

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS VII JORNADAS

1997

Patricia Morey

José Ahumada

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



## LA MECÁNICA HERTZIANA DESDE LA PERSPECTIVA DEL MECANICISMO CLÁSICO\*

Heinrich Hertz escribió *Los principios de la mecánica* hacia 1894. La *Introducción* de la obra contiene un conjunto de consideraciones epistemológicas sobre las distintas formulaciones de la mecánica y los *Libros I y II* presentan una exposición de riguroso carácter deductivo de esta ciencia. Considerada desde la perspectiva del desarrollo del mecanicismo clásico, la obra adquiere una importancia cardinal, ya que aparece como la culminación de este programa de investigación; pero desde una perspectiva coetánea, el trabajo comparte las críticas decimonónicas a los objetivos y alcances de la ciencias de la naturaleza, críticas que permitieron una revisión de los fundamentos de la física clásica. A fin de explicar esta doble caracterización de la obra, presento en primer lugar una elucidación del mecanicismo que pretende ser una reconstrucción racional de la doctrina; con esta definición como marco de referencia, realizo en segundo término un análisis de la obra de Hertz.

### 1. El mecanicismo: una reconstrucción racional

El mecanicismo como doctrina filosófica ha sido caracterizado de formas muy diversas. Realizando la analogía con el funcionamiento de una máquina, se concibe un mecanicismo según el cual, las explicaciones de los fenómenos naturales deben ser análogas a las descripciones del funcionamiento de un aparato mecánico. Este "mecanicismo maquinista" tuvo su origen en los artesanos renacentistas que, lejos de procurar la construcción de grandes sistemas de pensamiento, estaban más interesados en la solución de problemas técnicos, surgidos de las necesidades de la burguesía floreciente.<sup>1</sup> Otra caracterización destaca la fuerte vinculación que el mecanicismo tuvo con los resultados de

---

\* Este trabajo se realizó en el marco de un proyecto de investigación individual becado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Córdoba. La temática tiene relación con un proyecto grupal titulado 'Descubrimiento científico y estrategias inductivas, subsidiado por SeCyT y CONICOR.

\*\* Área de Lógica y Epistemología, Escuela de Filosofía, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

E-Mail: lsalva@filosofia.uncor.edu

<sup>1</sup>Para más detalles históricos cfr. Paolo Rossi (1970), así como también Boido (1996) pp. 61-2.

la ciencia de la mecánica, presentando una doctrina según la cual todo lo observable se explica por alguna teoría mecánica.<sup>2</sup> Una tercera significación está relacionada con la fuerte influencia que ejerció el mecanicismo cartesiano; según esta doctrina, las únicas explicaciones plausibles para los fenómenos naturales deben expresarse en términos de corpúsculos en movimiento.<sup>3</sup>

Una forma alternativa de definir al mecanicismo consiste en distinguir dos elementos constitutivos dentro de la doctrina: una teoría cinético-corpúscular y una mecánica<sup>4</sup>. En esta reconstrucción, la teoría cinético-corpúscular provee al mecanicismo de una ontología, o lo que es lo mismo, define qué tipos de entidades forman los objetos de la naturaleza. La mayor parte de las teorías mecanicistas del período clásico afirman el carácter corpúscular de la materia, con átomos rígidos y duros, en algunos casos indefinidamente divisibles y en otros indivisibles con diámetro fijo. Los agrupamientos en diferentes disposiciones conforman todas las diferencias cualitativas y cuantitativas del mundo observable. Todos los cambios en el mundo natural se explican a partir del movimiento de estos corpúsculos, que al desplazarse ejercen acciones por contacto los unos sobre los otros. El otro elemento de esta reconstrucción son las teorías mecánicas. Éstas se conciben como sistemas deductivos que contienen leyes deterministas, que gobiernan los movimientos de los cuerpos. Dado que muchos resultados de la historia de la matemática fueron contribuciones creadas para resolver problemas propios de la mecánica, la mayor parte de las teorías mecánicas del período clásico fueron escritas en el lenguaje matemático más sofisticado del momento. Este mismo lenguaje permite la formulación de un determinismo estricto: un mismo conjunto de ecuaciones con idénticas condiciones iniciales produce idénticos resultados.

Una compatibilidad plena de ambos elementos fue la aspiración mayor de las diferentes doctrinas mecanicistas. John Locke, entre otros, expresó las condiciones para alcanzar un conocimiento necesario de la naturaleza<sup>5</sup>. Si conociéramos tanto las

---

<sup>2</sup>Así lo caracterizan Boido y Flichman (1996) p. 49. Para una distinción radical entre mecanicismo y mecánica cfr. Turner (1940). Un modo de correlacionar este último tipo de mecanicismo con el anterior consistió en una ampliación del significado del vocablo 'máquina'. Este término refería tanto a un aparato mecánico que funcionaba por el contacto de las partes como a un mecanismo autorregulado en el que las acciones se ejercen a distancia; en algunos casos estas acciones eran una generalización de las fuerzas ordinarias de la experiencia cotidiana. Kepler fue el primero en exponer un modelo mecánico del sistema solar según este segundo sentido; el Sol estaba ubicado en el centro de las órbitas planetarias emanando de forma continua rayos que empujaban a los planetas en órbitas circulares, que se transformaban en elípticas por la interacción de los distintos polos de los imanes Sol-planetes. La máquina del mundo newtoniana funcionaba por la atracción mutua de sus partes; si bien la gravitación era una acción ejercida a distancia, Newton no pudo suministrar una explicación de ésta en términos de acciones por contacto.

<sup>3</sup>Esta concepción aparece tanto en *El Mundo* como en *Los principios de la filosofía de Descartes*.

<sup>4</sup>Ambos elementos rescatan de forma más refinada tanto a la materia como al movimiento, dos términos históricamente asociados al mecanicismo.

<sup>5</sup>Locke (1956) libro IV, cap. iii, § 25-26.

disposiciones y movimientos de los corpúsculos, como el modo en que ellos producen las ideas de las cualidades primarias y secundarias en los sujetos cognoscentes, seríamos capaces de explicar *a priori* fenómenos conocidos por experiencia. Podríamos, por ejemplo, explicar por qué el oro se disuelve en *aqua regis* pero no se disuelve en *aqua fortis*; por qué el imán atrae al hierro pero no al oro. La dificultad que encerraba la empresa era suprema. Si bien Locke creía posible alcanzar un conocimiento de las disposiciones y movimientos de los átomos, admitía como imposible conocer el modo en que los átomos producen nuestras ideas de las cualidades secundarias como el color o la dureza. Afirmaba entonces que las causas de los fenómenos macroscópicos se hallaban en los movimientos atómicos, aunque no intentó correlacionar hipótesis corpusculares con efectos particulares. Propugnó en cambio una metodología empirista de corte baconiano.

Otra dificultad importante fue lograr una compatibilidad plena entre la ontología presupuesta y los 'cuerpos' que eran regidos por las leyes mecánicas. El ejemplo más representativo de esta situación es el caso de Newton y la mecánica del punto. Desde una perspectiva formal, su mecánica suponía que todas las masas eran puntuales; esto en principio concordaba con su ontología atomista, según la cual el mundo se compone de átomos indivisibles y duros moviéndose en un espacio vacío.<sup>6</sup> Pero no es menos cierto que, a pesar de los esfuerzos por justificar desde un punto de vista empírico a una entidad esencial como la fuerza, ésta pronto se incorporó a su ontología con el mismo *status* que el de los átomos indestructibles, produciendo una ontología dual y contradictoria con su explícita adhesión al atomismo. La incompatibilidad entre teoría mecánica y ontología también es evidente en la física cartesiana. Descartes adhiere explícitamente a una ontología formada por corpúsculos de distinta naturaleza que llenan todos los lugares; en su *plenum* no existe vacío alguno. Pero tanto los tres principios de su mecánica como las reglas para determinar el movimiento de un cuerpo en su choque con otro, son idealizaciones que presuponen espacios vacíos, situaciones imposibles en su realidad física.<sup>7</sup>

Estos ejemplos muestran la dificultad de acceder a un conocimiento necesario de la naturaleza. El ideal mencionado fue un horizonte que guió buena parte de las investigaciones mecanicistas, pero nunca fue alcanzado. Se intentaron soluciones parciales ampliando el conjunto de entidades que conformaban la realidad física; en otros casos, la ciencia mecánica fue resignando sus pretensiones ontológicas y convirtiéndose gradualmente en una ciencia autónoma.

---

<sup>6</sup>«... me parece sumamente probable que, en un principio, Dios formó la materia en partículas sólidas, macizas, pesadas, impenetrables y móviles; con los tamaños y formas, las propiedades y la proporción dentro del espacio que mejor se adecuara a los fines para los que las había creado [...]. Por consiguiente, para que la naturaleza pueda ser perdurable, los únicos cambios que pueden producirse en los seres corpóreos consistirán en diversas separaciones, reagrupamientos y movimientos de estas partículas permanentes...» Newton *Opticks* pp. 400-1.

<sup>7</sup>Principios II, 37, 39 y 40; 45-52. En el *plenum* cartesiano los movimientos de los corpúsculos resultan instantáneos, lo cual origina problemas de una complejidad inabarcable. Descartes ni siquiera se planteó estos problemas; concluyó que los movimientos en un *plenum* generan corrientes circulares y que éstas eran la causa de los movimientos de los planetas alrededor del sol.

## 2. Los principios de la mecánica de Hertz

Desde este marco referencial la obra de Hertz aparece a primera vista como una consumación de aquel ideal mecanicista, en el sentido de que la ontología presupuesta es compatible con los cuerpos que son regidos por las leyes de su mecánica.<sup>8</sup> Pero un análisis minucioso muestra elementos que alejan a esta obra del programa mecanicista clásico. Para desarrollar esta afirmación expongo algunos aspectos de su trabajo.

Hertz comienza *Los principios de la mecánica* afirmando:

El fin más inmediato y en cierto sentido más importante de nuestro expreso conocimiento de la naturaleza, es el de capacitarnos *para prever el acontecer futuro*, para guiar nuestra acción presente de acuerdo con aquella previsión.

y es para lograr dicho fin que los hombres construyen imágenes o símbolos de los objetos externos,

y precisamente imágenes tales que las consecuencias lógicas de la imagen en el pensamiento sean a su vez imágenes de las consecuencias naturales de los objetos representados.<sup>9</sup>

Del texto se colige que para Hertz la estructura de los conceptos físicos son sólo imágenes; imágenes de las que únicamente podemos verificar si sus consecuencias lógicas coinciden con las consecuencias empíricamente observables de los fenómenos para los que las creamos. Los diferentes conocimientos producidos por el hombre confirman la posibilidad de esta coincidencia entre la naturaleza y nuestro espíritu.

Dado que la variedad de imágenes posibles es muy grande, Hertz especifica tres criterios por medio de los cuales seleccionar las imágenes 'científicas' de los objetos externos: *coherencia lógica, adecuación empírica y conveniencia*. Exigiendo coherencia lógica evita las imágenes que encierran contradicción con las leyes del pensamiento; rechaza como inadecuadas a las imágenes que no coincidan con las propiedades de los objetos externos; y entre dos imágenes alternativas prefiere aquella que excluya el mayor número de propiedades superfluas.

Esta explicitación de su posición gnoseológica va acompañada de una exposición crítica de dos de las formulaciones más importantes de la ciencia de la mecánica. La "mecánica clásica" -forjada por figuras como las de Arquímedes, Galileo, Newton y Lagrange- está basada en los conceptos de 'espacio', 'tiempo', 'fuerza' y 'masa'. Según esta imagen, la fuerza es una entidad independientemente del movimiento, cuya magnitud es proporcional a la variación -tanto en valor absoluto como en dirección- de la velocidad

---

<sup>8</sup>En particular es una doble consumación del mecanicismo cartesiano, pues por una parte Hertz postula únicamente masas que se desplazan por el espacio, masas que Descartes identificaba con extensión. Y por otra parte, considerando la reducción de la geometría al álgebra que comenzó en la misma época de Descartes, Hertz logra expresar los desplazamientos de las partículas exclusivamente por relaciones algebraicas.

<sup>9</sup>Hertz (1956) p. 1.

propia de una masa cualquiera. Por otro lado, la tercera ley de Newton afirma la existencia de fuerzas asociadas a masas en movimiento. Con lo cual tendríamos dos definiciones distintas de fuerza: una según la cual es causa del movimiento y otra definida como consecuencia del movimiento.<sup>10</sup> Este clase de incoherencias lógicas fueron las que incitaron a Hertz a emprender una reforma de los principios de la mecánica.

Otra imagen alternativa de la ciencia de la mecánica es la "energética". Este sistema se construye a partir de los conceptos de 'espacio', 'tiempo', 'masa' y 'energía' más el principio de conservación de la energía. Las críticas de Hertz a esta ordenación se refieren sobre todo a la definición misma de energía potencial, pues en tanto que la energía cinética es perfectamente definible en base a los cuatro conceptos admitidos, en la definición de energía potencial se debe tener en cuenta la relación con otras masas que quizás no tengan ninguna influencia sobre el sistema. Si bien esta imagen es más conveniente (en el sentido hertziano del término) que la primera, presenta de igual modo falencias lógicas y empíricas.

La formulación propuesta por Hertz permite desarrollar un sistema deductivo riguroso en el que los teoremas se corresponden con las leyes fundamentales de la mecánica. Los conceptos utilizados son 'espacio', 'tiempo' y 'masa'. Éstos son suficientes para dar cuenta de todos los fenómenos que involucran movimientos, con la salvedad de que, además de las masas visibles, se debe asumir la existencia de otro conjunto de masas, que obedecen a las mismas leyes que las anteriores pero que no son observables. Este artificio evita utilizar conceptos como los de 'fuerza' o 'energía', obteniéndose igualmente un universo sujeto a leyes pero con un mínimo de entidades.

La reconstrucción de la mecánica según este punto de vista consta de dos partes; la primera -el *Libro primero*- contiene un conjunto de conceptos y axiomas formulados de un modo hipotético:

El contenido del primer libro es completamente independiente de la experiencia. Todas las proposiciones son juicios *a priori* en el sentido kantiano. Se basan en las leyes de la intuición interna y en las formas lógicas de quien las formula;

---

<sup>10</sup>«Hacemos girar una piedra atada al final de una soga y al hacerlo somos concientes de estar ejerciendo una fuerza sobre la piedra. Esta fuerza desvía constantemente a la piedra de su trayectoria rectilínea. Si variamos la fuerza, la masa de la piedra y la longitud de la soga, encontramos que el movimiento real de la piedra es conforme a la segunda ley de Newton. Pero por otra parte, la tercera ley afirma la existencia de una fuerza opuesta a la fuerza ejercida por la mano sobre la piedra. En relación con esta fuerza opuesta la explicación usual es que la piedra reacciona contrarrestando la acción de la mano en razón de la fuerza centrífuga que es idéntica en magnitud y opuesta en sentido. ¿Pero, es permisible este modo de expresión? ¿Es aquello que llamamos fuerza centrífuga algo diferente de la inercia de la piedra? ¿Es posible conservar la claridad de los conceptos y a la vez considerar el efecto de la inercia desde dos puntos de vista distintos, primero como masa, segundo como fuerza? En nuestras leyes del movimiento, la fuerza era la causa del movimiento y estaba presente antes del movimiento. ¿Es posible, sin ser confusos, comenzar a hablar de repente de fuerzas que surgen a partir del movimiento, que son consecuencias del movimiento? Estas preguntas deben ser respondidas de forma negativa.» Hertz (1956) pp. 5-6.

no tiene con la experiencia externa, ninguna otra relación que la que tienen estas mismas intuiciones y formas entre sí.<sup>11</sup>

En este primer libro no sólo se acepta la posibilidad de una física teórica, sino que se la construye como una prefiguración o condición de posibilidad de eventuales experiencias, a partir de los conceptos de 'tiempo', 'espacio' y 'masa'.

En la segunda parte -el *Libro segundo*- Hertz introduce el correlato empírico de los conceptos definidos *a priori*. Al concepto 'tiempo' le hace corresponder lapsos definidos, es decir un número de unidades arbitrarias y constantes de duración, como es el caso del período de un péndulo que oscila. A los 'puntos materiales' y 'sistemas de puntos materiales', le corresponden masas concretas de la experiencia. Introduce inmediatamente un único principio tomado de la experiencia, que es una combinación del principio de inercia y el principio de la constricción mínima de Gauss. El principio afirma que:

las masas de un sistema, de acuerdo a sus vínculos, se mueven en una trayectoria lo más rectilínea posible. Toda desviación del movimiento de una masa, respecto al movimiento rectilíneo y uniforme es consecuencia de un vínculo con otras masas.<sup>12</sup>

La propiedad distintiva de proposiciones de este libro es que satisfacen tanto las exigencias de las leyes del pensamiento como las demandas de la experiencia.

De esta manera construye Hertz un sistema de mecánica que es inobjetable en cuanto a coherencia lógica, adecuación empírica y conveniencia; un sistema preciso y depurado de incoherencias, pero que es al mismo tiempo poco eficaz en la resolución de problemas prácticos.

### 3. Evaluación de la obra de Hertz desde la perspectiva del mecanicismo clásico

Retomemos nuevamente el eje central del mecanicismo. A modo de primera aproximación se conjeturó que la obra se acerca al ideal mecanicista, en el sentido de que logra la compatibilidad entre la ontología y los cuerpos presupuestos en la mecánica. Pero desde ningún punto de vista se puede hablar de compromisos ontológicos por parte del autor. Y ello a pesar de que la atomística había recibido comprobaciones experimentales de gran trascendencia hacia la época en que Hertz escribió esta obra. Por lo tanto no es posible interpretar su trabajo dentro de la línea del mecanicismo clásico, y no debemos pensar que Hertz esté ofreciendo un sistema singular que servirá de cimiento para la construcción del resto de las ciencias naturales.

Esta conclusión es acorde con un conjunto de hechos históricos. En primer lugar, el trabajo de Hertz contribuyó a una revisión de lo que tradicionalmente se entendía por

---

<sup>11</sup>Hertz (1956) p. 45.

<sup>12</sup>Ibidem, cap. II.

'principio'. Según la física clásica, un principio es una proposición autoevidente e indemostrable, a partir del cual es posible deducir otras proposiciones que describen fenómenos naturales. Aun así, en la historia de la mecánica, proposiciones muy diferentes han sido entronizadas como principios para distintas teorías mecánicas. Del propio análisis de Hertz se sigue que diferentes proposiciones consideradas como principios producen formulaciones diferentes de la mecánica, útiles cada una para determinados fines. Así la mecánica newtoniana es conveniente para la resolución de problemas prácticos, de la misma forma que la energética ha mostrado ser fructífera en la explicación de fenómenos físicos de otras disciplinas. La imagen hertziana en particular cumple con las exigencias de rigor lógico y una buena rasurada de la navaja de Ockam sobre las entidades presupuestas. Pero al igual que cualquier otra hipótesis en física, sólo podemos evaluar su grado de adecuación empírica y no decidir acerca de su verdad o falsedad. Este punto de vista invalida cualquier intento de construcción de una única imagen de mundo, propia del mecanicismo clásico.

Del mismo modo deben evaluarse los resultados experimentales alcanzados por este autor. Recordemos que Hertz consiguió producir experimentalmente las ondas electromagnéticas predichas por la teoría de Maxwell, demostrando que éstas poseen las mismas propiedades conocidas de la luz, tales como la reflexión, la refracción y la interferencia. Con este descubrimiento resolvió Hertz la controversia entre los corpuscularistas y los defensores de teorías ondulatorias, permitiendo el afianzamiento de la teoría electromagnética de la luz, según la cual la diferencia entre ondas eléctricas, ópticas y térmicas reside en su longitud de onda. Pero tal conquista no significa de ningún modo una mayor comprensión de la naturaleza ontológica de las ondas electromagnéticas,<sup>13</sup> y sí un abandono de las entidades presupuestas por su mecánica.

Estas situaciones profundizaron en su tiempo la necesidad de una nueva fundamentación epistemológica del fin y objeto de la física. La falta de compromiso ontológico y la relativización del *status* de la mecánica despejaron el camino para formulaciones alternativas de esta disciplina que no tardaron en aparecer en la historia del pensamiento científico.

## Bibliografía

Boido, Guillermo. *Noticias del planeta Tierra*. (Buenos Aires: A-Z Editora, 1996).

Boido, G. y Flichman, E. «La noción de mecanicismo en la ciencia clásica» *Epistemología e historia de la ciencia*. Velasco, M. y Saal, A., editores. (Córdoba, 1996).

Bunge, Mario. «Mach's Critique of Newtonian Mechanics». *American Journal of Physics*. July 1966. Vol. 34, 7, 585-596.

---

<sup>13</sup>En esta dirección se deben encuadrar los esfuerzos de Maxwell por encontrar un modelo mecánico de éter, un modelo que alcanzara más unidad en la diversidad.

Descartes, René. *Los principios de la filosofía* (Buenos Aires: Editorial Losada, 1651) Trad. Gregorio Halperin.

Descartes, René. *El mundo. Tratado de la luz.* (Barcelona: Anthropos, 1989) Trad. Salvio Turró.

Dugas, René. *A History of Mechanics* (New York: Dover Publications, Inc., 1988).

Hertz, Heinrich. *The Principles of Mechanics.* (New York: Dover Publications, 1956) Authorized Translation by D. E. Jones and J. T. Walley. Preface by H. von Helmholtz.

Locke, John. *Ensayo sobre el entendimiento humano.* (México: Fondo de Cultura Económica, 1956)

Mach, Ernst. *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica* (Buenos Aires: Espasa Calpe, 1949) Trad. José Babini.

Rossi, Paolo. *Los filósofos y las máquinas.* (Barcelona: Editorial Labor, 1970).

Turner, J. E. «The Distinction between 'Mechanics' and 'Mechanism'» *Philosophy of Science.* 1940 Vol. VII, 49-55.