

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS VI JORNADAS  
(1996)

Marisa Velasco  
Aarón Saal  
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



## ASPECTOS FILOSOFICOS DEL MECANICISMO TARDIO Y SU RELACION CON EL DETERMINISMO: EL CASO BOLTZMANN.(\*)

### Introducción

En 1795 Laplace escribe su conocida declaración de determinismo que ingresa en la literatura filosófica como ejemplo paradigmático de tal postura.<sup>1</sup> Este punto de vista afirma que el universo en su totalidad, está regido por la acción de leyes que determinan los sucesos del mundo natural y que desde un punto de vista formal deberían ser reducibles a las leyes de la mecánica. Pero si bien es cierto que el mundo está regido por leyes, nuestro espíritu humano nunca podrá alcanzar el conocimiento completo de todas ellas. Este estado cognoscitivo acabado sólo es accesible a una inteligencia superior capaz de predecir todos los sucesos venideros, así como de explicar todos los pasados. Desde este punto de vista la probabilidad se concibe como una medida de nuestra ignorancia y en consecuencia el elemento aleatorio involucrado es sinónimo de imposibilidad humana de conocimiento perfecto de la realidad. El concepto de azar laplaciano es intrínseco a la capacidad cognoscitiva humana, no al universo.

Casi un siglo después, en 1892, C. S. Peirce afirmaba que un azar absoluto rige todo el universo.<sup>2</sup> Solamente existen en este mundo propensiones que se pueden describir por leyes estadísticas que favorecen en los seres vivos determinados hábitos. Peirce arribaba a esta conclusión desde un punto de vista pragmático; para él, las leyes del mundo real eran tan sólo las series de frecuencias relativas estabilizadas cuyas propiedades formales venían determinadas por el cálculo de probabilidades. Según este autor, el modo de ser del mundo y el método para establecerlo se definían recíprocamente, y dado que su mundo era un mundo invadido de mediciones y datos estadísticos, Peirce terminó afirmando la total contingencia de todos los sucesos naturales.

En menos de un siglo asistimos a dos concepciones de universo diametralmente opuestas. La creencia de que todos los acontecimientos están sujeto a leyes que obedecen a

---

\* Este trabajo se realizó dentro de un proyecto subsidiado por SECYT, UNC /CONICOR

<sup>1</sup> Cfr. Laplace, Pierre S. *Ensayo Filosófico de sobre las Probabilidades* (Buenos Aires: Espasa Calpe, 1947) pp. 12 y ss.

<sup>2</sup> Peirce, C. S. *The Doctrine of Necessity en The Writings of Peirce* (New York. Dover Publications, Inc., 1957) pp. 160-179

la una necesidad absoluta, deja lugar a un universo en donde el azar reina en su pleno apogeo.

Diferentes interpretaciones se han dado de esta mutación del concepto de determinismo. Algunos historiadores de la ciencia afirman que el indeterminismo penetra en la física con la creación de la mecánica cuántica, llegando incluso a señalar el teorema de John von Neumann de las "variables no ocultas" de 1936, como el año preciso de una revolución en física; afirmaciones anteriores a esta fecha, como sería el caso de Peirce, son excepciones con poco fundamento. Otros en cambio afirman que la asimilación del indeterminismo en la física ha sido un proceso gradual que estuvo íntimamente ligado a la aceptación de la irreversibilidad como característica propia de los fenómenos naturales,<sup>3</sup> señalan una corriente de pensamiento que va desde Fourier hasta Heisenberg, pasando por Lord Kelvin, James Maxwell, Ludwig Boltzmann, Max Plank, y Max Born. Una erosión lenta pero continua del determinismo durante el siglo XIX, también fue defendida por Ian Hacking en su libro *The Taming of Chance*.<sup>4</sup> Hacking sostiene que la aceptación del azar en el corazón de las leyes físicas está relacionada con el nuevo tipo de investigaciones provenientes del ámbito de lo social.

A la luz de estas consideraciones, mi intención en este trabajo será interpretar uno de los aportes más significativos de Ludwig Boltzmann a la mecánica estadística, desde las ideas que me sugiere la lectura de algunas de sus propias exposiciones, reunidas en sus *Populären Schriften* (Escritos Populares).<sup>5</sup> A pesar de ser un contemporáneo de Peirce y un científico que renueva una parte importante de los métodos de la mecánica en la dirección del indeterminismo, la noción de azar utilizada Boltzmann en los escritos antes mencionados se encuentra a medio camino entre aquella que defendiera Laplace y la de Peirce.

Expondré a continuación la posición mecanicista de Boltzmann (I), su defensa de la utilización de hipótesis en la física (II), y su interpretación de los procesos irreversibles relacionados con el calor (III). Desde estas consideraciones intentaré evaluar el concepto de azar involucrado en sus trabajos.

La concepción mecanicista de la naturaleza que defendiera Boltzmann tiene relación con la reducción de ciertas leyes de diferentes disciplinas, a las leyes de la mecánica. La acústica y la óptica, en tanto que fenómenos ondulatorios y vibratorios se podían explicar en términos mecánicos. La electricidad y el magnetismo, a través de las hipótesis de fluidos eléctricos y magnéticos cuyas partículas interactuaban conforme a una ley que era una variante de la ley de Newton para la acción mutua entre los cuerpos celestes, permanecieron durante mucho tiempo en un territorio puramente mecánico;

---

<sup>3</sup> Brush, Stephen «Irreversibility and Indeterminism. Fourier to Heisenberg» *Journal of the History of Ideas*, XXXVII (1976).

<sup>4</sup> Hacking, Ian *La Domesticación del Azar* (Barcelona: Gedisa, 1991).

<sup>5</sup> Boltzmann, Ludwig *Escritos de Mecánica y Termodinámica* (Madrid, Alianza Editorial, 1986). Traducción, notas e introducción: Francisco Ordoñez. Esta obra recoge once de los trabajos publicados en el mencionado libro.

además Maxwell estaba trabajando (a partir de las experiencias de Faraday) en una teoría mecánica del éter. Fenómenos químicos y de formación de cristales lograron ser reducidos a una mecánica de fuerzas atractivas y repulsivas y de movimientos de átomos heterogéneos. Del mismo modo se logró representar al calor por medio del movimiento de partículas muy pequeñas que formaban los cuerpos, esta hipótesis daba una imagen mucho más clara y completa del agente llamado calor, que el punto de vista anterior según el cual aquél era una sustancia.

También objetos de la naturaleza animada eran factibles de explicación mecánica. El ojo como una cámara óptica oscura, el corazón como bomba, los músculos como un complicado sistema de palancas, etc. En medicina, el descubrimiento de los mecanismos de las enfermedades infecciosas, permitía evitarlas matando al agente que las producía. Y en biología, Boltzmann menciona a la doctrina de Darwin, que explica toda la variedad del reino animal y vegetal a partir del "principio de la herencia" puramente mecánica, que como todos los principios radicales permanece oscuro.

Esta es, en pocas palabras, lo que Boltzmann denomina "principio de explicación mecánica de la naturaleza". Es preciso notar que este punto de vista de Boltzmann viene de alguna manera a coronar el programa de Laplace, quien pretendió desarrollar una física que explicara todos los fenómenos naturales, por medio de fuerzas centrales entre partículas, las cuales eran consideradas en analogía con la fuerza newtoniana de atracción, aunque con la salvedad que podían ser tanto atractivas como repulsivas.<sup>6</sup>

Boltzmann señala dos factores que en su tiempo minaban este punto de vista mecanicista dentro de la física teórica. El primero de estos factores hacía referencia a discrepancias internas dentro de esta misma ciencia y Boltzmann menciona las objeciones de carácter filosófico de Kirchhoff y Hertz, aclarando que sus resultados no transformaron, sino más bien fortalecieron, a la mecánica como ciencia.

El segundo factor se refería a la disputa acerca de la validez de la utilización de hipótesis en física. A este respecto Boltzmann mantuvo una postura muy liberal en cuanto a su utilización, abriendo una controversia con los energetistas y los fenomenistas quienes defendían una concepción más puritana del conocimiento.

Boltzmann defendió el atomismo a lo largo de su carrera científica, pero no desde un realismo ingenuo, ya que aducía que la utilización de esta hipótesis tenía un carácter tanto heurístico como justificacionista. El atomismo es útil para el desarrollo de la creatividad científica, ya que -por ejemplo- permite que ciertas variables se manipulen por planteamientos finitistas, más manejables -en algunos casos- que las variables continuas. Por otra parte el atomismo contribuye a hacer inteligibles procesos complicados y de difícil representación por medio de imágenes más sencillas.<sup>7</sup> Este nos dice al respecto:

---

<sup>6</sup> Fox, Robert *Laplacian Physics en Companion to the History of Modern Science*, editado por Olby, R. C., Cantor, G N Christie, J R. R. y Hodge, M. J. S. (Routledge, New York, 1986).

<sup>7</sup> «Mediante la hipótesis atomística, la ciencia ha logrado predecir la dependencia de la constante de rozamiento o fricción de los gases respecto a la temperatura, las constante absoluta y relativa de difusión y conducción térmica, que pueden establecerse con tanta certeza como los cálculos de Leverrier con respecto a la existencia de Neptuno. ...» *La segunda ley de la teoría mecánica del calor*, en Boltzmann (1986), p. 63.

«Mi confianza en la utilización de hipótesis estriba en que estas arrojan nueva luz sobre ciertos aspectos peculiares de los hechos observados, y establecen una relación entre ellos con una claridad que no puede conseguirse por otros procedimientos. Por supuesto, siempre debemos recordar que estamos tratando con hipótesis susceptibles y además necesitadas de desarrollos posteriores, que serán abandonadas sólo cuando todas las relaciones que representan puedan comprenderse más claramente de otra forma.»<sup>8</sup>

El trabajo más importante de Boltzmann en física teórica es la solución aportada al conflicto entre irreversibilidad y mecanicismo. Las ecuaciones fundamentales de la mecánica no cambian su forma si se sustituye el parámetro de tiempo  $t$ , por un tiempo negativo  $-t$ . Cualquier proceso mecánico puede desarrollarse temporalmente, tanto en un sentido como en otro. Pero en la vida cotidiana el pasado y el futuro no guardan una simetría similar a las direcciones izquierda y derecha. Esto se especifica con mayor precisión en el segundo principio de la termodinámica, que afirma que es posible indicar la dirección del cambio de cualquier sistema de cuerpos arbitrario, cuando este evoluciona por sí mismo sin estar sometido a la influencia de otros cuerpos. Boltzmann lo dice con estas palabras: «Se puede siempre especificar una determinada función de estado de todos los cuerpos llamada "entropía" que funciona de modo que cualquier cambio de estado sólo puede ocurrir si produce un incremento de esa función, de tal manera que aumente siempre que se incremente el tiempo.»<sup>9</sup> Dado que en las ecuaciones de la mecánica no existía nada análogo al segundo principio de la termodinámica, ambas disciplinas parecían excluirse mutuamente.

En líneas generales, y como intento de solución a este conflicto, se propuso considerar que los cuerpos aparentemente continuos están formados por un gran número de partículas muy pequeñas, con posiciones y velocidades muy diversas, bajo la suposición que las diferentes velocidades medias de estas partículas determinan las distintas propiedades a nivel fenoménico. Se dejaba de lado la exigencia de seguimiento de la trayectorias y velocidades de cada una de las partículas que forman un sistema - característica de la física clásica - por el conocimiento de las propiedades de un complejo de muchos sistemas mecánicos que parten de condiciones iniciales más variadas. Entre los precursores de estos métodos pueden mencionarse a Williard Gibbs y James Maxwell. Este último demostró que las velocidades de las moléculas en un gas se distribuyen de la misma manera que lo hacen los errores en ciertas mediciones, tratables por el método de los cuadrados mínimos.

Dentro del marco teórico de esta nueva aproximación, Boltzmann generalizó los trabajos de Maxwell, proponiendo en 1872 una medida cuantitativa de la entropía, a partir de la distribución de velocidad media de las moléculas. Cualquier estado microscópico está determinado por la posición y velocidad de sus moléculas y Boltzmann supone que cada uno de los posibles estados tiene igual probabilidad. Pero los estados macroscópicos que corresponden a un equilibrio térmico, están formados por un gran número de estados

---

<sup>8</sup> *Sobre la mecánica estadística*, incluido en Boltzmann (1986), pág. 212

<sup>9</sup> *Sobre la mecánica estadística*, en Boltzmann (1986), pp. 221-2

microscópicos y tienen por ello una alta probabilidad, en tanto que los estados macroscópicos que se desvían significativamente del equilibrio están formado por unos pocos estados microscópicos y tienen por ello poca probabilidad. Cualquier proceso entonces, tiende a pasar de un estado menos probable a otro más probable. Se trata de una interpretación a escala molecular de la tendencia natural de los sistemas físicos a evolucionar hacia un estado de equilibrio y permanecer en él. Boltzmann tiende un puente entre la mecánica clásica y la termodinámica, a partir de la unión entre el carácter microscópico de la materia y su comportamiento fenomenológico.

## Conclusiones

¿Cómo podríamos interpretar esta síntesis de Boltzmann?. Si consideramos este resultado desde un realismo ingenuo, el elemento aleatorio resulta una característica intrínseca de los fenómenos naturales. Tendríamos que admitir un indeterminismo de tipo óntico y ubicar a la obra de Boltzmann entre aquellas que contribuyeron a una aceptación gradual del indeterminismo dentro de las ciencias físicas. Una interpretación en esta dirección no estaría en concordancia con su idea del rol de las hipótesis en física (II).

El elemento aleatorio utilizado por Boltzmann se introduce para dar cuenta del estado mecánico de un sistema suficientemente grande de partículas y ante la imposibilidad conocer las trayectorias particulares de cada una. Desde esta perspectiva la probabilidad mediría una limitación de tipo cognoscitiva y por ello su concepción del azar está próxima a aquella que defendiera Laplace. Esta misma tendencia queda abonada por su concepción mecanicista de la naturaleza (I).

Pero no es menos cierto que este mismo elemento aleatorio está en la base de la herramienta utilizada para tratar los fenómenos calóricos: subyace a la teoría a las probabilidades y en su aplicación, a las estadísticas. Desde este ángulo, su concepto de azar parece aproximarse al de Peirce, quien, como ya hemos mencionado, admitió un azar intrínseco en la naturaleza como corolario de la identificación de método y realidad.

## Bibliografía

- Boltzmann, Ludwig Escritos de Mecánica y Termodinámica (Madrid, Alianza Editorial, 1986). Traducción, notas e introducción: Francisco Ordoñez.
- Borel, Emile El Azar (Bs.As., La Pléyade, 1974) Trad. W. Schiller.
- Brush, Stephen «Irreversibility and Indeterminism. Fourier to Heisenberg» Journal of the Hist. of Ideas, XXXVII (1976), 603-30.
- Hacking, Ian La Domesticación del Azar (Barcelona, Gedisa, 1991)
- Hacking, Ian Probability and Determinism, 1650-1900 en Companion to the History of Modern Science, editado por Olby, R. C.; Cantor, G. N. Christie, J. R. R. y Hodge, M. J. S. (Routledge, New York, 1986)

Fox, Robert *Laplacian Physics en Companion to the History of Modern Science*, editado por Olby, R. C.; Cantor, G. N. Christie, J. R. R. y Hodge, M. J. S. (Routledge, New York, 1986).

Laplace, Pierre S. *Ensayo Filosófico de sobre las Probabilidades* (Bs. As.: Espasa Calpe, 1947)

Peirce, C. S. *The Doctrine of Necessity en The Writtings of Peirce* (New York: Dover Publications, Inc., 1957)

Popper, Karl *Un Mundo de Propensiones* (Madrid, Editorial Tecnos, 1992)

Prigogine, Ylya *Enfrentándose con lo Irracional en Proceso al Azar* (Barcelona, Tusquets, 1986) en *Proceso al Azar*, editado por Wagensberg, W.