explicativa es visible tanto en Maxwell como en Boltzmann en las reflexiones elaboradas por ellos en torno de sus respectivos aparatos. Para nuestros fines, es de señalar que Rosenblueth y Wiener [Rosenblueth, 1945] consideran que un modelo material puede ayudar a llevar a cabo experimentos bajo condiciones más favorables que los que puede tener el sistema original. Es posible que la experiencia particular de Norbert Wiener haya contribuido con el corolario interesante que sigue en el texto:

"esta traslación supone que hay bases razonables para imaginar una similitud entre las dos situaciones; presupone así la posesión de un modelo formal adecuado, con una estructura similar a la de los dos sistemas formales. El modelo formal no necesita ser detalladamente comprendido, el modelo material sirve entonces para suplementar el formal."

Esto aparece de modo explícito en el tratamiento matemático, -en nuestro contexto el formalismo lagrangeano-, que reciben los modelos considerados aquí, como se expone en la sección siguiente. De todos modos, es conveniente remarcar que las analogías formales se

complementan en cada caso con matices semánticos propios de los conceptos introducidos por cada uno de los científicos considerados.

### **Maxwell y Boltzmann: los aparatos mecánicos y el éter**

Boltzmann fue uno de los principales promotores de la electrodinámica Maxwelliana, la cual estaba basada en el concepto de éter. En la teoría de Maxwell, el éter óptico, como un medio para la propagación de la luz, era fusionado con el éter electromagnético (el portador del campo electromagnético). Es pertinente mencionar aquí que ya en los primeros trabajos de Maxwell sobre los fenómenos electromagnéticos (1865), el éter ocupaba un lugar central y que su concepción de este medio, tenía asociada fenómenos de rotación. Esto es claro en el modelo mecánico que él propone para el campo magnético, cuya motivación es el efecto Faraday, es decir la rotación del plano de polarización de la luz que atraviesa una región con campo magnético. Este tipo de descripciones del éter conllevó a una dificultad creciente en su representación mecánica. En este contexto de dificultades, Boltzmann se ocupó de la posibilidad de representar mecánicamente a los procesos electromagnéticos. Este esfuerzo por parte de Boltzmann queda plasmado en sus clases sobre la teoría electromagnética de los años 1891 y 1893 [Boltzmann, 1891], en las cuales esta representación mecánica juega un rol clave. Por un lado, estas clases usan los instrumentos teóricos de la mecánica, especialmente el formalismo lagrangeano y el principio de mínima acción. Por el otro, está la construcción de un modelo mecánico concreto para ilustrar el acoplamiento inductivo de dos circuitos eléctricos, conocido como el Bicykel. Sin embargo no tuvo éxito en la construcción de un mecanismo del éter. Boltzmann vio al problema del éter como un problema clave. En uno de sus textos él se pregunta [Boltzmann 2005]:

¿Ganará un día la visión mecanicista de la naturaleza, la batalla decisiva del descubrimiento de una imagen mecánica simple del éter luminoso?

En otro lugar afirma:

La mejor conocida ley de la mecánica es la ley de inercia . ella misma inexplicable pero esencial para explicar cualquier fenómeno. Sin embargo es una consecuencia de las ecuaciones de Maxwell para el electromagnetismo, que una partícula en movimiento cargada sin masa o inercia, debe moverse por la mera acción del éter, como si tuviese una masa inercial [ . . . ] Mientras que previamente uno deseaba explicar todos los fenómenos en término de acciones de mecanismos, ahora es el éter el que es ese mecanismo, muy oscuro en sí mismo, de hecho, el que permite explicar todos los otros mecanismos. Ya no es cuestión de explicar todo mecánicamente, sino de hallar un mecanismo para explicar todos los mecanismos.

Como se indicó más arriba, Boltzmann usó en sus clases sobre la teoría electromagnética el formalismo lagrangeano, como lo había hecho Maxwell en su "Treatise". Es oportuno decir aquí que en este formalismo se supone que el sistema bajo estudio satisface las ecuaciones

$$L = \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q}$$

en donde la energía cinética T es una función de n coordenadas generalizadas (l) y de sus derivadas temporales (l').

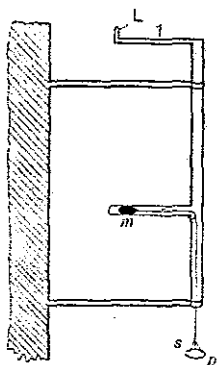


Figura 1 Representación simple de un monociclo (tomado [Curry,1897])

Boltzmann usa estas ecuaciones en los fundamentos de su modelo mecánico para representar dos circuitos eléctricos en interacción, pero limitando estas ecuaciones al caso de un sistema cíclico. Es decir un sistema en donde cada partícula apenas deja su lugar otra similar con igual velocidad lo ocupa, quedando el estado del sistema inalterado. Una representación mecánica muy simple de un monociclo se muestra en la figura 1. El estado de cualquier ciclo puede, en general, ser determinado por un dado número de coordenadas cíclicas. Para Maxwell una corriente eléctrica es un monociclo, estando su flujo dado por una coordenada cíclica y la intensidad de la corriente es la derivada temporal de esa coordenada. La fuerza L que actúa sobre esta coordenada cíclica, dando así origen al movimiento cíclico, es llamada la fuerza electromotriz. En esta descripción el movimiento no está confinado sólo al alambre conductor, sino que permea al éter vecino, su movimiento puede cambiarse variando la posición o configuración del alambre que porta la corriente o la posición relativa de los cuerpos vecinos. Siguiendo esta línea de razonamiento, Boltzmann interpreta a dos corrientes en interacción como un mecanismo bi-cíclico (Bicykel)<sup>2</sup>, es decir un sistema definido por dos coordenadas cíclicas, digamos l1 y l2. En este caso, la energía cinética es de la forma:

$$T = \frac{A}{2} l_1^2 + \frac{B}{2} l_2^2 + C l_1 l_2$$

Las ecuaciones de Lagrange conducen al siguiente conjunto de expresiones:

$$L_1 = \frac{d}{dt}(AI_1 + CI_2) + W_1$$
$$L_2 = \frac{d}{dt}(CI_1 + BI_2) + W_2$$
$$K = -\frac{\partial T}{\partial k}$$

con  $k$  un conjunto arbitrario de parámetros de los cuales dependen los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $C$  en la expresión de la energía cinética.  $L_1$  y  $L_2$  son las fuerzas que tienden a incrementar las coordenadas cíclicas  $I_1$  y  $I_2$ , mientras que  $K$  es la fuerza que actúa sobre el parámetro  $k$ .  $W_1$  y  $W_2$  son los retardos que se originan en cualquier cambio en la primera y segunda coordenada cíclica, respectivamente. Boltzmann hace una consideración importante sobre el significado de estas ecuaciones como representación de un par de circuitos en interacción: son lo suficientemente generales como para que la naturaleza misma de los circuitos, las cargas y la propia naturaleza del éter no deban ser tenidas en cuenta, para usarlas en una representación mecánica del sistema de dos circuitos en interacción. En el caso del modelo desarrollado por Maxwell para representar dos circuitos en interacción [Lamberti, 2009], la identificación del éter es mucho más directa y evidente. Sin extendernos demasiado en su descripción, digamos simplemente que el modelo mecánico de Maxwell tiene asociado con cada circuito un engranaje cónico, los cuales están acoplados por otro engranaje cónico que gira libremente. Ese engranaje es el que puede identificarse con el éter.

### Comentarios finales:

En la literatura actual sobre el tema tratado aquí existen algunos ejemplos relacionados con otros autores y aparatos, como es el caso de la "Little Machine" de Einstein [Segers, 2006] y Hertz [Faccio, 2006] que se orientan en la misma dirección que la adoptada en nuestra exposición. Estos ejemplos refuerzan, en nuestra opinión, la convicción de que la realización efectiva de ciertos instrumentos, considerados desde la historia de la física y sus mauces epistemológicos, permite explorar no sólo la dimensión teórica de los fenómenos involucrados, sino también un espectro de experimentos en algunos casos novedosos y no considerado por los propios autores, al menos de manera explícita. Ello permite eventualmente acercarse al mundo explorado por los mismos desde perspectivas adicionales a la que aparecen en las versiones escritas.

### Notas

1 Traducción de los autores

2 No se detalla este mecanismo aquí porque en las XX Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia PWL presentó otro trabajo acerca de este modelo particular.

## Referencias

- Boltzmann, L. (1891) Vorlesungen über Maxwell's Theorie der Electricität und des Lichtes. Leipzig.
- Boltzmann, L. (2005) Escritos de Mecánica y Termodinámica, Alianza.
- Cercignani, C. L. (1998) Boltzmann. The man who trusted atoms, Oxford University Press.
- Curry, Ch. E., (1897) Theory of Electricity and Magnetism, Macmillan and Co.
- Faccio, D., Clerici, M. y Tambuchi, D. (2006), Am. J. Phys. 74, pag. 972-974.
- Kortemeyer, G. y Westfall, C. (2009) History of Physics: Outing the hidden curriculum? Am. J. Phys. 77 (10)
- Lamberti, P.W., Prato, D. y Rodríguez, V. (2009), Epistemología e Historia de la Ciencia, Vol. 14, pag. 288-294, ISBN 978-950-33-0756-4.
- Maxwell J.C., (1890). The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, Vol. 1, Cambridge University Press.
- Rosenblueth, A. y Wiener, N., (1945) The Role of Models in Science, Phil. of Science, 12, pp 316-321
- Segers, D. y Uyttenhove, (2006) J. Am. J. Phys. 74, pag. 670-676.