

Críticos con el atomismo mecanicista: Ostwald, Mach y Duhem.

Critics of mechanistic atomism:
Ostwald, Mach and Duhem

Alberto Álvarez Fernández¹

Universidad Pontificia de Comillas, España

Recibido 11 noviembre 2021 · Aceptado 13 mayo 2022

Resumen

Wilhelm Ostwald, Ernst Mach y Pierre Duhem se encuentran entre los más relevantes críticos del atomismo de finales del siglo XIX. Repasamos y analizamos los argumentos que aducen dichos autores para oponerse a la concepción atomista de la materia. Mostramos cómo esos argumentos surgen de posiciones filosóficas de fondo sobre el fundamento de la naturaleza, el objeto de la ciencia y el papel de la metafísica. Comparamos dichas posiciones filosóficas. Y enmarcamos la crítica del atomismo en el problema epistemológico más general de la explicación para mostrar la tensión entre explicación y experiencia, y su relación con la metafísica.

Palabras Clave: Atomismo; Ostwald; Mach; Duhem; Explicación.

Abstract

Wilhelm Ostwald, Ernst Mach, and Pierre Duhem are among the most prominent critics of atomism in the late 19th century. We review and analyze the arguments that these authors adduce to oppose the atomistic conception of matter. We show how these arguments arise from fundamental philosophical positions on the foundation of nature, the object of science and the role of metaphysics. We compare these philosophical positions. And we frame the critique of atomism in the more general epistemological problem of explanation to show the tension between explanation and experience, and its relation to metaphysics.

Keywords: Atomism; Ostwald; Mach; Duhem; Explanation.

¹ aalvarez@comillas.edu

1 • Introducción²

Puede considerarse al químico John Dalton como padre de la teoría atómica moderna. La tesis de que los últimos componentes del mundo son indivisibles (átomos) ya había sido defendida desde la antigüedad, con Demócrito y Lucrecio como sus mayores exponentes. Dicha tradición, que perdió importancia durante la Edad Media, gozó de un renacimiento en los siglos XVI y XVII con pensadores como Gassendi y Galileo, entre otros. Ahora bien, la teoría atomista comienza su madurez con Dalton en el siglo XIX. Lo que lo diferencia de los atomistas tradicionales es la combinación que hizo del concepto de átomo con el de elemento químico introducido por Lavoisier (último término alcanzable mediante el análisis químico), dando resultados experimentales relevantes. En su obra *Nuevo sistema de filosofía química* publicada en 1808 (primera parte) logró dar con leyes experimentales relativas a procesos de reacciones químicas. Dalton afirma que cada elemento químico está formado por un tipo distinto de átomos y siempre el mismo. Los compuestos químicos consisten en combinaciones de átomos de distintos tipos. Y no existe transmutación de átomos, en las reacciones solo cambia su distribución.

Dalton pensaba que con el atomismo se podía dar cuenta mejor de los resultados experimentales que con la teoría de las afinidades. Así, la ley de Proust se explicaba con la suposición de que en las reacciones químicas el número de átomos de cada elemento que se combina lo hace según proporciones definidas. Pero en general los químicos de la época no eran de la misma opinión. Aunque aceptaban las reglas combinatorias de los elementos de Dalton, no aceptaban la explicación atomista del mismo. Según estos, lo único que Dalton había demostrado empíricamente era que los elementos se combinaban siguiendo ciertas regularidades en la proporción de sus pesos; que los átomos fueran la causa de esto era muy discutible. “Átomo”, “molécula” y “equivalente” eran utilizados intercambiablemente la mayoría de las veces por los químicos de la época como ficciones útiles, como símbolos.

² Vid. Diéguez, Antonio J. “Realismo y antirrealismo en la discusión sobre la existencia de los átomos”, *Philosophica Malacitana* 8 (1995): 49–65.

Para la aceptación general del atomismo por parte de los químicos hubo que esperar al Congreso Internacional de Química de Karlsruhe en 1860, en el que la intervención del químico italiano Stanislao Cannizzaro fue decisiva. En ella aludía a las investigaciones de Amedeo Avogadro, compatriota suyo, que hacían posible desarrollar un método para determinar con exactitud los pesos atómicos y las fórmulas moleculares, y que habían sido rechazadas cuando se publicaron (1811). Este hecho fue clave para que gran parte de la comunidad de los químicos se inclinara a favor de la existencia de los átomos.

Pero fue desde el ámbito de la física de donde vino el mayor apoyo a la teoría atómica en los años 60 del siglo XIX. Clausius, Maxwell y Boltzmann desarrollaron la teoría cinético-molecular de los gases, que vino a reforzar y también corregir el modelo de Dalton. Rudolf Clausius atribuía a las moléculas de un gas un movimiento recto, rotacional y vibratorio, explicando así las diferencias de estados sólido, líquido y gaseoso, así como las transiciones de estado. Sostenía que la temperatura de un gas era proporcional a la energía cinética media de sus moléculas. Este tratamiento probabilístico del movimiento molecular introducido por Clausius fue desarrollado por James Clerk Maxwell, quien propuso una distribución normal para las velocidades de las moléculas, de modo que las velocidades medias fueran las más probables siempre. Ludwig Boltzmann, igual que Maxwell, interpretó el segundo principio de la termodinámica como una ley estadística basada en las probabilidades de las distribuciones moleculares. La explicación probabilística de la entropía de Boltzmann era fundamental para poder conciliar la segunda ley de la termodinámica con la reversibilidad de las leyes de la mecánica, y así poder reducir la termodinámica a la mecánica.

A pesar de esto, la concepción atomista seguía sin convencer a algunos científicos. Wilhelm Ostwald, Ernst Mach y Pierre Duhem son algunos de los más relevantes críticos con el atomismo. Presentaremos las razones que les hicieron oponerse a dicha concepción.

2 · Wilhelm Ostwald

Entre los principales oponentes del atomismo destaca uno de los químicos físicos más importantes de finales del siglo XIX, Wilhelm Ostwald, ganador

del Premio Nobel en 1909 por sus investigaciones sobre catálisis. Su rechazo al atomismo provenía de una concepción de la naturaleza y de la física alternativa a la predominante: el energetismo (término que tomó de William Rankine), según la cual, la explicación de los fenómenos naturales no reside en el concepto de materia y sus derivados, como el de átomo, sino en el de energía. Para Ostwald, la energía es la categoría fundamental de la física, y todas las manifestaciones físicas son formas distintas de energía.

Dentro del marco energetista de Ostwald, la materia queda como algo derivado, que se resuelve en sus componentes energéticos. La cantidad de energía de cada clase que posee un cuerpo —la energía posee varias formas: energía cinética, potencial, térmica, eléctrica y química— determina el estado de la materia, así como las transformaciones que puede experimentar el cuerpo. El éxito obtenido por Helmholtz y van't Hoff al formular leyes cuantitativas de afinidad química impresionó a Ostwald y le llevó probablemente a pensar que sus resultados eran una prueba de que los cambios químicos se basaban en transformaciones de energía. Ostwald afirmaba que todo lo que experimentamos con los sentidos se reduce a relaciones de intercambio de energía entre nuestros órganos sensibles y el mundo externo (Deltete 20, 26, 36).

Ostwald había trabajado bajo el marco atomista, lo había considerado provechoso e incluso había llegado a creer en la realidad objetiva de los átomos. Pero a partir de 1885 fue sufriendo un desencanto progresivo con la mecánica y las aproximaciones atomistas a los problemas científicos, primero pasando a considerarlas solo de valor heurístico, y a partir de 1890 como pseudoexplicaciones directamente erróneas y perjudiciales. Al mismo tiempo había ido apreciando cada vez más las ventajas heurísticas de la termodinámica fenomenológica, tanto para derivar antiguos resultados como para predecir nuevos. Según Ostwald, frente al carácter degenerado que presentaba el programa de investigación mecánico-atomista, el programa basado en la termodinámica pura se mostraba como progresivo. El energetismo era el desarrollo natural del programa de investigación de la termodinámica.

El energetismo está influenciado por la filosofía de la naturaleza de los idealistas alemanes, la *Naturphilosophie*, que había surgido como reacción al mecanicismo y al materialismo, y defendía la unidad de las fuerzas de la naturaleza y la primacía de la “fuerza viva” (el antecedente de la energía ci-

nética). El energetismo de Ostwald encontraba en la energía ese fundamento que integraría todas las fuerzas de la naturaleza. Todos los fenómenos naturales se pueden clasificar bajo el concepto de energía. Así, no solo la mecánica quedaba reducida a la termodinámica, sino también la química. Moléculas y átomos son solo ficciones matemáticas para explicar las operaciones de energía. Y es que los átomos no eran capaces de constituir un elemento unificador para la naturaleza. Siguiendo los trabajos de S. Arrhenius y J. H. van't Hoff, Ostwald trataba de buscar una fundamentación termodinámica de la química, entendiendo los procesos químicos, igual que los demás procesos naturales, como transformaciones de la energía (Diéguez 10).

También estaba la cuestión de la base empírica. Ostwald consideraba que los mecanicistas, con sus hipótesis atomistas, se basaban en entidades ajenas a la experiencia. Al contrario que la mecánica, para Ostwald la termodinámica sí tenía un fundamento empírico que se manifestaba en las pérdidas y ganancias de calor, lo cual le dotaba de un estatuto superior. La medida del calor implicado en las reacciones daba una idea más clara de la estabilidad química que las representaciones pictóricas de las moléculas en las interacciones químicas. Evitaba así a la ciencia, según Ostwald, recurrir a supuestos no empíricos (Marinho Oki 1079).

Además de la materia, Ostwald rechazaba también por ficticias las fuerzas químicas. Solo la energía posee realidad; las fuerzas son ficciones matemáticas. Ostwald reconocía la utilidad que había tenido el concepto de fuerza en mecánica, en física. Pero sostenía que dicho concepto se había usado en exceso, hasta el punto de que se había tratado como poseedor de realidad objetiva, algo erróneo, lo cual había sido perjudicial para el avance científico (había sido responsable del rechazo de la gravedad en tanto fuerza a distancia). Concretamente en química había sido un concepto muy dañino, pues según Ostwald tratar de medir las fuerzas había impedido que se hicieran avances en la teoría de la afinidad. Solo se llegó a una concepción más general de las leyes de afinidad química cuando el objeto de investigación fue la energía química y sus transformaciones (Deltete 21).

Ostwald terminó reconociendo la existencia de los átomos tras los experimentos del químico francés Jean Perrin de 1908 y 1913 sobre el movimiento browniano, con los que consiguió un valor más preciso del número de Avogadro, y que supusieron la confirmación de la ecuación de Einstein. Y es

que una coincidencia tan grande utilizando procedimientos tan dispares no podía ser fortuita; N tenía que representar una magnitud real, el número de moléculas (compuestas por átomos reales). A pesar de ello, Ostwald no abandonó totalmente el energetismo, sino que lo orientó como un planteamiento social y político, no ya físico, que abogaba por no despilfarrar energía y por tratar de convertirla de la forma más útil. Ostwald concebía la acumulación de energía como el principal motor del progreso de la humanidad, el modo de llegar a mayores cotas de mayor poder, libertad y felicidad.

3 · Ernst Mach

Otro de los grandes críticos del atomismo fue el célebre físico, filósofo e historiador de la ciencia alemán Ernst Mach. Aunque mostraba alguna simpatía con elementos del energetismo, su rechazo del atomismo viene por su filosofía empirista radical. Ernst Mach es un fenomenista: conocemos lo recibido directamente a través de los sentidos, las sensaciones (los fenómenos), y por tanto no podemos afirmar la existencia de algo que no se reduzca a sensaciones.

Mach defendió el atomismo en su juventud, durante la cual trabajó de físico. Pero lo defendió como hipótesis fértil, sin comprometerse ontológicamente. En una obra de 1863 habla de la teoría cinética de los gases como una teoría con gran capacidad explicativa debido a su capacidad de unificar una gran variedad de fenómenos (calor, luz, sonido, etc.) pero recalca que es solo una hipótesis de trabajo provisional. Investigaciones posteriores, especialmente la dificultad de dar cuenta de los espectros de gases, le hicieron cambiar a Mach su postura, pasando a considerar que la teoría cinética había perdido su valor heurístico (Bächtold 7). Su primer rechazo público del atomismo fue con la publicación en 1872 de *La historia y raíz del principio de conservación de la energía*, donde defendía la ilegitimidad de tratar los procesos termodinámicos como procesos mecánicos. Le parecía más plausible relacionar el calor con la ausencia de movimiento que con el movimiento. Y negaba que el descubrimiento del principio de conservación de la energía demostrara que el calor no fuera una substancia (Brush 200). A partir de dicha fecha, encontramos numerosas alusiones críticas a las teorías atómicas

en sus obras. En *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica* (1883), una de sus principales, Mach se expresa en estos términos:

La visión que hace de la mecánica la base del resto de ramas de la física y explica todos los fenómenos físicos por ideas mecánicas, es en nuestra opinión un prejuicio [...] puede haber sido, por un tiempo, de mucho valor, pero, en suma, es una concepción artificial. [...] Hay que averiguar las simples conexiones de los movimientos de masas, de los cambios de temperatura, de los cambios en los valores de la función potencial, de los cambios químicos, sin imaginarnos nada bajo estos elementos más que las características físicas directa o indirectamente obtenidas por la observación. (1949 413-414)

El rechazo del atomismo por Mach viene de sus convicciones empiristas fenomenistas ligadas a una filosofía de la ciencia instrumentalista. Mach se sitúa en la tradición empirista radical de Berkeley y Hume. Lo que existe realmente son las sensaciones, no las cosas; lo dado son los atributos, no las sustancias. Las cosas no existen más que como conjuntos de sensaciones que nuestra mente agrupa por conveniencia bajo un concepto artificial. La materia es una abstracción que consiste en relaciones de sensaciones coordinadas con cierta estabilidad. Nuestro conocimiento se basa en lo que experimentamos directamente, tanto interna como externamente. La ciencia, para Mach, no es más que un desarrollo muy sofisticado, debido a la evolución biológica, del modo de conocimiento básico humano. El objetivo de la ciencia es dar cuenta de la regularidad en las relaciones entre sensaciones, para lo cual el hombre ha creado una serie de herramientas conceptuales, artificios, siendo los más complejos las teorías. Pero no estamos legitimados para dar estatuto de realidad a dichos artificios, pues no tienen un fundamento directo en la experiencia sensible. Las sensaciones admiten múltiples modos de agrupamiento; distintas teorías. Se trata de adoptar aquellos que han resultado más simples y más fructíferos para explicar y predecir regularidades sensibles. La economía de una teoría es el criterio que nos debe llevar a rechazarla o aceptarla. El objeto de la ciencia, para Mach, es proporcionarnos la descripción más económica de la naturaleza posible, de modo que pueda servir así a su objetivo de supervivencia de la especie mediante la mayor adaptación de la memoria al servicio del desarrollo del organismo.

Así pues, para Mach la teoría atómica es un modelo matemático para facilitar la representación de una serie de experiencias. Los átomos son un concepto, un símbolo, usado como atajo para referirse un conjunto de sensaciones. Pero no tenemos experiencia directa de los átomos, ni podemos tenerla, dadas sus características. Los átomos son concebidos como cosas en sí, que producen una serie de fenómenos sensibles. Pero como hemos afirmado antes, para Mach nada tiene entidad, realidad, al margen de las sensaciones que lleva aparejado. No existen sustancias, sino conjuntos de sensaciones. Los átomos, como toda entidad sustancial, no son perceptibles por los sentidos. Lo máximo que percibimos son sus supuestos efectos, como el calor o la presión, pero no estamos justificados, si queremos ser fieles al empirismo como Mach, a decir que la causa son los átomos. Mach es uno de los mayores críticos de la metafísica y referentes del positivismo: advierte contra la tentación metafísica de buscar causas, que nos lleva a postular entidades imperceptibles, como los átomos.

Además de rechazar la tesis atomista como tesis ontológica, Mach también la rechazaba por inútil, como ya hemos expuesto antes. Pero parece que, con los nuevos experimentos de principios del siglo XX, Mach cambió de opinión, y pasó a considerar la hipótesis atomista como fértil. En cualquier caso, siguió rechazando la existencia de los átomos y advirtiendo del peligro para el avance científico de admitir dicha existencia (opinión expresada, entre otros lugares, en su prefacio de *Óptica física* de 1913 y sus conversaciones con uno de sus antiguos estudiantes, Brauner).

4 · Pierre Duhem

El francés Pierre Duhem es el otro gran crítico del atomismo. Físico, químico, historiador de la ciencia y filósofo, Duhem se apoya en sus diversos saberes para hacer un ataque al atomismo desde una perspectiva instrumentalista que, si bien comparte aspectos con la de Mach, posee una razón de ser completamente distinta.

Contra la teoría atomista, Duhem presenta la historia del concepto de mezcla en química, mostrando que dicho concepto y los relacionados con él pueden entenderse al margen de la referencia a los átomos. Aunque Duhem reconoce que la interpretación atomista parece natural, no resulta indispen-

sable. Además, sostiene que no es demostrable empíricamente y que presenta otra serie de problemas.

Duhem expone la citada historia del concepto de combinación química en su obra de 1902 titulada *La mezcla y la combinación química. Ensayo sobre la evolución de una idea* (Cfr. Lepeltier). El concepto de combinación química es aquella mezcla, a diferencia de las mezclas físicas, en la que sean cual sean las condiciones físicas, los cuerpos se combinan siguiendo una proporción definida (ej.: en el agua se combina una masa de oxígeno 8 veces mayor que la de hidrógeno). Puesto que cada cuerpo entra en determinada combinación con otros según una proporción definida, fue posible asignar un número relativo a esa proporción (oxígeno=8, hidrógeno=1). Y, teniendo en cuenta todas las combinaciones de cuerpos conocidas, fue posible asignar un número absoluto a cada cuerpo (oxígeno=16, hidrógeno=1). De este modo, las proporciones definidas permitieron definir la fórmula química de un cuerpo (H₂O). Esta formulación bruta fue desarrollada cuando los químicos descubrieron que en las reacciones ciertos cuerpos podían ser sustituidos por otros: concepto de equivalente. Los químicos desarrollaron reglas de sustitución. A cada cuerpo se le asignaba un número de valencia, de modo que se combinan en pares compartiendo valencias. Los cuerpos son reemplazables si tienen el mismo número de valencia. Representadas las valencias con un guion, la fórmula química del agua quedaba así: H - O - H. Con este tipo de formulación, dado un compuesto, se podía saber qué compuestos podía dar lugar por vía de sustitución (H - O - H podría dar H - O - X o también X - O - X, pero no X - O).

Duhem usa esta historia para presentar estos conceptos sin recurrir a los átomos, mostrando así que es la concepción atómica no es necesaria, ni tampoco es demostrable empíricamente; los hechos no nos fuerzan a admitirla. Duhem sostiene que lo que arroja la experiencia es que el agua se forma de a partir de una masa de oxígeno que es ocho veces la del hidrógeno, pero no que el agua se forme a partir de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. La concepción atomista es solo una interpretación posible pero no la única. Los símbolos químicos, pues, para Duhem, son instrumentos para clasificar y descubrir, no reflejan la estructura real química de los cuerpos. Es más, ni siquiera permiten determinar cuándo una reacción ha tenido realmente lugar, sostiene Duhem, pues para saber si se combinan para dar agua o si la combinación es total o parcial, es necesario haber fijado antes

las leyes que rigen las combinaciones, para lo cual se estudian los cambios físicos mensurables (temperatura, masa, presión, etc.) que acompañan a los procesos de mezcla; no se postulan uniones y separaciones de átomos.

La termodinámica era para Duhem la prueba de que se podían establecer leyes sobre reacciones químicas sin recurrir a supuestos atomistas. La termodinámica muestra las reacciones químicas como transformaciones de unos cuerpos en otros con otras propiedades sin precisar de átomos. Esto llevó a Pierre Duhem a pensar que la física estaba más cercana a Aristóteles que a Descartes y Newton, y que la termodinámica debía ser el fundamento de la física y la química.

Ahora bien, esto no implica que la naturaleza sea para Duhem tal y como dice la teoría termodinámica, ni como dice cualquier otra teoría. Duhem no es realista, sino instrumentalista. Su visión sobre la naturaleza de las teorías físicas es desarrollada en su obra de 1906 *La teoría física: su objeto y su estructura*.

Duhem contraponen el uso de modelos mecánicos, propio de la escuela inglesa, al uso de modelos abstractos, propio de la escuela continental. Los físicos de la escuela inglesa, para comprender un fenómeno físico construyen un modelo que imita ese fenómeno; comprender la naturaleza de las cosas materiales consiste en imaginar unos mecanismos cuyo funcionamiento presente las propiedades de los cuerpos. La escuela inglesa está totalmente dedicada a las explicaciones puramente mecánicas de los fenómenos físicos (Duhem 91-92).

Frente a este modo de proceder, Duhem defiende la escuela continental, francesa y alemana, que se basa en la física matemática, en modelos abstractos, deducciones perfectamente rigurosas unen las hipótesis en la que se basa la teoría a las consecuencias que se pueden extraer de ella y que proponen comparar con las leyes experimentales (99).

Duhem admite que

El uso de modelos mecánicos ha guiado a algunos físicos en la senda de la invención, y que esa senda podrá conducir a otros descubrimientos. Pero lo cierto es que no ha aportado a los avances de la física esa rica contribución que tanto se nos ha elogiado; la parte del botín que ha aportado a la mesa de

nuestros conocimientos parece bien magra si se la compara con las opulentas conquistas de las teorías abstractas. (127)

Para Duhem el objeto de una teoría física no es explicar un conjunto de leyes experimentales. Es decir, la física no tiene como objeto despojar a la realidad de las apariencias que la envuelven para contemplarla desnuda. La explicación para Duhem es dar con la esencia de las cosas, y pertenece por tanto a la metafísica: “La teoría física no es más que un sistema abstracto cuyo objetivo es resumir y clasificar lógicamente un conjunto de leyes experimentales, sin pretender explicarlas” (5). Las leyes experimentales tratan de las apariencias sensibles de forma abstracta y general. Para Duhem, la física se contenta con demostrar que todas nuestras percepciones se producen como si la realidad fuera tal como afirman sus teorías; una teoría es una explicación hipotética (6-7).

Si las teorías físicas tuvieran por objeto explicar las leyes experimentales, dice Duhem, la física teórica no sería una ciencia autónoma, sino subordinada a la metafísica, pues esta es la que descubre la realidad que hay tras las apariencias sensibles, la naturaleza de los elementos que construyen la realidad material (8-9). Sin embargo, dice Duhem, esta es una visión compartida por muchos físicos. Como consecuencia de ello, las divisiones que separan los sistemas metafísicos pasan a la física, de modo que cada físico acusa al de la escuela rival de recurrir en sus explicaciones a nociones que no están explicadas, que son causas ocultas. Duhem muestra con las disputas entre peripatéticos, atomistas, cartesianos y newtonianos cómo esto ha sido una constante en la historia de la física o filosofía natural (10-20).

El valor de una teoría radica, pues, dice Duhem, no en enseñarnos la naturaleza de las cosas, no en mostrarnos la realidad bajo los fenómenos, sino en condensar una multitud de leyes en pocos principios; es un sistema de proposiciones matemáticas deducidas de un pequeño número de principios cuyo fin es representar de la manera más simple, completa y exacta posible un conjunto de leyes experimentales (22). Esto supone un gran alivio para la razón humana, pues incrementa su capacidad de almacenamiento. Duhem afirma su acuerdo con Mach en que la economía intelectual es el objetivo y principio rector de la ciencia. La ley experimental ya representa una primera economía intelectual al reunir hechos concretos. La teoría es un paso más. El progreso de la ciencia consiste en buscar cada vez sistemas más económi-

cos. Duhem se muestra así también como Mach como un instrumentalista (24-26).

El orden, la simplicidad y la utilidad con la que logran clasificarse tantas leyes aparentemente inconexas invita al físico a ver en la teoría una clasificación natural. Además, si la teoría es fecunda, si son deducibles a partir de sus principios hechos comprobables empíricamente que no conocíamos antes de la formulación de la teoría, la fe en que la clasificación brindada por la teoría es una clasificación natural es aún mayor. A pesar de ello, dice Duhem que no podemos demostrar que una teoría sea una clasificación natural, como se desprende del análisis de los métodos —limitados por los datos de la observación— con los que se elaboran las teorías físicas. Ahora bien, aunque no podemos dar cuenta de nuestra convicción, tampoco podemos librarnos de ella. Se trata de una fe inevitable, afirma Duhem. Percibimos que las agrupaciones artificiales de nuestra teoría corresponden a afinidades reales entre las cosas mismas. Esto es porque el físico ve en toda teoría una explicación, pero en realidad es una representación (Duhem 27-32).

5 • El problema de la explicación

Con la teoría cinética de los gases, Boltzmann buscaba reducir la termodinámica a la mecánica, la cual era la teoría física por excelencia. El mecanicismo era el marco explicativo fundamental de Boltzmann: su ideal era llegar a tratar los procesos sociales y personales mecánicamente como resultado de la selección natural de Darwin. A Boltzmann le preocupaba explicar la continuidad de la materia macroscópica y su discontinuidad microscópica. En su artículo de 1866 *Sobre el significado mecánico del segundo principio de la teoría del calor* presentaba la entropía en términos mecánicos y la temperatura de un gas como función de la energía cinética media de las moléculas, siendo su objetivo “dar una prueba puramente analítica y totalmente general de la segunda ley de la termodinámica, así como descubrir el teorema en Mecánica que le corresponde”.³ Con la creación de la mecánica estadística, Boltzmann pensaba que podía explicar los fenómenos macroscópicos de la

³ Citado en: Gulín González, Jorge. “Ludwig Boltzmann. Pionero de la ciencia del siglo XX”, *Revista CENIC Ciencias Químicas Vol. 38 No. 1 (2007): 259*.

termodinámica derivando las leyes que los rigen a partir de leyes mecánicas probabilísticas.

Se trata un modelo de explicación que ha sido tenida como ideal por muchos científicos y filósofos a lo largo de la historia, siendo el caso más paradigmático la teoría de Newton como explicación de las leyes de Kepler. La explicación científica así entendida reside en una teoría de la que se deducen el mayor número de leyes empíricas, tanto ya descubiertas como nuevas (predichas). La capacidad explicativa se basa en la capacidad unificadora (el encaje de leyes empíricas dentro de un marco más general) y heurística de una teoría (la capacidad para descubrir nuevas leyes a partir del marco de la teoría). Es lo que Ernst Nagel denominó reducción teórica. Para los neopositivistas, la cobertura legal inferencial era considerada la explicación científica por excelencia. Según Nagel, se efectúa una reducción cuando se demuestra que las leyes experimentales de la teoría o ciencia secundaria (reducida) son consecuencias lógicas (es decir, se deducen) de las suposiciones teóricas de la teoría o ciencia primaria (reductora). De este modo la teoría secundaria queda explicada por la primaria (Nagel 311-335).

Precisamente Nagel en *La estructura de la ciencia*, publicada en 1961, utiliza la reducción de la termodinámica a la mecánica estadística como ejemplo de reducción problemática (heterogénea): para inferir las leyes de la termodinámica de la mecánica, dado que la primera tiene términos que no están incluidos en la primera, es necesario la introducción de reglas de correspondencia. Así, Nagel señala que la deducción de la ley de Boyle-Charles a partir de la teoría cinética de los gases depende del postulado adicional de que la temperatura de un gas es proporcional a la energía cinética media de sus moléculas (315-317). El estatuto epistemológico de estas reglas es problemático. Nagel considera que el vínculo entre la “temperatura de un gas” y “la energía cinética media de sus partículas” no puede considerarse como lógico, pues ninguna exposición corriente de la teoría cinética de los gases pretende establecer el postulado analizando los significados de los términos que hay en él. Y en cuanto a las otras dos alternativas (que sea una regla de coordinación o que sea una hipótesis física), encuentra razones para apoyar ambas. Para defender que se trata de una regla de coordinación, aduce que no se puede determinar la energía cinética del gas sin estipular convencionalmente que la temperatura es una medida de esta. Para defender

que se trata de una hipótesis física, aduce que, aunque no puede hacerse una medida directa de la energía cinética de un gas, es posible obtener su valor mediante cálculos basados en datos experimentales de los gases diferentes a los que se obtienen al medir la temperatura. Finalmente, Nagel concluye que no son razones incompatibles y que la decisión entre ambas modalidades es una cuestión que depende del contexto de exposición en el cual se elabora la reducción de la termodinámica a la mecánica. Solo una vez dado el modo particular adoptado para articular las teorías en un contexto particular, podemos decidir si el vínculo es de un tipo u otro. Así pues, Nagel muestra que, aunque la reducción de Boltzmann puede llevarse a cabo exitosamente, tiene elementos convencionales que impiden tratarla en todo contexto como una reducción fáctica o material (326-328).

Ostwald, como tantos otros científicos, comparte el ideal de explicación reductora también. Lo que le diferencia de Boltzmann es que pretende reducir la mecánica a la termodinámica. Y es que, como hemos visto, Ostwald consideraba que la termodinámica es más fértil en la producción de nuevas leyes y en dar cuenta de las presentes, y que podría encajar en su sistema más fenómenos con el concepto básico de energía. La convicción de Ostwald no era meramente pragmática (tampoco la de Boltzmann), era además ontológica. La realidad última para él era la energía. Precisamente ese error es contra el que previene Nagel: confundir la reducción lógico-epistemológica, una reducción en el orden del conocimiento, con una reducción ontológica, una reducción en el orden de lo real. Pues eso, dice Nagel, da lugar a disputas metafísicas sin fin.

Para Nagel la reducibilidad de una ciencia a otra no puede discutirse al margen del contexto, sin referencia a alguna etapa particular del desarrollo de ambas. A veces la reducibilidad puede estorbar en ciertas etapas primigenias; es mejor que ambas ciencias sean maduras. Por no comprender esta dependencia del contexto temporal, los debates sobre reducibilidad se presentan como debates sobre la estructura última e inmutable del universo en lugar de sobre la estrategia de la investigación o sobre las relaciones lógicas entre las ciencias. Así tornamos la cuestión lógica y empírica en una especulativa sin solución. Así pues, Nagel afirma que la reducción es una deducción de un conjunto de enunciados empíricamente confirmados a partir de otro conjunto semejante, no la derivación de las propiedades o naturalezas de

los elementos de cierto tipo a partir de los de otro tipo. Las naturalezas no son observables directamente, solo pueden ser enunciadas a través de las teorías (333-334).

Karl Popper, aunque reconoce el valor del reduccionismo científico (que, aunque nunca puede ser completo, siempre es fértil), también advierte contra la tentación de acabar en lo que denomina reduccionismo filosófico, estrechamente vinculado al esencialismo. Popper, a pesar de ser realista, sostiene que el reduccionismo filosófico es una equivocación, pues proviene del deseo de reducirlo todo a una última explicación por medio de esencias y sustancias, es decir, a una explicación que no sea capaz ni necesite de una explicación posterior. Pero siempre es posible seguir preguntando por qué (43-79).

El problema es que la tentación de llevar la explicación a ese terreno es muy natural, es muy comprensible, pues la explicación parece implicar siempre cierto alejamiento de la experiencia directa, de la pura descripción de los hechos sensibles. Hay que postular una conexión imperceptible, causa o ley, o unas propiedades imperceptibles, esencias, o una entidad subyacente imperceptible, elementos o sustancias. Por eso los empiristas radicales como Mach tienden a rechazar las explicaciones o al menos a verlas como problemáticas.

El empirismo sitúa la justificación del conocimiento en la experiencia perceptiva. De ahí las continuas referencias a la percepción sensible de Mach. Por eso históricamente algunos empiristas han optado por prescindir de la explicación como elemento constitutivo del conocimiento humano, sosteniendo que este consiste exclusivamente en describir las regularidades perceptivas. El empirismo llevado a sus últimas consecuencias acaba deviniendo así en fenomenismo, como es el caso de Berkeley, Hume y Mach, entre otros. Todo lo que sea interpretar más allá de los datos sensibles resulta sospechoso: bien sea atribuir a los fenómenos una causa (en forma de “fuerza” o “gravedad”) o suponer que son atributos de una sustancia (“materia” o “átomo”).

El problema de una posición empirista como la de Mach es que, como les ocurrirá a los empiristas lógicos del siglo XX, no puede eludir una permanente tensión entre su principio epistémico fundamental (que exige conexión directa con la experiencia) y su fidelidad a la ciencia histórica. Y es que

si, como la mayoría de los empiristas posteriores a la revolución científica, se toma la ciencia moderna (concretamente la física) como ideal de conocimiento, hay que admitir las leyes de la naturaleza y el elemento de explicación implicado en ellas como uno de los componentes fundamentales de la ciencia. El problema es que resulta complicado dar con una definición empirista de ley de la naturaleza, si admitimos que cada enunciado ha de remitir a una base observacional. Pues cualquier intento de distinguir una regularidad de ley de una regularidad de hecho implica el recurso a enunciados modales (bien sea de necesidad, de posibilidad o de imposibilidad), y la modalidad no es observable, no se da en el mundo de la experiencia sensible; los elementos modales son epistémicamente injustificables para un empirista. De ahí que los empiristas, generalmente, acaben considerando la diferencia entre leyes y regularidades de hecho como de orden pragmático.

Esta es la conclusión a la que llega Alfred J. Ayer en su ensayo “¿Qué es una ley de la naturaleza?” (255-284) al investigar las diferentes posibilidades de dar cuenta de la distinción entre regularidades de ley y regularidades de hecho. La mera forma de los enunciados no las diferencia, tampoco la menor o mayor perfección de la regularidad ni el tipo de objetos a los que atañen. La clave de la distinción reside en el elemento modal (necesidad, imposibilidad, posibilidad) presente en los enunciados que expresan regularidades de ley, pero este no es observable. Y recurrir a los condicionales contrafácticos no soluciona el problema, pues estos llevan implicado un elemento de modalidad. Al final, Ayer basa el concepto de ley en la actitud del sujeto y en lo que hace con ella. Una ley natural está constituida por aquellas regularidades tan básicas para nuestro conocimiento que somos reacios a considerar nuevas informaciones como contrarias a ella; reinterpretaremos las aparentes excepciones de tal modo que caigan bajo la ley y, en consecuencia, no la afecten. La diferencia entre regularidades de hecho y leyes es, pues, según Ayer, pragmática. La necesidad no está en el mundo (no es objetiva), sino en nuestro conocimiento. Este modo de entender las leyes naturales, pragmático y relativo a la estructura de nuestro conocimiento, culminará en Quine: las leyes son tesis lógicamente tan centrales a nuestro conocimiento que nos resultaría muy costoso modificarlas; antes de tocarlas, preferiríamos cambiar, si fuera preciso, cualesquiera otras tesis más periféricas.

Es natural, pues, que un empirista radical como Mach adopte una epistemología instrumentalista o convencionalista. La consideración de los átomos como artificios teóricos por parte de Mach es consecuencia de su rechazo a asignar realidad a todo concepto abstracto que no tenga un fundamento directo en la experiencia, lo cual le enfrenta a los que admiten la existencia de los átomos:

No sería ciencia física si viéramos en los átomos y moléculas, estas herramientas autocreadas, cambiantes y económicas, realidades tras los fenómenos [...] al sustituir una mitología mecánica para el antiguo esquema animista o metafísico, y así creando un sin fin de supuestos problemas. El átomo debe permanecer como una herramienta para representar los fenómenos, como las funciones matemáticas. (2014 206-207 [Traducción propia])

Su rechazo a la existencia de los átomos no es, pues, un mero desacuerdo científico, sino que se deriva de su concepción filosófica empirista que desconfiaba de las explicaciones objetivas, de la actitud metafísica que siempre busca un por qué más allá de lo dado.

Los grandes principios de la física, resueltos en sus elementos, no difieren de los principios descriptivos del historiador natural. La pregunta por qué, que es siempre apropiada cuando se trata de la explicación de una contradicción, como todos los hábitos del pensamiento, puede ir demasiado lejos y preguntar donde nada queda para ser entendido. (Ibid. 199 [Traducción propia])

Para Mach la explicación es subjetiva, es fundamentalmente una cuestión psicológica. Se logra la explicación a través de la organización y clasificación de elementos familiares de la experiencia de modo que nos lleva a ver los fenómenos de una forma nueva, pero no nos lleva a nada elevado o más fundamental. Es esencialmente eliminar una molestia psicológica lo que está en cuestión.

Para Duhem, como para Mach, la explicación (entendida como la búsqueda de porqués ontológicos) es problemática porque pertenece al ámbito de la metafísica. Para ambos su influencia en la física lleva a debates estériles.

Ahora bien, mientras que Mach la rechaza por ser anti-metafísico, Duhem la rechaza por ser pro-metafísico: considera que la metafísica (junto con la teología) tiene un dominio propio (privilegiado) sobre el que la ciencia no puede decir nada (ahora bien, tampoco la metafísica sobre la ciencia). Solo a la metafísica (y a la teología) le corresponde hacer afirmaciones ontológicas, relativas a propiedades objetivas del mundo, no a la ciencia.

Según Duhem:

[Un principio de la física] es una forma matemática que sirve para resumir y clasificar las leyes constatadas por la experiencia. Ese principio no es ni verdadero ni falso por sí mismo, sino que simplemente da una imagen más o menos satisfactorias de las leyes que pretende representar [que son las leyes de la experiencia vulgar que el sentido común formula sin apelar a las teorías científicas] Esas leyes sí pueden estar de acuerdo o no con determinadas proposiciones de la metafísica y la teología. Pero la clasificación sistemática que de ellas proporciona la teoría no añade ni quita nada a su verdad, a su certeza, a su alcance objetivo. (374)

Al contrario que las leyes del sentido común, afirma Duhem que una ley científica está cargada de teoría:

[Es] una mezcla íntima de constatación experimental, dotada de un alcance objetivo, y de interpretación teórica, un simple símbolo carente de todo sentido objetivo. Será preciso que el metafísico disocie esa mezcla, a fin de obtener, con la mayor pureza posible, el primero de los dos elementos que la componen: así y solo así, su sistema puede hallar una confirmación o chocar con una contradicción. (383-384)

En esto, dice Duhem, reside el valor de la ciencia física para el metafísico.

No es, pues, según Duhem, en la explicación donde el científico debe buscar el valor de una teoría física, sino en el número de leyes experimentales que representa y en el grado de precisión con que lo hace. A igualdad de teorías lógicamente equivalentes, se valora la elegancia, la simplicidad, la

comodidad y la convicción subjetiva; razones contingentes que varían con el tiempo, la escuela y la persona.

Ahora bien, reconoce Duhem que todo empuja al físico pensar que

A medida que la teoría física avanza, se parece cada vez más a una clasificación natural, que es su ideal y su objetivo. El método físico es incapaz de probar que esta afirmación está fundamentada; pero, si no lo estuviera, resultaría incomprensible toda la tendencia que dirige el desarrollo de la física. Así pues, la teoría física ha de buscar en la metafísica las bases que establezcan su legitimidad. (392)

Y es que, si bien un exceso de realismo puede llevar a debates estériles y lastrar el desarrollo de la ciencia, no es menos cierto que la aspiración a la verdad, no la mera adecuación empírica, es un motor que guía la actividad científica.

6 · Conclusión

Ostwald, Mach y Duhem compartían en general la opinión sobre lo que hace valiosa una teoría: adecuación empírica, capacidad de unificar y clasificar hechos y leyes empíricas, hacerlo con la mayor simplicidad, economicidad y orden, así como capacidad de encontrar nuevas leyes y predecir nuevos hechos. Boltzmann también; pero, a diferencia de él, aquellos no consideraban que el mecanicismo atomista fuera portador de estas virtudes, sino más bien la termodinámica. La diferencia entre Ostwald, y Mach y Duhem, es que el primero, como Boltzmann, veía en las teorías una imagen de la realidad, una expresión de la verdad. Para Ostwald y Boltzmann las teorías tenían como virtud, pues, la capacidad explicativa en sentido fuerte. Mientras que Mach y Duhem rechazaban la explicación como labor de la ciencia al considerarla metafísica; el primero por su rechazo a la metafísica y el segundo por su aprecio por ella. Adoptaban una postura instrumentalista. De ahí que cuando a principios del siglo XX se llevaron a cabo (especialmente Perrin) una gran cantidad de diferentes clases de experimentos que podían ser interpretados en clave atomista, Ostwald pasara a abrazar el atomismo aceptando la existencia de los átomos, mientras que Mach y Duhem siguieron manteniendo

su rechazo a la existencia de los átomos y considerándola una creencia perjudicial al desarrollo científico, aunque Mach pasara a reconocer su valor útil como hipótesis. Siempre podrían argumentar que la mera coincidencia no prueba la existencia.

Este debate histórico sobre la realidad de los átomos muestra un problema aún relevante (aunque en un contexto filosófico y científico diferente), que ha suscitado el principal debate en filosofía de la ciencia desde 1975: el problema del realismo científico; ¿describen las teorías científicas la realidad? En esta discusión han estado involucrados los mejores filósofos de la ciencia de las últimas décadas: Putnam, Boyd, Kitcher y Psillos defendiendo el realismo (aunque el primero cambió su postura) y Laudan, Van Fraassen y Fine combatiéndolo.

Una de las soluciones más interesantes de este problema es la que propone el realismo experimental, defendido por Hacking y Cartwright, que implica una forma de entender el debate no centrada en las teorías científicas sino en las prácticas experimentales. En un ejemplo que recuerda al pasado debate sobre los átomos, Hacking compara la existencia de los quarks y la de los electrones, y afirma que lo que le convenció del realismo no tiene que ver con los quarks, sino con “el hecho de que a estas alturas hay emisores estándar con los que podemos rociar positrones y electrones, y eso es precisamente lo que hacemos con ellos. Entendemos los efectos, entendemos las causas, y los usamos para descubrir otra cosa (23)”. Para Hacking, los electrones (un ente teórico) existen porque podemos manipular sus propiedades causales para intervenir en el mundo.

En definitiva, según Hacking

El trabajo experimental proporciona la mejor evidencia a favor del realismo científico. Esto no se debe a que nos permita contrastar hipótesis sobre la existencia de entes teóricos, sino a que estos entes que, en principio, no pueden ser “observados”; son manipulados regularmente para producir nuevos fenómenos e investigar otros aspectos de la naturaleza. Son herramientas, instrumentos, pero no para pensar, sino para hacer. (262)

Con este debate histórico sobre el atomismo, además de exponer un tema interesante por sí mismo de la historia de la ciencia y de la filosofía, se ha querido mostrar un problema filosófico capital que sigue siendo de actualidad, como es el problema del realismo en la ciencia.

7 · Bibliografía

- Ayer, Alfred J. *El concepto de persona*. Barcelona: Seix Barral, 1966.
- Bächtold, Manuel. “Mach’s View on Atoms”, *Journal for General Philosophy of Science* Vol. 41 No. 1 (2010): 1-19.
- Brush, S.G. “Mach and atomism”, *Synthese* Vol. 18 No. 2/3 (abril 1968): 192-215.
- Deltete, Robert. J. “Wilhelm Ostwald’s energetics 1: Origins and motivations”, *Foundations of Chemistry* Vol. 9 No. 1 (2007): 3-56.
- Diéguez, Antonio J. “Realismo y antirrealismo en la discusión sobre la existencia de los átomos”, *Philosophica Malacitana* 8 (1995): 49-65.
- Duhem, Pierre. *La teoría física: su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder, 2003.
- Gulín González, Jorge. “Ludwig Boltzmann. Pionero de la ciencia del siglo XX”, *Revista CENIC Ciencias Químicas* Vol. 38 No. 1 (2007): 254-261.
- Hacking, Ian. *Representing and intervening*. Cambridge University Press, 1983.
- Lepeltier, Thomas. “Compte rendu du livre: Le mixte et la combinaison chimique. Essai sur l’évolution d’une idée, de Pierre Duhem”, *Revue du livres* (octubre 1998) [en línea]. <<http://thomas.lepeltier.free.fr/cr/duhem-mixte.html>> [última consulta: 1 de noviembre de 2021]
- Mach, Ernst. *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica*. Buenos Aires: Espasa Calpe, 1949.
- Mach, Ernst. *Popular scientific lectures*. Cambridge University Press, 2014.
- Marinho Oki, Maria da Conceição. “Controvérsias sobre o atomismo no século XIX”, *Química Nova* Vol. 32 No. 4 (2009): 1072-1082.
- Moreno González, Antonio. “Atomismo versus Energetismo: controversia científica a finales del siglo XIX”, *Enseñanza de las ciencias* Vol. 24 No. 3 (2006): 411-428.
- Nagel, Ernest. *La estructura de la ciencia*. Barcelona: Paidós, 1968.
- Pojman, Paul. “Ernst Mach”, en Zalta, Edward N. (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2020 Edition) [en línea]. <<https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/ernst-mach/>> [última consulta: 1 de noviembre de 2021]
- Popper, Karl R. *La responsabilidad de vivir*. Barcelona: Paidós, 2008.