

Trabajo de fin de grado

Grado en filosofía

2023-2024

**La realidad fundamental:
los atomistas y sus críticos**

Alumna. Nora Gómez González

Tutor. Antonio Manuel Liz Gutiérrez

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
1. ANTECEDENTES: ATOMISMO MECANICISTA.....	4
A) ANTIGUA GRECIA.....	4
B) TRANSICIÓN DE LOS MODELOS ATÓMICOS (S. XVII - S. XIX).....	6
C) CONCEPCIÓN ATOMISTA KANTIANA.....	12
2. ESTADO ACTUAL: TENSIÓN ENTRE ATOMISTAS Y NO-ATOMISTAS.....	14
A) WILHELM OSTWALD.....	14
B) ERNST MACH.....	15
C) PIERRE DUHEM.....	17
D) NUEVA CONCEPCIÓN DE LA REALIDAD.....	19
3. DISCUSIÓN Y POSICIONAMIENTO.....	25
4. CONCLUSIÓN Y VÍAS ABIERTAS.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	31

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quisiera comenzar mi gratitud hacia todo el profesorado del grado en Filosofía que a lo largo de estos años ha contribuido de manera significativa en mi formación, especialmente la paciencia y el apoyo brindado durante todo este tiempo. En particular, me gustaría hacer mención a:

A María Inmaculada Perdomo Reyes. Aún recuerdo el primer día de segundo año de carrera, entraste al aula con una gran sonrisa que te ha caracterizado a lo largo de los años. Has sido mi apoyo en muchos momentos, me gustaría destacar este último año, cuando la presión mental aumentaba de forma exponencial y aún así lograbas calmarme cada vez que corría a tu lado a pedir ayuda, tal como lo haría una madre.

A Abraham Hernández Pérez. Has sido ese faro en una isla distante, tu juventud y pasión por la filosofía me han recordado la razón por la que decidí estudiar filosofía. Gracias por tu dedicación, entusiasmo y calma.

A Ciro Mesa Moreno. Como ya le repetí varias veces, aún me sorprende pensar que ha sido mi primera y última clase de la carrera. Sus consejos, charlas y comentarios tan elocuentes, tanto dentro como fuera del aula, son, y serán, dignas de contar.

A Margarita Vázquez Campos. Su profesionalismo, dedicación y calidez humana no solo han marcado profundamente mi experiencia educativa, sino que también me han inspirado a aspirar a la excelencia tanto en lo personal como en lo profesional.

Ulteriormente, me gustaría expresar y reconocer la labor de mi tutor de TFG, *Antonio Manuel Liz Gutiérrez.* Su labor ha sido fundamental para la realización de este trabajo en un plazo tan breve de tiempo. Aceptar el reto de tutorizar un TFG en menos de un mes, con todo lo que ello implica, es un reflejo de su increíble dedicación y capacidad profesional. Su apoyo constante y su orientación precisa han sido invaluable, además ha sido mi pilar, siendo una figura casi paternal durante este tiempo, su cercanía y comprensión han hecho que este trabajo se convierta en una experiencia enriquecedora y motivadora. Por todo esto, he de agradecerle profundamente su gran disposición y compromiso, por ello, espero que mi trabajo llegue a reflejar la confianza que depositó en mí en un primer instante.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objetivo principal la exploración y análisis del debate sobre la realidad física a través de la confrontación entre las perspectivas atomistas y sus contrarias. En particular, las críticas están protagonizadas por autores que defienden una posición energetista, es decir, proponen una visión del universo en la que la energía es el principio fundamental y donde la materia se entiende en términos de procesos dinámicos y relaciones interconectadas.

En el apartado 1 (antecedentes) se abordarán los antecedentes históricos y filosóficos del atomismo, desde la antigua Grecia hasta llegar al S. XVII que se ha dividido en dos subapartados. Primeramente, se desarrollarán las ideas de Pierre Gassendi, Robert Boyle y Gottfried Wilhelm Leibniz, y se proseguirá con Isaac Newton y John Dalton. Con ello, se mostrará cómo estas teorías sobre los átomos y la materia han evolucionado desde sus formulaciones iniciales hasta llegar a los marcos teóricos científicos del S. XIX. Luego, en el apartado 2 (Estado actual) se explicarán los argumentos del debate entre los atomistas y aquellos que defienden un enfoque contrario, conocidos como energetista, en concreto, los autores críticos escogidos son Wilhelm Ostwald, Ernst Mach y Pierre Duhem. A continuación, se profundizará en las pruebas empíricas que apoyan o cuestionan cada tesis, y las interpretaciones filosóficas que estos resultados científicos suscitan. Así, al final de este punto, se hará hincapié en los avances recientes en física, especialmente en la física cuántica y la teoría de campos, que han desafiado y redefinido los principios fundamentales de la ciencia. Después, en el apartado 3 (Discusión y posicionamiento), se realizará una exploración de cómo éstos avances científicos están posiblemente validando más el modelo energetista o, al menos, complicando el panorama tradicional atomista a través de dos autores contemporáneos fundamentales Jonathan Schaffer y Sabine Hossenfelder. Seguidamente, se explorará cómo la ciencia está intrínsecamente unida a los supuestos filosóficos sobre la naturaleza de la realidad.

En el apartado 4 (Conclusión y vías abiertas), serán expuestas las posibles vías abiertas para futuras investigaciones y, además, se enmarcará el papel de la metafísica. Específicamente, se utilizará el planteamiento de Schaffer al cuestionarse si la realidad tiene o no un nivel fundamental y, con ello, exponer varios argumentos acerca de la cuestión sobre si interpretar la ciencia de manera realista o de una forma instrumentalista.

1. ANTECEDENTES: ATOMISMO MECANICISTA

El propósito de este apartado es desglosar el comienzo de las teorías atomistas a través de autores de la Grecia clásica, y cómo esta visión atomista hizo que ciertos filósofos y científicos se plantearon aspectos sobre la independencia, indivisibilidad y permanencia de los componentes fundamentales de la materia. Luego, se hará un salto en la historia para llegar al S.XVII y mostrar los descubrimientos y razonamientos que se propusieron en las distintas transiciones de los modelos atómicos desde el S. XVIII hasta el S. XIX (DIÉGUEZ, 1995: 49-65), personajes que evidenciaron hechos científicos que se asocian con la revolución científica atomista.

A) ANTIGUA GRECIA

En los siglos VIII a.C. hasta el siglo I a.C., la filosofía estuvo enfocada en estudiar la naturaleza del universo, en concreto, los griegos buscaban comprender la naturaleza y sus cambios de una forma clara, empleando un enfoque novedoso que prescindió de los mitos tradicionales griegos (historia y leyendas que explicaban el origen del universo o eventos de la humanidad). Así, a través de esta actividad, comenzó lo que hoy se reconoce como pensamiento científico.

Primeramente, Anaxágoras de Clazomene (500-428 a.C.) argumentaba que la materia estaba compuesta por minúsculas y homogéneas piezas, no visibles para el ojo, lo que implicaba que el conocimiento sobre la materia era finito, ya que se conseguía llegar a un nivel fundamental originario. En base a esta concepción de la materia se desarrolló la visión atomista (aunque aún no se denominara como tal) donde varios autores concordaban en que, en su mayoría, todo estaba formado por minúsculas partes indivisibles. Posteriormente, tanto Leucipo como su discípulo Demócrito de Abdera, a mediados del S. V a.C. y principios del IV. a.C., prosiguieron con esta idea de que todo estaba compuesto por partes pequeñas, eternas e inalterables que se movían en el vacío, y que, también, eran indivisibles, pues así definían y categorizaban a lo que llamaban como átomo. Asimismo, creían que lo que percibimos es debido a que hay una especie de espectros (átomos más finos) que son intrínsecos a los sentidos (MARIÁS, 1970). Además, éstos se combinan de diversas maneras para formar todos los objetos y fenómenos del mundo físico, en concreto, debido a la suma, separación o

distribución de los átomos se producían diferentes transformaciones en los cuerpos, las cuales debían de ocurrir mecánicamente y siguiendo ciertas leyes naturales.

Por otro lado, y siguiendo la línea más epistemológica, también se defendió que la materia era continua, es decir, infinitamente divisible y compuesta por diversos elementos. Así, esta idea fue amparada desde la visión de Empédocles y Aristóteles, no obstante, nos centraremos en Aristóteles por ser el que más influencia tuvo durante milenios. Inicialmente, Aristóteles (384 a.C. - 322 a.C.) rechazó la teoría atomista propuesta por Leucipo (S. V a.C.), y desarrollada por Demócrito, argumentando que la idea de átomos indivisibles e inmutables era incompatible con su concepción de la naturaleza en la que la materia se basa en su teoría de las cuatro causas: (1) causa material, sustancia con la que está hecho de un objeto, (2) causa formal, que sería la forma o esencia que determina cómo es algo, (3) causa eficiente: el agente o proceso que produce el cambio, y (4) causa final: el propósito o fin para el cual se realiza el cambio; y los cuatro elementos donde la interacción de estos elementos se explicaba a través de sus cualidades fundamentales: caliente, frío, seco y húmedo. Asimismo, según Aristóteles, el conocimiento se construye a través de un proceso de abstracción, que se sintetiza con una propiedad universal y necesaria (SOLÍS y SELLÉS, 2022: 97). Por lo tanto, las teorías formuladas debían coincidir con los hechos empíricos que se estaban examinando de la naturaleza objetiva.

En segundo lugar, Aristóteles siguió con su crítica negando la existencia del vacío (lugar donde los átomos operan como bloques de construcción fundamental e indivisible) que habían argumentado autores anteriores. En parte, esta negación es debido a su concepción de la naturaleza como algo continuo y pleno, sin espacios vacíos, pues éste, según Aristóteles, está siempre ocupado por alguna forma de materia. Argumentó que el movimiento y el cambio en la materia se deben a la potencialidad de la materia para adquirir nuevas formas, en lugar de la reorganización de átomos. Además, Aristóteles argumentó que el vacío es igual a la nada absoluta, así, reincide en su oposición al atomismo ya que si entendemos el vacío de esta forma, no sería posible concebir átomos en ese vacío. Sin embargo, a medida que avanzó la ciencia durante los siguientes siglos, se desarrolló una comprensión más precisa de la naturaleza donde las ideas aristotélicas fueron desafiadas y reemplazadas por nuevos enfoques, que ayudaron a sentar las bases para la aceptación de la teoría atómica y la noción de un vacío en la física moderna.

En definitiva, las reflexiones filosóficas de los autores de la Antigua Grecia se impusieron posteriormente durante casi dos mil años, dejando la teoría atomista marginada, y quedándose la teoría de los cuatro elementos donde sólo hay cuatro tipos de materia. Sin embargo, la teoría atomista no fue desterrada completamente gracias al trabajo de Epicuro de Samos (341-270 a.C.) al defender desde su famoso jardín, escuela filosófica creada por él, donde trató este tema de la existencia de los átomos. Así, el atomismo sobrevivió silenciosamente hasta en la literatura romana, donde Lucrecio Caro (1999, II 510) escribió un poema didáctico que divulgó sobre el atomismo. En este poema se indaga sobre lo que otorga la capacidad de percibir con los sentidos, es decir, cómo se conceptualizan los cuerpos a través de su tamaño, la forma, la sutileza de los átomos y su disposición:

“¿Qué diferencia habrá de un cuerpo grande
al cuerpo más pequeño? Suponiendo
que el todo es infinito, sin embargo,
de partes infinitas igualmente
se compondrán los **átomos** más breves:
más como la razón no lo comprenda,
convencido es preciso que confíes
que los simples corpúsculos terminan
la división y solidez eterna.”

(LUCRECIO CARO, *De rerum natura*, 1999, VI, Libro II, 780)

B) TRANSICIÓN DE LOS MODELOS ATÓMICOS (S. XVII - S. XIX)

De partida, los que estudiaban la realidad se encontraban ante una amplia diversidad de fenómenos y, aumentada por el creciente número de experimentos, fue complicado establecer regularidades, por lo que la filosofía mecánica buscó reducir todas las experiencias de la naturaleza a una ontología de corpúsculos en movimiento, pues sin este modelo de comportamiento no hay predicción, sino una explicación ilustrada mediante el experimento. En otras palabras, con el origen de la ciencia moderna, el atomismo pasó a ser un recurso explicativo general y fundamental en una nueva ciencia, y dejó de ser un asunto filosófico. Por ello, en el presente apartado, se verán las contribuciones al atomismo y el desarrollo de esta teoría en el S.XVII hasta el S.XIX. El recorrido se realizará a través de: Gassendi, Boyle,

Leibniz, Newton y Dalton, quienes encabezaron la hipótesis atómica, caracterizada por ser una reconstrucción entre dos perspectivas: una basada en la física cualitativa aristotélica y la otra en el atomismo mecanicista, influenciado por el atomismo mecanicista de Descartes (HIGUERAS, 2013: 1).

En primer lugar, cabe resaltar a Pierre Gassendi (1592-1655), filósofo y científico francés, un pensador relevante al recuperar ciertas antiguas teorías epicúreas. Se alzó como uno de los precursores de la revitalización del atomismo (inspirado en Epicuro) en la Europa renacentista. Y aunque, Gassendi no aportase nada original desde el punto de vista experimental (KOYRÉ, 1995: 306-307), bien es cierto que en *Las Exercitationes* (aunque fue publicada de forma incompleta) remarca los elementos de la materia, los átomos. Además, en esta obra, Gassendi tuvo como principal objetivo la polémica filosófica aristotélica-escolástica que todavía se empleaba en la academia. A tales instancias, Gassendi opta por el materialismo atomista y lo desarrolla en la versión definitiva ubicada en *Syntagma philosophicum*. Aquí reintrodujo y propugnó la noción de átomos, haciendo correcciones y adaptándolas con el fin de tener una mayor compatibilidad con la filosofía cristiana de la época. Tras esto, asentó las bases para una nueva ola de exploración en el campo de la física y la metafísica. Prosiguiendo, Gassendi explica varias razones por las que elegir la hipótesis atomista (capítulos I-V) e indaga hasta clasificar tres propiedades en los átomos: tamaño, figura y peso o gravedad. Las dos primeras (tamaño y figura) son influencia de Demócrito, y la siguiente (peso o gravedad) debido a una forma concreta de comprender a Epicuro. En otras palabras, Gassendi argumentó que los átomos se componen de diferentes texturas y están en constante movimiento en tanto que tienen un carácter geométrico mecánico. En base a esto, Gassendi reincide en que los átomos se pueden entender como diminutas bolitas que se mueven y chocan entre sí, y cuando se juntan en ciertas formas y patrones, crean las cosas que vemos a nuestro alrededor.

Por otro lado, Gassendi afirma que el movimiento y la fuerza (causa del anterior) proceden de Dios y, por lo tanto, propuso una teoría donde combinaba el vacío y los átomos con la necesidad de una “intervención divina” para explicar el movimiento y las conexiones causales de los átomos. Luego, este movimiento continuo es posible porque en todos los cuerpos hay presentes varios tipos de vacíos: (1) *Vacuum separatum o infinitum*, vacío fuera del mundo, un espacio absoluto e infinito que ha sido creado por Dios y, aunque no hubiese cuerpo en este vacío, sí es menester la existencia de espacio y tiempo pues, para Gassendi, son entes reales y no de razón. Por otra parte, está el (2) *Vacuum disseminatum*, pequeños

espacios de vacíos repartidos entre los que los átomos se pueden mover. Gassendi ejemplifica esto con un montón de granos de arena, aquí los pequeños espacios se dan debido a la proporción de lo que denomina como *vacuola*, átomos. Por último, el (3) *Vacuum coacervatum*, un espacio creado y, en consecuencia, el más artificial.

En síntesis, a partir de esta observación, todo lo que desarrolla Gassendi respecto al tema sobre el vacío ejerció considerablemente influencia sobre la concepción de los átomos, en específico, sobre la disposición y estructura de la materia. No obstante, el atomismo de Gassendi estuvo desvinculado de las teorías acerca de la organización de la materia porque, según Antonio Diéguez (1995: 51), “era demasiado filosófico, mientras que los trabajos de Boyle, Leibniz y Newton intentaron por primera vez que la hipótesis atómica jugase, a través de la experimentación, un papel relevante en la explicación científica del mundo”. En primera instancia, Robert Boyle (1627-1691) se posicionó en medio del atomismo griego y la filosofía corpuscular cartesiana y baconiana. No obstante, Boyle no desarrolló una teoría atómica completa por sí mismo, sino que sí se preocupó en su obra *El químico escéptico* (1661) (donde se menciona por primera vez la palabra ‘química’ en la historia) por la estructura de los átomos y sobretodo por cómo interactuaban entre sí para formar compuestos químicos. A partir de este nivel molecular, Boyle argumenta que la concepción atomista evoluciona a una perspectiva química y, en virtud de esto, dio un espaldarazo a la teoría atómica con cuestiones puramente científicas. En concreto, en sus trabajos experimentales, al estudiar los gases, halló una relación inversa entre el volumen y la presión, que se puede entender mediante el uso de la teoría atómica (MASON, 1996).

En segundo lugar, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), matemático y filósofo alemán, mantuvo una línea de pensamiento ligada a la composición última de la materia atomista, de la que había aprendido mucho de las tradiciones aristotélicas, escolástica y platónica, que le habían llevado a elaborar una sorprendente idea metafísica, destinada a responder lo que él percibía como una pregunta fundamental: ¿Qué existe? ¿qué hay allí? Esto es, para Leibniz, una de las claves de la auténtica filosofía. A través de la noción de sustancia escribió que “la vida consiste en sustancias sencillas, entidades individuales que, acuñando un término derivado del prefijo griego *mono* (uno), llamó mónadas” (GRAYLING, 2021: 318). Luego, “la mónada no es una substancia simple, que entra a formar los compuestos, pues simple quiere decir sin partes.” (LEIBNIZ, 1713-1715: §1), son indivisibles, inextensas, y no interactúan físicamente entre sí, sino que cada una sigue un programa preestablecido por Dios en una armonía preestablecida. Según Leibniz, las mónadas son "ventanas sin ventanas", lo

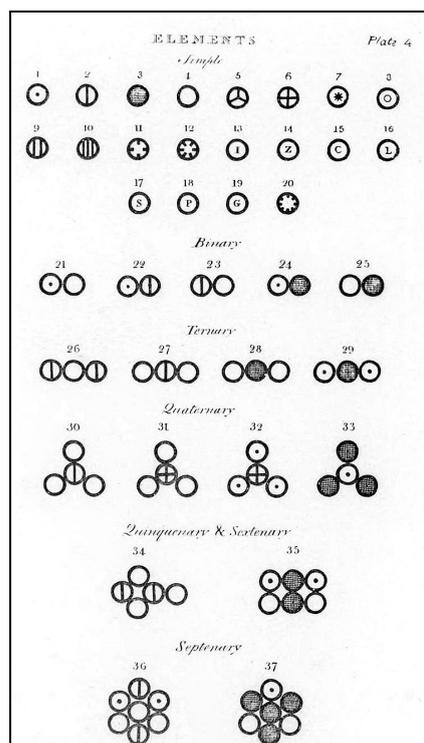
que significa que no tienen interacción física con otras mónadas, sino que reflejan el universo entero de una manera que está en sintonía con todas las demás. Aquí hay una analogía con Lady Anne Conway (1631-1679), quien propuso una visión metafísica que también incluye entidades fundamentales e indivisibles, pero su acercamiento es notablemente diferente. En su obra principal, *The Principles of the Most Ancient and Modern Philosophy* (1690) analiza el espíritu y su origen, argumenta contra la dualidad de mente y cuerpo de Descartes, y propone, en cambio, que todo en el universo está compuesto de una única sustancia que puede manifestarse como espíritu o materia, siendo capaz de cambiar y transformarse, y todo está conectado en una jerarquía que es dinámica y no estática. Ahora bien, a diferencia de las mónadas de Leibniz, en el sistema de Conway existe algo llamado “criaturas”, sustancias que están interconectadas y son capaces de afectarse mutuamente, y hay una forma de “vida” o fuerza vital que permea todo. Luego, Conway ve un universo más fluido y conectado donde todo está vivo y en transformación continua, mientras que Leibniz ve un universo de mónadas cerradas, programadas y sincronizadas por un orden divino (LEIBNIZ, 1713-1715: §2-8). Además, las mónadas no se encuentran en el espacio, las propiedades que las distinguen unas de otras no incluyen su localización espacial, son las percepciones, estados mentales, lo que sí las individualizan. Esta afirmación es importante para contrastarla posteriormente con la filosofía kantiana, quien argumenta que el espacio no es una característica empírica de las cosas en sí mismas, sino una intuición *a priori* necesaria para organizar nuestras percepciones. Entonces, se podría dilucidar que Kant rechazaría la idea de Leibniz. Aún así, volviendo a la argumentación que expone Leibniz, no se trata de percepciones conscientes; sólo las almas racionales que poseen percepciones conscientes, a las que Leibniz llama ‘apercepciones’, es decir, las mónadas cobran existencia o la pierden tan solo por un acto explícito de creación o aniquilación de Dios. Entonces, las mónadas tienen que ser diferentes unas de otras pues, de esta forma, éstas se agrupan con otras para generar unas nuevas (LEIBNIZ, 1713-1715: §9). Por lo tanto, al comprender las mónadas como lo que se entiende ahora como átomos, Leibniz sirve como pilar argumentativo a la hora de dar cuenta que los átomos no son “indivisibles ni indestructibles; más bien al contrario, forman los cuerpos mediante la fusión, combinación y descomposición de unas en otras.” (HIGUERAS, 2013: 9). Así, estas características de las mónadas, al relacionarlas con la química, solucionan inquietudes epistémicas en las investigaciones químicas de la época que intentaban explicar los procesos químicos y físicos (sin llegar a ser reduccionistas): reacciones, fermentaciones, rarefacción, condensación o cristalización, entendido en términos de carácter químico.

Resumiendo, las teorías atomistas Gassendi, Boyle y Leibniz marcaron importantes puntos de inflexión en la evolución del pensamiento científico y filosófico sobre la naturaleza de la materia en los S. XVII y XVIII. Mientras Gassendi revivió la teoría de Epicuro, aunque la modificó defendiendo la presencia de partículas indivisibles en constante movimiento, Boyle contribuyó con su teoría corpuscular de la materia, respaldada por experimentos y observaciones que sugerían una composición discreta de la materia. En contraste, Leibniz propuso un enfoque más holístico, rechazando la idea de átomos materiales en favor de mónadas inmateriales que conformaban la esencia última de la realidad. En suma, todas estas perspectivas sentaron las bases para el conocimiento científico acerca de la estructura de la materia del S. XVIII, donde figuras como Newton y Dalton ampliaron y refinaron las ideas atomistas. En gran medida, los investigadores de esta época incidieron en cuestionarse sobre la composición de la materia, teniendo como punto de partida un denominador común: “la reducción de los fenómenos a una ontología microfísica basada bien en un *plenum* donde las interacciones se efectuaban por presión o contacto, bien en un vacío diversamente interpretado (...), dentro del cual la materia interactuaba a distancia mediante fuerzas de atracción y repulsión.” (SOLÍS y SELLES, 2022: 620). Por consiguiente, se da cuenta que la filosofía mecanicista buscaba reducir todos los fenómenos de lo sensible a una ontología de corpúsculos en movimiento basados, ahora sí, en las matemáticas con las que se desarrollaron las teorías corpusculares, quedando reflejado anteriormente en las obras de Gassendi y Boyle.

En un primer instante, aunque Isaac Newton (1642-1727) es más conocido por sus leyes de gravitación universal y de movimiento, también contribuyó al desarrollo del pensamiento atomista de corte epicúreo, en contraposición con Descartes. De este modo, en *Óptica* (1704) Newton extiende el programa iniciado en los *Principia*; donde las cuestiones que añadió al final de aquella recogían el proyecto global de Newton que cabría calificar de mecanicista y de materialista, con el que presentó dos concepciones distintas sobre la constitución de la materia: una primera etapa compuesta por átomos formados por combinaciones de diversas maneras en partículas y una gran extensión de vacío, lo que hacía que las interacciones mecánicas por impacto o presión fueran pocas, prevaleciendo la acción de las fuerzas. Más tarde introdujo la acción de un éter muy sutil que podría unir todas las interacciones entre los átomos (partículas con masa, indivisibles y homogéneas), con gravitación incluida, dentro de un espacio sujeto a atracciones y repulsiones donde estas fuerzas estaban para explicar una teoría de la materia coherente. Además, estas fuerzas sostendrían a los átomos separados entre sí y evitan que se solapen (lo que explicaría por qué la materia no se colapsa toda junta),

es más, en la medida en que los átomos se alejan, estas fuerzas pierden su efecto repulsivo. Un claro ejemplo está al manejar imanes, cuando se intentan unir dos lados que se repelen (- y -), se debe utilizar más fuerza, en cambio, cuando se alejan estos extremos se debilita la fuerza, es decir, la repulsión entre ellos llega a no existir. Ahora bien, la teoría sobre el éter fue posteriormente abandonada, sin embargo, algunos de sus contemporáneos y sucesores utilizaron esta idea para intentar explicar el mecanismo de la gravitación. A pesar de todo, la física experimental avanzó en términos generales hasta concebirse como una disciplina que se caracterizaba por el rechazo a los sistemas.

Posteriormente, en 1808, el científico inglés John Dalton (1766-1844) publicó la primera parte de su *New System of Chemical Philosophy (1808)*, propuso el primer modelo atómico, que surge en un contexto químico. Dalton trató de explicar la ordenación microscópica de la materia, ante esto, presentó una serie de postulados basados en sus experimentos. En primer lugar, afirma que la materia está compuesta por partículas (átomos) y que éstas son indivisibles -aún cuando se combinen en las reacciones químicas-, son indestructibles y no dinámicas. En segundo lugar, estas partículas son iguales entre sí, pues son de un mismo elemento y, además, tienen las mismas propiedades: peso y dimensión. No obstante, aquellas partículas que sí pudiesen llegar a ser de elementos diferentes, se podrían combinar para formar más de un compuesto. A continuación se presenta un esquema ilustrativo que utilizó Dalton (1808, *plate IV* : 218) en *New System of Chemical Philosophy*:



Por ende, el mérito de Dalton fue el darse cuenta que los elementos químicos están compuestos, como mínimo, de dos o más átomos de diferentes propiedades, en proporciones fijas. Es más, Dalton optó por aplicar una regla de simplicidad, donde la combinación debería suponerse del tipo más sencillo posible, es decir, si dos elementos formaban un compuesto, estarían formados como mínimo por un átomo de cada elemento. Así, las reacciones químicas sólo serán la separación o el reordenamiento de los átomos, y no supone en ningún caso la creación o la destrucción de los mismos.

C) CONCEPCIÓN ATOMISTA KANTIANA

Cabe resaltar necesariamente a Immanuel Kant (1724-1804), quien abordó cuestiones fundamentales sobre la naturaleza del conocimiento humano y los límites de la razón. Respecto a esto, en su revolucionario sistema crítico, Kant introduce la distinción entre el conocimiento empírico (derivado de la experiencia) y las condiciones *a priori*, las estructuras mentales preexistentes que hacen posible dicho conocimiento. En este marco, su concepción de la materia y la realidad toma un lugar central ya que, cuando Kant diferencia el mundo fenoménico (el mundo tal como lo percibimos) del *nouménico* (la realidad en sí misma, independiente de nuestra percepción), la materia, en este contexto, es un fenómeno ya que, en palabras de Kant, “la realidad en el espacio, es decir, la materia, es un condicionado” (KANT, *Crítica de la razón pura*, A413/B440). Con esto Kant afirma que la materia no es una entidad independiente que existe fuera de nuestras percepciones y capacidades cognitivas, sino que su existencia está determinada por la manera en la que nuestra mente estructura la experiencia, por tanto, la materia.

Para ilustrar esta tensión, Kant presenta lo que él llama antinomias. Cuando la razón intenta extenderse más allá de los límites de la experiencia es donde Kant encuentra paradojas, en concreto, utiliza estas afirmaciones aparentemente contradictorias entre sí para reflejar la tensión de la intuición de que la materia puede ser dividida infinitamente, y la necesidad de reconocer unidades fundamentales indivisibles. Así, en su segunda antinomia dice:

“TESIS: toda sustancia compuesta consta de partes simples y no existe más que lo simple o lo compuesto de lo simple en el mundo.

ANTÍTESIS: ninguna cosa compuesta consta de partes simples y no existe nada simple del mundo” (KANT, *Crítica de la razón pura*, A434/B462).

Luego, la segunda antinomia kantiana lleva a considerar dos perspectivas sobre la materia. Por un lado, la tesis sugiere que la materia está compuesta por partes simples, lo que implica una estructura atomista. Por otro lado, la antítesis sostiene que la materia es infinitamente divisible y que no existen partes simples. En consecuencia, Kant resuelve esta contradicción señalando que ambas afirmaciones son correctas dentro de sus marcos contextuales donde la tesis es válida dentro del dominio de la experiencia en la que los cuerpos se ven como compuestos de partes y, en contraposición, la antítesis tiene coherencia y validez cuando se considera la materia desde una visión racional, haciendo abstracción de la experiencia sensorial. A este respecto, la segunda antinomia contiene profundas implicaciones en la visión atomista, ya que Kant insta a recoger las concepciones sobre el átomo en tanto que “simple”, es decir, unidades básicas que no son susceptibles de una división infinita. Además, Kant no niega la existencia de átomos o partículas, pero sugiere que sí son constructos cognitivos y epistemológicos con los que se organiza la experiencia. Entonces, los átomos son útiles como conceptos científicos, pero no deben ser entendidos como realidades absolutas independientes de nuestra percepción y comprensión.

En síntesis, aunque Kant no desarrolló su filosofía con directa relación al atomismo, su trabajo ha tenido influencias significativas en el modo en que podemos entender diversas perspectivas científicas sobre la conceptualización y comprensión de la materia ya que, posteriormente, la concepción atomista influyó en el desarrollo de disciplinas científicas como la química y la física. Sin embargo, la concepción atomista no estuvo exenta de críticas, las cuales fueron protagonizadas por autores posteriores que cuestionaron tanto sus argumentos a favor del atomismo (directa o indirectamente) como la viabilidad y plausibilidad misma de la teoría (TYNDALL, 1874: 26).

2. ESTADO ACTUAL: TENSION ENTRE ATOMISTAS Y NO-ATOMISTAS

Una vez realizado un recorrido histórico sobre las visiones atomistas y sus críticas, este asunto acerca del atomismo y su papel en la ciencia se prolongó durante todo el S. XIX, no obstante, los científicos de la época se mostraron reacios ante la existencia de los átomos ya que, para algunos, seguía siendo una mera hipótesis no comprobada o incluso errónea. De hecho, fue en el último tercio del S. XIX cuando surgió con ímpetu una controversia entre los atomistas y los que se hacen llamar energetistas, éstos últimos aparecen como “una nueva forma de manifestación de la secular controversia entre las concepciones continua y discontinua de la naturaleza” (MORENO, 2006: 417) y, en suma, su crítica recae en que el atomismo es una línea de pensamiento nula por ser tendente a buscar una teoría holística sobre la estructura de la materia.

Consecuentemente, en las siguientes páginas de este apartado se revisarán y analizarán los argumentos de los energetistas más influyentes: Wilhelm Ostwald, Ernst Mach y Pierre Duhem. Luego, se proseguirá con la controversia atomismo-energetismo o, mejor dicho, atomismo-equivalentismo, para así hallar las diferencias entre los argumentos energetistas y los supuestos subyacentes de los defensores del atomismo mecanicista.

A) WILHELM OSTWALD

Wilhelm Ostwald (1853-1932) se convirtió en una de las voces más firmes al decir que la teoría atómica servía únicamente para salvar fenómenos. En primer lugar, Ostwald rechazó el concepto newtoniano de *fuera* al considerarlo como un concepto artificioso, irreal, en tanto que metafísico y carente de rango de magnitud observable. Debido a esto, cuestionó la idea misma de los átomos como unidades fundamentales e indivisibles de la materia, no son entidades observables en sí mismas, sino que son constructos teóricos que no pueden ser demostrados de manera directa mediante la experimentación. En segundo lugar, su rechazo al atomismo está estructurado en criticar su reduccionismo excesivo, que conlleva a una falta de completitud para explicar fenómenos naturales complejos y una concepción estática y simplista de la materia. Según Ostwald, el enfoque materialista de la ciencia, el cual consideraba a la materia como la entidad fundamental del universo, era insuficiente para explicar la variedad y complejidad de los fenómenos. Entonces, la materia no es el nivel fundamental epistémico ya que, en realidad, la materia sería un derivado de la energía y todo el mecanicismo se rinde ante la teoría de la termodinámica, y no al revés, ya que Ostwald

concebía que la termodinámica era portadora de virtudes como la “adecuación empírica, capacidad de unificar y clasificar hechos y leyes empíricas (de forma simple y ordenada) y, con capacidad explicativa en sentido fuerte” (ÁLVAREZ, 2022: 27). Especialmente, estas virtudes aplicadas a las leyes termodinámicas proporcionan una descripción más completa de los procesos naturales que el enfoque materialista. Además, con la termodinámica se manifestaba un valor medible y empírico en la pérdida y ganancia de calor, lo que proporcionaba una estabilidad química en las representaciones de las interacciones moleculares químicas. Así, para Ostwald, cuando el objeto de investigación era la energía (y sus transformaciones), se conseguía llegar a una comprensión más general de las leyes de afinidad. Por lo tanto, al defender la tradición energetista, Ostwald proclama la inutilidad del concepto de materia superando así el materialismo científico, debido a su reduccionismo y falta de dinamismo.

En resumen, Ostwald tuvo que descartar toda noción de materia y defender el energetismo como una ‘nueva ciencia’ con la que argumentaba que todos los procesos fenoménicos eran transformaciones de energía. No obstante, no sería correcto pensar que el energetismo al que se refirió Ostwald apareció exclusivamente como efecto de una actitud antiatomista, puesto que “si su única motivación hubiese sido desterrar la hipótesis atómica, habría sido, en efecto, un esfuerzo desproporcionado. Primero porque no se adelantaba mucho dejando de lado el concepto de materia junto con el de átomos, y segundo, porque la hipótesis atómica era aún bastante problemática y en general se le aceptaba sólo con reservas” (DIÉGUEZ, 1995: 59). En definitiva, detrás del energetismo habría más que una simple posición antiatomista, habría una visión fenomenista acerca de la investigación científica. Posteriormente, esto inspiró a Ernst Mach a dar un nuevo marco conceptual y teórico científico.

B) ERNST MACH

Desde una perspectiva filosófica, las contribuciones de Ernst Mach (1838-1916) fueron más articuladas e interesantes debido a su concepción del energetismo como estando al mismo estadio que el atomismo y, por otro lado, consideraba que el concepto de átomo era un recurso heurístico, didáctico y meramente hipotético. En su obra *Análisis de las sensaciones*, equipara al átomo con una función matemática pues, para Mach, el conocimiento científico se organizaba a través de abstracciones arbitrarias y alejadas de la realidad. En base a lo mencionado, la teoría atómica, para Mach, es un modelo matemático que simplifica la representación de diversas experiencias, ya que los átomos son un concepto o símbolo

empleado como atajo para catalogar un conjunto de sensaciones, pues no tenemos ni podemos tener experiencia directa de los átomos (debido a sus características). Sin embargo, según Mach, nada tiene entidad o realidad fuera de las sensaciones que conlleva, no existen sustancias, sólo conjunto de sensaciones y, por ello, los átomos, al igual que cualquier entidad sustancial, no son perceptibles por los sentidos (ÁLVAREZ, 2022: 16). Con esta premisa, Mach no se encierra tanto en argumentar si existen o no los átomos, aunque sí utiliza como premisa la existencia de la energía. Más bien, Mach se mostraba en contra del atomismo debido a que estaba a favor de una filosofía empirista radical donde afirma que las sensaciones son lo que realmente existe. Entonces, el objetivo de la ciencia, para Mach, sería atender a la supuesta regularidad en las relaciones entre sensaciones. Sin embargo, la mente humana no puede proporcionar un canon científico, por ello, se decanta por el concepto de energía “y su correspondiente ley de conservación para dar cuenta de cualquier efecto, estático o dinámico, que se produzca en la naturaleza, lo que apoya su negativa del atomismo en la imposibilidad de “ver” los átomos” (MORENO, 2006: 417).

Por otro lado, si se analiza, recuerda en muchos aspectos a Kant, quien también escribió sobre los átomos como ya se mencionó apartados atrás. Kant tiene un enfoque epistemológico sobre la naturaleza del conocimiento humano y los límites de la razón, mientras que Mach se centra en la naturaleza de las sensaciones y la percepción. Así, esta relación entre autores que se propone tiene como fin dilucidar la influencia kantiana respecto a la concepción epistemológica sobre la realidad por parte del sujeto, no en tanto sobre si existen o no los átomos. Si bien el enfoque epistemológico por parte de Kant y Mach es parecido, parten de premisas y llegan a conclusiones algo diferentes. Mientras que en Kant los átomos podrían ser considerados como *noúmenos* -en el sentido de que son constructos teóricos útiles para explicar fenómenos observables pero no son directamente perceptibles-, para Mach los átomos no tienen una existencia independiente fuera de su utilidad, más que para explicar las observaciones, son simplemente símbolos o herramientas para organizar nuestras sensaciones y experiencias. Por lo tanto, todo lo que se conoce sobre la materia es, para Mach, un conjunto de sensaciones interrelacionadas, y no hay nada más allá de eso, ya que la conceptualización es subjetiva. Principalmente, es una cuestión cognitiva que explica la estructura y la clasificación de la materia por parte del sujeto, pero esta concepción no concluye en algo más fundamental o elemental.

Años más tarde, en base a las evidencias de los experimentos de principios del S.XX, Ernst Mach cambió su postura respecto a la hipótesis atómica. Aún así, continuó su crítica sobre el

quehacer científico al creer que éste era económico al “sustituir o *ahorrar* la experiencia mediante imágenes y representaciones mentales de los hechos, imágenes que son más fáciles de manejar que la experiencia misma y que bajo muchos aspectos la pueden sustituir” (MACH, 1997: 399). No obstante, si la hipótesis atómica cumplía adecuadamente “era algo que para Mach estaba aún por verse y sobre lo cual osciló a lo largo de su vida. (...) Y, en efecto, mientras otros cambiaron de opinión a partir de 1905, Mach no aceptó jamás la existencia de los átomos. Siempre pensó que la función de esta hipótesis, como la de otras, era meramente instrumental” (DIÉGUEZ, 199: 62).

C) PIERRE DUHEM

Si bien comparte aspectos con Mach al realizar una crítica directa al atomismo desde una posición instrumentalista, Pierre Duhem (1861-1916) sostiene que el atomismo no es demostrable ni plausible debido a diversos problemas que presenta. Por ello, utiliza el energetismo desde una posición mesurada bajo toda la física, y especialmente como subordinación a la termodinámica y el mecanicismo. Luego, la cuestión recae en evaluar la hipótesis atómica y elegir la más cómoda y eficiente para interpretar los hechos: “la ciencia contiene tentativas de explicación basadas en el atomismo (...) como esfuerzos del espíritu que quiere imaginar lo que sólo debe ser concebido; las verá renaciendo sin cesar, pero siempre condenadas al fracaso” (DUHEM, 1989: 461- 462).

A continuación, Duhem expone el concepto de ‘combinación química’ para mostrar que éste se puede entender al margen de referencia a los átomos y, por ello, la interpretación atomista resulta prescindible por no ser demostrable empíricamente ya que ninguna teoría o hipótesis es puesta a prueba. Luego, en *La teoría física: su objeto y estructura (1906)* aborda el concepto de ‘combinación química’ desde una visión centrada en la termodinámica y el enfoque energetista. Así, define ‘combinación química’ como: un proceso mediante el cual dos o más sustancias se unen para formar una nueva sustancia, la cual tendrá propiedades distintas de las sustancias originales. Este proceso no es considerado como algo meramente físico, sino, para Duhem, es una transformación que explica cambios profundos en la estructura interna y en las energías de las sustancias involucradas. Por lo tanto, este nuevo conjunto de propiedades sugiere que el compartimiento de las combinaciones químicas implique una reestructuración fundamental a nivel molecular o atómico. Debido a esta argumentación, Duhem se centró en la practicidad de la termodinámica sobre el terreno de la

química, puesto que la termodinámica era una opción tangible para explicar las reacciones químicas sin acudir a la teoría atómica. Consecuentemente, Duhem defiende la termodinámica como fundamento de la física, y además, argumenta que ésta estaba más cercana a Aristóteles que a Descartes y a Newton. Además, Duhem considera que la tarea de la ciencia está en las propiedades objetivas de las cosas, y no en realizar afirmaciones ontológicas, ya que esto correspondía a la metafísica, la cual se vuelve privilegiada en tanto que trata temas donde la ciencia no puede decir nada. En consecuencia, el valor de la ciencia recae en plantear una alta cantidad de leyes simples (con pocos principios) que tengan como objetivo explicar los fenómenos de forma sencilla, completa y exacta dentro de las leyes experimentales. En base a esto, se puede inferir en que Duhem estaría acorde con Mach en cuanto que ambos defienden una simpleza epistemológica para regir la ciencia.

Por otro lado, estas leyes que nombra Duhem hacen mención a los experimentos cruciales que permiten dilucidar entre dos o más teorías, estas leyes cuestionan cuál tiene mayor poder explicativo; sin embargo, cuando un experimento u observación tiene unos datos negativos (o erróneos) siempre puede recriminarse de forma *ad hoc* esos resultados, haciendo mención a circunstancias o enunciados no principales que se quieren probar (ÁLVAREZ, 2022: 20). De este modo, los investigadores salvan sus hipótesis o teorías de posibles resultados insatisfactorios. Ahora bien, según Duhem no somos capaces de comprobar que una teoría sea una clasificación natural, como se evidencia del estudio de los métodos -limitados por los datos de observación- con los que se utilizan para desarrollar teorías. Dicho de otra forma, Duhem argumentó que las teorías científicas no pueden ser evaluadas únicamente por su capacidad para explicar fenómenos individuales, sino que deben ser analizadas dentro de un marco más amplio de coherencia teórica. Por ello, Duhem, con su perspectiva holística y su enfoque en la coherencia sistemática de las teorías científicas, ofreció esta visión complementaria y necesaria donde la figura del físico concibe las teorías explicativas como una representación conceptual dentro de un marco científico y crítico.

Por otra parte, resumiendo todo este punto 3 del TFG, debido a que estos tres autores, Ostwald, Mach y Duhem, se posicionaron acorde a la teoría energetista, de la cual se deduce una comprensión sobre la teoría atomista como una prueba de prudencia metodológica, no comprobada ni confirmada, se enfrentó a numerosas dificultades. Sin lugar a dudas, este enfrentamiento entre los defensores del atomismo y sus críticos se puede esquematizar en dos tendencias a la hora de entender el concepto de energía: como propiedad (atomismo) y como sustancia (energetismo). En líneas generales, los átomos han sido entendidos como bloques

constructivos fundamentales de la materia, ganando esta aceptación, pero aún existían dudas, especialmente entre los energetistas, sobre si los átomos eran reales o simplemente constructos. Sus argumentos defendían que la energía es la fuente de toda la materia y los cambios químicos son, en realidad, transformaciones de energía dentro de un sistema dinámico y continuo, donde las interacciones energéticas son la norma, es decir, esta interconexión de fenómenos es una visión holística que resalta la importancia de comprender la conexión entre los diferentes fenómenos y sistemas.

No obstante, aunque el modelo atómico se usase para hacer ciencia, la polémica desencadenó en que muchos científicos dudaban de su existencia real, pues una cosa es que funcione como modelo y otra que sea plausible. El asunto se volvió aún más problemático cuando el atomismo dejó de ser una mera herramienta para la química y comenzó a impregnarse sobre la disciplina de la física. Sin embargo, este planteamiento de finales del S. XIX en torno al propio ser de la física (MORENO, 2006: 418) no es más que una consecuencia del debate en torno a cuál es objetivo de la misma y los límites de los modelos físicos planteados.

D) NUEVA CONCEPCIÓN DE LA REALIDAD

Tras desarrollar este debate entre atomistas y no-atomistas, se requiere mencionar el movimiento browniano, un fenómeno observado en 1827 pero que no fue hasta años después que se comprendió plenamente la causa subyacente de este movimiento aleatorio de partículas microscópicas que están suspendidas en un fluido (líquido o gas). En este caso, cuando sucede una colisión de partículas interactúan entre sí y tienden a que sea un evento continuo, es decir, la energía se traspa, en tanto que una partícula la pierde y otra la gana. Esta idea se denominará posteriormente como conservación de la energía, una constante que conllevaría a lo que se conoce como que la energía no se crea ni se destruye, se transforma. Esta misma afirmación también se aplicó a la materia con la ley de conservación de la materia, propuesta por Antoine Lavoisier, quien en su experimento demostró que no había pérdida de masa durante la combustión del mercurio y la formación del óxido de mercurio, refutando la teoría del flogisto y, en segundo lugar, propuso que la combustión involucraba la combinación de sustancias con el oxígeno. Así, demostró que no hay cambio observable en la cantidad de materia durante una reacción química o cambio físico. Por lo tanto, la similitud de estas dos leyes no es pura coincidencia, ya que en las reacciones nucleares los científicos empezaron a dar cuenta que la energía se podía pasar a materia y viceversa. Esta relación está presente en la ecuación de Einstein $E = mc^2$ (la energía es igual a la masa por velocidad

de la luz al cuadrado); una fórmula que explica la existencia de una relación directa entre la materia y la energía. En síntesis, la ley de conservación de la masa y la energía se entienden como una cantidad combinada que permanece constante en el universo. Por otra parte, estas leyes son subyacentes para una nueva comprensión de la física ya que, por ejemplo, en las interacciones entre partículas la energía total antes y después de la interacción debe ser igual, y lo mismo se aplica a la materia cuando se consideran las masas involucradas.

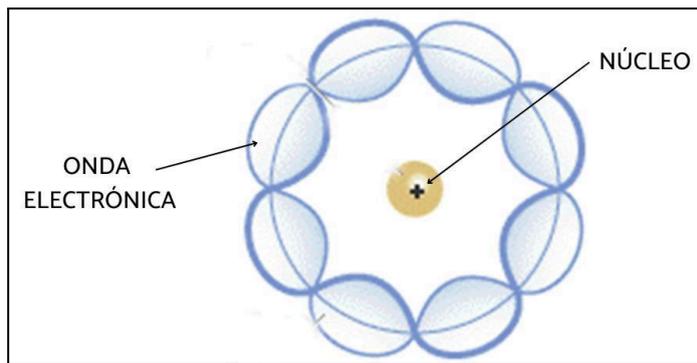
Posteriormente, en el siglo XIX, aparece un nuevo enfoque debido al cuestionamiento de la realidad física que impulsó la exploración de teorías alternativas que pudiesen abarcar fenómenos no explicados por el modelo mecánico tradicional (SANTAOLALLA, 2017: 98). En concreto, en 1900 se usó por primera vez el término ‘cuánto’ en el libro *La teoría de la radiación de calor* de Max Planck, quien detalla una manifestación física que se denominaba ‘catástrofe ultravioleta’. En su experimento sobre la radiación de un cuerpo negro, trató de ver la emisión del calor que aparece cuando calentamos un cuerpo sólido, ya que si ponemos un hierro al fuego y lo quitamos sigue emitiendo calor, esto es, emitiendo radiación electromagnética. Incluso, si seguimos calentando el hierro puede ponerse de color rojo o de color blanco (y seguir emitiendo radiación), es decir, llega un punto en el que a cierta temperatura emite luz. Ahora bien, si se intenta explicar esto a través de la física clásica, se supondría que con una mayor generación de calor también debería incrementarse la radiación de luz, pero si se observa detenidamente esta tesis resulta incorrecta o, mejor dicho, discrepante. Ante este problema, Planck propuso que la energía se libera en unidades discretas, múltiplos de una constante, de este modo, la emisión de energía es finita y los resultados concuerdan a la perfección con los experimentos. El mérito revolucionario de Planck es la introducción del cuanto de acción (h) y que sea equiparable a paquetes de energía. Entonces, este concepto de energía (y sus unidades discretas de la misma) revolucionó la comprensión de la física clásica al considerarla como cuantizada y no continua. Además, allanó el camino para aceptar posteriormente la dualidad partícula-onda y la idea de cuantización de la energía. Sin embargo, el cómo y el porqué de la emisión de esta radiación quedaba fuera del alcance de la teoría.

Posteriormente, en 1905, Albert Einstein (1879-1955) usó el concepto ‘paquete de energía’ para solucionar una cuestión sin resolver aún en la física, donde no se comprendían los resultados del experimento denominado ‘efecto fotoeléctrico’

“De hecho, ahora me parece que las observaciones de la "radiación de cuerpo negro", fotoluminiscencia, producción de rayos catódicos por luz ultravioleta y otros grupos de fenómenos concernientes a la emisión y transformación de la luz aparecen más comprensibles bajo el supuesto de que la energía de la luz está distribuida discontinuamente en el espacio. De acuerdo con el supuesto que contemplamos aquí, en la propagación de un rayo de luz que sale de un punto la energía no está distribuida continuamente en un espacio que se vuelve más y más grande, sino que ésta consiste en un número finito de cuantos de energía localizados en puntos del espacio, los cuales se mueven sin dividirse, y sólo pueden ser absorbidos o generados como un todo. (EINSTEIN, 1905: 133)

Por lo tanto, Einstein realiza un experimento donde una placa de metal cargada es iluminada. En este fenómeno los electrones son liberados de un material cuando es iluminado por luz y, con ello, es el primero que sabe interpretar y aplicar concretamente la constante de Planck (CASSINI y LEVINÁS, 2008). Entonces, la energía de luz consigue que algunos electrones obtengan la energía necesaria para realizar ese salto, generando así una corriente. No obstante, el problema es que con la teoría ondulatoria sobre la luz aún no se conseguía explicar lo que sucedía, y parecía ser que la energía de los electrones dependería de su frecuencia. Por ende, Einstein supone que la luz es un flujo de partículas, con ello, el comportamiento de la luz es dual, por lo que depende del experimento se estudiará la luz utilizando las propiedades de onda o de partícula.

Ulteriormente, Erwin Schrödinger (1887-1961) propuso una teoría ondulatoria de la materia, para ello utilizó su última creación matemática de vanguardia con la que resolvió casi todas las objeciones anteriores. Si bien sí retomó la idea de que los electrones están alrededor del núcleo, especificó que ésta órbita es posible de forma cuántica debido a que los electrones están sujetos a reglas que no estamos acostumbrados. Entonces, para solucionar esto, arquetipa un esquema con el que ilustra el nivel de energía de las órbitas del interior de un átomo, donde la energía es menor que en el exterior. Además, cuando un electrón pasa de una órbita a otra necesita absorber un ‘cuánto de energía’, o sea, un fotón. En cambio, cuando pasa de la órbita exterior a la interior, devuelve el ‘cuánto de energía’, un comportamiento denominado salto cuántico (SOLÍS y SELLÉS, 2022: 1015).



* Imagen cedida por T-MAGAZINE (2014)

Con esto, se da pie a una comprensión diferente de la materia, a través de reglas y leyes ubicadas en la mecánica cuántica, donde una de las grandes diferencias entre el mundo físico que experimentamos y el cuántico es la indeterminación, es decir, los objetos cuánticos (ej. electrones) no tienen por qué estar ubicados en un espacio y tiempo concreto, o incluso moverse en una medida exacta. Este último concepto sobre la indeterminación -cuántica- supone un cambio radical: la renuncia a la descripción de los fenómenos atómicos en términos clásicos a través de la “función de onda y, dicho técnicamente, orbital” (BARBERO, 2018: 60), es una especie de nube en la que se ubican los electrones (vistos como puntos minúsculos) que permite reflejar el grado de indeterminación en la posición que tiene el electrón. Es decir, facilita saber dónde puede estar el electrón usando la probabilidad, con la que se ve forzada a definir su posición. Por lo tanto, Schrodinger presenta una concepción cuántica de la materia a través de su ecuación, con la que describió el comportamiento de las partículas subatómicas en términos de ondas de probabilidad, aunque sólo era válido para bajas energías. Esto lo mejoró Paul Dirac (1902-1984) quien, en 1928, intentó explicar los fenómenos más extremos de la naturaleza con una teoría general de la mecánica cuántica relativa, que incorporaba matrices y ondas en un único esquema: la llamada ‘teoría de transformación’. En ella, se argumentaba que si se cogían los conceptos de campos clásicos y se transformaban las magnitudes en operadores cuánticos, al hacerlo, éstos se convierten en operadores de creación y destrucción de partículas en el vacío, es decir, con las colisiones de partículas se llega a una nueva definición de vacío que, por desgracia, aún queda por resolver. Luego, cuando se comprenda la noción de vacío se dará respuesta a muchas cuestiones sobre la materia, pues cuando se elimina todo y se analiza esa especie de cubículo “en el que no hay nada”, en realidad, siempre hay un elemento que no se puede quitar: los campos cuánticos. El vacío está lleno de campos cuánticos que, de algún modo, se pueden conectar con la energía oscura (visto desde la cosmología), pero la teoría cuántica falla catastróficamente al estudiar

este vacío. El gran problema es conectar este vacío con las partículas subatómicas, la estructura misma de la materia, por lo que no se debe comprender las partículas como algo individual, sino que se debe tomar a consideración a los campos que las rodean, es decir, estudiar cómo las partículas surgen de fluctuaciones en los campos cuánticos que impregnan todo el espacio.

Seguidamente, una de las mayores aportaciones de la teoría de los campos cuánticos (TQC) fue capturar toda la física de las interacciones eléctricas y magnéticas, es decir, la forma en la que se comprenden las fuerzas, en sólo cuatro ecuaciones. Además, como se ha mencionado anteriormente, la teoría newtoniana comprendía que las fuerzas entre dos partículas se transmitía de forma instantánea, pero la teoría de la relatividad puso una barrera a ese proceso operando por medio de campos que se propagan a velocidad finita (ILLAMA, 2023: 1). Entonces, mientras que la teoría cuántica no relativista entendía las interacciones como creaciones espontáneas y destrucción de partículas, por otra parte, la TQC entiende las fuerzas como un intercambio de partículas mediadoras. Para entenderlo mejor, a continuación se ejemplifican las interacciones más sencillas (las que se producen en los campos de electrones y fotones) con el ejemplo de una guitarra. Una cuerda puede vibrar con diferentes frecuencias, y cada una corresponde a un sonido puro, pero cuando se pulsa la cuerda empieza a vibrar con una superposición de todas estas frecuencias con mayor o menor amplitud; es más, la síntesis de todos estos tonos es lo que constituye el sonido total o, en concreto, la melodía. Del mismo modo, un campo cuántico avanza según todos los escenarios posibles. Además, según esta interpretación, dos electrones se repelen porque envían un fotón, al emitir y absorber un electrón les hace cambiar su estado de movimiento. Esto tendrá consecuencias drásticas, pues en un campo cuántico se realizan todas las evoluciones posibles al mismo tiempo, en cierto modo, cada configuración describe un escenario en el que, en algunos, los electrones interactúan con los fotones. Con esto, se utiliza un formalismo de campos que unifica la visión de partículas con la de campos energéticos, concluyendo así en la electrodinámica cuántica (QED) (ILLAMA, 2023: 101). Debido a que se convirtió en una de las teorías más precisas en describir la realidad, la QED también ha planteado cuestiones sobre la naturaleza de la realidad y nuestra capacidad para comprenderla.

En definitiva, la TQC se convierte en una receta matemática para construir un modelo del universo que comienza con un espacio-tiempo y se completa con campos cuánticos que permiten construir una descripción que respete las restricciones impuestas por la relatividad. Además, cuando se permite que los campos interactúen entre sí, se puede predecir los

fenómenos con una alta precisión. En particular, la TQC da libertad para argumentar que la evolución del universo es una síntesis de todos los escenarios posibles a nivel microscópico. Sin embargo, esta descripción es incompleta, en tanto que no unifica lo infinitamente grande con lo infinitamente pequeño, porque la TQC no puede verificarse con la relatividad general que describe la gravitación por la curvatura del espacio-tiempo. Aún no tenemos una “gravedad cuántica” que combine el modelo estándar con la física cuántica, por ello, el problema reside en el proceso de medición en la mecánica cuántica, lo que ha creado problemas prácticos en la forma en la que se analizan los experimentos.

En conclusión, los avances en la física de partículas y la TQC proporcionaron un apoyo adicional al energetismo, en concreto debido a la noción de que las partículas son excitaciones de campos energéticos. Luego, la concepción energetista del universo se alinea y refuerza a través de comprender los fenómenos de creación y aniquilación de partículas en la física, donde las partículas pueden ser creadas a partir de energía pura y viceversa. También se consiguió argumentar que la energía es un concepto más fundamental y omnipresente que la materia visible, lo que complica aún más la imagen atomista clásica y proporcionan un terreno fértil para la concepción energetista.

3. DISCUSIÓN Y POSICIONAMIENTO

Tras lo visto en este TFG, el debate sobre la conceptualización de la realidad y sus fundamentos filosóficos nos lleva a una encrucijada donde se puede interpretar que los recientes avances científicos parecen favorecer una visión más energetista, sin embargo, esta inclinación no descarta necesariamente por completo el atomismo, sino que reconoce la realidad física dinámica, donde la energía y las interacciones juegan un rol crucial en la comprensión de la materia. En consecuencia, el atomismo y el energetismo pueden converger, ya que ambos enfoques, en la actualidad, no se excluyen mutuamente y pueden integrarse para proporcionar una visión más completa de la realidad.

Ahora bien, los progresos en la ciencia acerca de la estructura de la materia han encontrado resonancia en otros planteamientos filosóficos contemporáneos, en concreto, autores influyentes como Jonathan Schaffer y Sabine Hossenfelder ofrecen marcos teóricos que desafían las nociones tradicionales de la realidad física y proponen nuevas formas de entender la materia y su fundamentación. Por un lado, Schaffer invita a reconsiderar lo que se comprende como ‘fundamental’ en la estructura del mundo, mientras que, por otro lado, Hossenfelder anima a reflexionar sobre cómo las teorías científicas pueden (o no) reflejar esa estructura fundamentalista. Entonces, como se mostrará a continuación, ambos filósofos son críticos en sus campos, y ofrecen perspectivas frescas en la ciencia, con las que se vislumbra la importancia de las interacciones de lo que compone la realidad y nuestra comprensión de la misma.

Primeramente, Jonathan Schaffer cuestiona qué es lo más fundamental (entiéndase este término como base epistémica para referirse a la noción de entidad original de la que se deriva lo demás), ya que recurrir a una visión holística implica considerar que, en última instancia, todo está compuesto por pequeñas partes dependientes de un todo integrado (SCHAFFER, 2003: 498). Esta situación problemática la ejemplifica con la concepción atomista de la materia, aquí le parece misterioso cómo un enjambre de partículas (o una serie de vibraciones, o una mancha de campos físicos sobre el espacio-tiempo...) concluye en fenómenos concretos, como el de un pellizco sobre la piel. Pero, ¿qué tienen estas disposiciones de partículas que hacen tener esa sensación? La conexión entre el estado físico y el particular de conciencia sigue siendo difícil de alcanzar, pero no hay duda de que esa experiencia es real, sin embargo, no hay ninguna evidencia que niegue la posibilidad de pensar que sólo hay moléculas y que todo lo demás es derivado de eso, siendo entonces, una

mera “ilusión”, utiliza este término no para referirse a un engaño, sino a una abstracción cognitiva (SCHAFFER, 2003: 498). Consecuentemente, Schaffer insiste en que la cuestión entonces debe recaer sobre qué es lo ontológicamente primario y, en base a esto, defiende que las partes existen en virtud de un todo (SCHAFFER, 2003: 502). Esta propuesta es una respuesta metafísica denominada *monismo de prioridad*, en la que la realidad se concibe como un sistema interconectado donde las propiedades y las entidades no tienen una existencia independiente, sino que dependen de una totalidad (SCHAFFER, 2003: 506). En este sentido, la prioridad ontológica se otorga al conjunto total de la realidad, y las partes (los átomos o las partículas) son derivativas. Además, las propiedades de las partes no pueden ser completamente explicadas sin referencia al sistema total en el que están incluidas, por ejemplo, las características de las partículas subatómicas dependen de sus interacciones y del campo cuántico total. Por lo tanto, esta interdependencia relacional de Schaffer encaja bien con las implicaciones de la teoría de campos cuánticos y rompe con la visión tradicional de un nivel fundamental de entidades independientes, que sufre problemas de *regressus ad infinitum* (SCHAFFER, 2003: 510). Así, esta interpretación de la realidad, como un conjunto de relaciones y procesos, es más importante que las entidades mismas, pues lo que importa es comprender cómo el todo cohesivo influye en las partes.

A continuación, para ilustrar la argumentación de Jonathan Schaffer sobre el *monismo de prioridad* y la primacía del todo sobre las partes, consideremos como ejemplo una casa y una pizza. En el primer caso, si se piensa en la casa a través de la visión tradicional atomista, se comprende mejor analizando cada una de estas partes por separado, sin embargo, el monismo de Schaffer conlleva una comprensión de la casa como un todo, tiene propiedades y funciones que no se pueden explicar completamente solo a través de sus partes: proporcionar refugio y hogar a sus habitantes es una propiedad del conjunto completo, no solo de las paredes o el techo por separado. Entonces, las partes de la casa (paredes, techo, puertas...) obtienen su identidad y su función específica dentro del contexto de la casa por completo. Por otro lado, el otro ejemplo de la pizza recae en la misma analogía donde la experiencia de comerla es una propiedad del conjunto, es decir, los ingredientes (masa, salsa, queso...) adquieren una nueva identidad y función cuando se combinan para formar la pizza. Así, las partes de la pizza están interrelacionadas en tanto que dependen unas de otras para crear la experiencia culinaria completa. En resumen, estos ejemplos muestran cómo, según Schaffer, el todo es ontológicamente primario y las partes existen en virtud del todo. Luego, con su *monismo de prioridad*, desafía la concepción tradicional de una jerarquía de entidades

fundamentales y, en su lugar, como ya se ha mencionado, propone que el todo es ontológicamente primario y, en base a esto, se evita la multiplicidad en estos niveles ontológicos, con lo que se ofrece una explicación simplificada y elegante de la realidad. Por ende, Schaffer argumenta que las partes existen en virtud del todo y que la realidad no debe ser comprendida como una jerarquía de niveles fundamentales.

Por otra parte, otra perspectiva sobre la realidad la ofrece Sabine Hossenfelder, quien promueve una visión pragmática basada en las observaciones y los experimentos científicos. Sugiere que las teorías deben ser juzgadas por su capacidad para describir y predecir fenómenos observables, más que por su conformidad con ideas preestablecidas sobre la estructura fundamental de la realidad. Entonces, según Hossenfelder, la física no necesitaría una entidad última (o nivel fundamental si se hace una analogía con Schaffer), sino más bien un conjunto coherente de teorías que describen diferentes aspectos de la realidad de manera eficaz (HOSSFELDER, 2023: 99). Una vez entendido esto, se puede afirmar que tanto Hossenfelder como Schaffer concluyen en una idea de la realidad que trasciende en la búsqueda de elementos básicos aislados, proponiendo una visión más integrada y relacional del universo. Así, las ideas de ambos ofrecen marcos conceptuales que pueden guiar futuras investigaciones, desafiando y ampliando nuestras concepciones sobre la energía y la naturaleza de la materia.

Tras examinar las contribuciones de Jonathan Schaffer y Sabine Hossenfelder, resulta pertinente reflexionar sobre cómo el debate sobre la naturaleza de la realidad ha sido una preocupación constante a lo largo de la historia de la ciencia y de la filosofía. Desde los primeros filósofos griegos, hasta los debates contemporáneos entre atomistas y no-atomistas, la cuestión sobre si la materia o la energía son los elementos primordiales que constituyen la realidad ha sido objeto de reflexión y controversia. Así, con esta base epistémica, se realiza un salto temporal hasta finales del S. XIX y comienzos del XX, cuando este debate alcanzó su punto crítico, ya que coincidió posteriormente con el desarrollo de la física moderna; mientras que la física clásica estaba protagonizada por el paradigma atomista, el surgimiento de la teoría electromagnética y la termodinámica condujo a una nueva reformulación de las teorías ya aceptadas por la comunidad científica. Entonces, en este nuevo planteamiento científico se destacó el papel de la energía como algo fundamental en la comprensión de la realidad. Por eso, resulta sorprendente observar cómo ha habido un resurgimiento de las perspectivas energetistas, especialmente en éstos ámbitos científicos donde el desarrollo ha

pasado de estar vinculado a la termodinámica, y la teoría cinética de gases, a adquirir una importancia central en la física de partículas y la cosmología.

A continuación, es interesante resaltar que las posiciones anti-atomistas parecen haber tenido una mayor influencia en el imaginario popular y en la ciencia ficción. Este uso de las palabras *energía* y *fuerza* han asentado un terreno fértil donde, sin duda, se han alterado para explicar algunas fuerzas místicas, como el Ki (concepto oriental para denominar la fuerza del universo). Además, en películas como *Star Wars* se presentan dentro de su narrativa los campos de energía, donde la energía es vista como una sustancia esencial y unificadora del universo. Con esta idea, otro ejemplo interesante es la novela *El mundo perdido* (1912) de Arthur Conan Doyle, donde se explora la idea de un mundo habitado por criaturas aisladas del resto del mundo por un cinturón de energía y, en esta historia, se presenta una visión de la realidad en la que existen fuerzas desconocidas que gobiernan el universo, desafiando así las concepciones atomistas. También, otro caso audiovisual, por si no se conoce el anterior, es la serie de ciencia ficción *Fringe* (2008), la cual aborda temas de física cuántica como los universos paralelos, desde una visión más energetista que atomista.

En definitiva, situándome desde un lugar que carece de formación científica en este debate entre atomistas y no-atomistas, mi posicionamiento recae en incidir que esta controversia resulta relevante en la actualidad, y es probable que siga evolucionando a medida que se avanza en el entendimiento de la naturaleza fundamental del universo y las teorías que lo describen. Asimismo, como ya se ha mencionado, el resurgimiento del energetismo nos evoca ciertas intuiciones filosóficas y metafísicas al concebir la idea de que todo está conectado. Además, este enfoque unificador permite una descripción más simplificada de los fenómenos físicos porque eliminan la necesidad de suposiciones adicionales, y, con ello, su flexibilidad y adaptabilidad permiten aplicar una amplia gama de situaciones y escalas en las teorías modernas (como la relatividad general y la mecánica cuántica) que ponen un énfasis en la energía. Por otra parte, en cuanto al futuro de este debate, es posible que se busque un término medio que integre ambas perspectivas, debido a que las dualidades onda-corpúsculo de la mecánica cuántica hacen admitir que la realidad es más compleja y multifacética de lo que sugieren los enfoques atomistas o energetistas tradicionales por separado.

4. CONCLUSIÓN Y VÍAS ABIERTAS

A lo largo de este TFG se ha hecho un recorrido histórico y conceptual acerca del debate sobre la realidad física, destacando las tensiones y confrontaciones entre las perspectivas atomistas y las teorías energetistas.

Este análisis histórico, comenzó con los albores de la filosofía natural en la antigua Grecia, destacando figuras claves como Leucipo, Demócrito, Aristóteles y Lucrecio. A continuación, se realizó un salto hasta los desarrollos más significativos del atomismo, los siglos XVIII, XIX y XX, donde autores como Pierre Gassendi, Robert Boyle, Gottfried Wilhelm Leibniz, Isaac Newton y John Dalton contribuyeron al desarrollo del atomismo, ofreciendo fundamentos que serían esenciales para la ciencia moderna. Sin embargo, otros autores desafiaron esta visión atomista, y propusieron una argumentación que desafía la noción de una materia estática, afirmando que los procesos dinámicos y las relaciones interconectadas son esenciales para comprender la realidad física. Este enfoque alternativo estuvo protagonizado por varios autores: Wilhelm Ostwald, Ernst Mach y Pierre Duhem, quienes consideraron la energía como el principio fundamental del universo.

Posteriormente, al comparar y examinar estas dos perspectivas sobre la materia, se vio cómo éstas han evolucionado e influido en nuestra comprensión de la estructura de la realidad. Específicamente, los desarrollos científicos en la física cuántica y en la teoría de campos no sólo han cuestionado las interpretaciones tradicionales del atomismo, sino que también han proporcionado un marco que puede ser más compatible con las perspectivas energetistas. Asimismo, teniendo esto como foco, se abordaron cómo estos avances están influyendo en el debate filosófico, posiblemente inclinando la balanza a favor de una visión energetista del universo o, al menos, complicando significativamente el panorama tradicional atomista. Además, se exploró cómo la ciencia está intrínsecamente ligada a los supuestos filosóficos sobre la naturaleza de la realidad, cuestionando si la realidad tiene un nivel fundamental fijo o si es más apropiado un enfoque dinámico y relacional.

Por otra parte, como botón final de este trabajo, es menester añadir y señalar las posibles vías abiertas para futuras investigaciones. Para ello, cabe resaltar el trabajo de Jonathan Schaffer y Sabine Hossenfelder al utilizar un planteamiento diferente sobre la realidad, pues presentan argumentos tanto a favor como en contra sobre interpretar la ciencia de manera realista o instrumentalista. Así, una posible vía de investigación podría ser la realización de un estudio interdisciplinario, donde la colaboración entre físicos, filósofos y otros científicos sirva para

abordar preguntas fundamentales sobre la realidad, utilizando distintos enfoques que integren conceptos de las diversas áreas. Además, se podría estudiar cómo estas perspectivas se alinean o contradicen, y qué implicaciones tienen en el debate entre el realismo e instrumentalismo en la interpretación de las teorías científicas, considerando cómo estas posturas afectan la aceptación de las perspectivas atomistas y energetistas.

Asimismo, otro punto a comentar es examinar la realidad y la percepción desde la neurociencia, con el objetivo de ofrecer *insights* sobre la naturaleza fundamental de la realidad y cómo estas perspectivas pueden influir en la aceptación de visiones atomistas o energetistas.

Cabe destacar otro punto respecto a la segunda antinomia de Immanuel Kant, la cual parece seguir abierta ya que, a pesar de los avances científicos, la problemática de la naturaleza fundamental de la realidad continúa sin resolverse. Por ello, esta tensión filosófica subraya la complejidad y la riqueza del debate sobre la naturaleza fundamental del universo. Además, en la actualidad, esta antinomia kantiana insta a continuar explorando la intersección entre la filosofía de la ciencia, la física y la ciencia, ya no sólo teorizando, sino utilizando simulaciones avanzadas y modelos científicos para exportar las implicaciones de las diferentes concepciones de la materia en diferentes contextos.

En definitiva, este trabajo no solo ha explorado el trasfondo histórico y filosófico del debate sobre la realidad física, sino que también ha demostrado cómo los desarrollos científicos contemporáneos continúan desafiando y enriqueciendo nuestras concepciones filosóficas. Por ello, sigue siendo un terreno fértil para una investigación que tiene como objetivo desvelar los misterios del universo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ Fernández, Alberto. (2022). Críticos con el atomismo mecanicista: Ostwald, Mach y Duhem. *Revista de Filosofía*, nº66, julio-diciembre, pp. 9-29. DOI: 10.12795/themata.2022.166.01.
- ABRAMS, J. J., & PINKNER, J. H. (2008-2013). *Fringe*. Bad Robot Productions: Amazon Prime Vídeo.
- BARBERO, Sergio. (2018). “Mi clásico favorito: Max Born, el hombre que hizo a Dios jugar a los dados”. *Revista Española de física*, vol. 32-2 (abril-junio).
- CASSINI, Alejandro, & LEVINAS, Marcelo Leonardo. (2008). La explicación de Einstein del efecto fotoeléctrico: un análisis histórico-epistemológico. *Revista latinoamericana de filosofía*, 34(1), pp. 5-38.
- CICCIO, José F.. (2013). La importancia de la química: Concepto de materia según los griegos de la época arcaica. *InterSedes*, 14(28), pp. 167-191.
- DALTON, John. (1808). *A new system of chemical philosophy*. Gerstein - University of Toronto,
- DIÉGUEZ, Antonio J. (1995). Realismo y antirrealismo en la discusión sobre la existencia de los átomos. Publicado en *Philosophica Malacitana*, 8, pp. 49-65.
- DOYLE, A. C. (2018). *El mundo perdido (1912)*. España: Random House (colección grandes clásicos).
- DUHEM, Pierre. (1989). *La théorie physique. Son objets structure*. Reproducción facsímil de la 2ª ed. de 1914.
- EINSTEIN, A. (1905). Sobre un punto de vista heurístico relativo a la producción y transformación de la luz. *Annals of Physics* , nº 17.
- GRAYLING, A. C. (2021). *Historia de la filosofía*. Barcelona: Ariel.
- HIGUERAS, Manuel. (2013). El atomismo molecular de Gassendi y la concepción corpuscular de la materia en el joven Leibniz. *Cultura [online]*, *Revista de Historia y Teoría de las Ideas*, vol.32, pp. 1-14. DOI: 10.4000/cultura.2062.

- HOSSENFELDER, Sabine. (2023). *Existential physics*. Nueva York: VIKING. Used by permission of Oxford University Press and Dr. Luke A. Barnes.
- IBÁÑEZ, L. E. (2012). *String Theory and Particle Physics: An Introduction to String Phenomenology*. Cambridge, University Press.
- KANT, I. (2013). *Crítica de la razón pura*. Madrid: Taurus.
- KOYRÉ, Alexandre. (1995). “Gassendi y la ciencia de su tiempo”, en Koyré, *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo Veintiuno Editores, México, 1995, pp. 306-307.
- LEIBNIZ, Gottfried. (1713-1715). *La Monadología*. Escuela de Filosofía Universidad ARCIS Edición electrónica de www.philosophia.cl/
- LÓPEZ Valentín, Dulce Maria y FURIÓ Más, Carles. (2021). El concepto actual de elemento químico: ¿uno o dos significados? Implicaciones en su enseñanza (Segunda parte). *Educación química*, 32(1), 31-44. Epub 13 de agosto de 2021. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021.1.75259>
- LUCRECIO CARO, T. (1999). De la naturaleza de las cosas: poema en seis cantos. J. Marchena (Trad.). Alicante: Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. (Edición digital basada en la edición de Madrid, Librería de Hernando y Compañía, 1918).
- MACH, Ernst. (1987). *Análisis de las sensaciones*. Barcelona: Alta fulla.
- MARÍAS, J. (1970). *Historia de la filosofía* (22ª edición). Madrid: Editorial Revista de Occidente, S.A.
- MASON, SF. (1996). *Historia de las Ciencias, 4: La ciencia del siglo XIX*. Madrid: Alianza Editorial.
- MORENO González, Antonio. (2006). Historia y epistemología de las ciencias, atomismo versus energetismo: controversia científica a finales del siglo XIX. *Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 24 (3). Universidad Complutense de Madrid.
- SANTAOLALLA, Javier. (2017). *Inteligencia física*. Barcelona: Plataforma Editorial.
- SCHAFFER, Jonathan. (2003). Is there a Fundamental Level? *University of Massachusetts, Amherst, NOÛS*, vol. 37:3, pp. 498-517.

- SOLÍS, Carlos y SELLES, Manuel. (2022). *Historia de la ciencia*. Barcelona, Planeta.
- TMAGAZINE. (2014). *Las Características del Modelo Atómico de Schrödinger: Descubriendo la Naturaleza Cuántica de los Átomos*.
- TYNDALL, John. (1874). *ADDRESS*. Delivered before the British Association assembled at Belfast. Longmans, Green, and Co.