

SOBRE EL LENGUAJE MATEMÁTICO, LA FILOSOFÍA Y LA EVOLUCIÓN DEL *TRATADO ELEMENTAL DE QUÍMICA**

ON THE LANGUAGE OF MATHEMATICS, PHILOSOPHY AND THE EVOLUTION OF THE *ELEMENTARY TREATISE OF CHEMISTRY*

BRANDON SMITH MARTÍNEZ COSTA
Universidad de Pamplona
Pamplona, Colombia.

brandon.martinez@unipamplona.edu.co



RESUMEN

Este trabajo de revisión tiene como propósito analizar tres pilares importantes en el primer *Tratado elemental de química*: la matemática cuantitativa, el conjunto de reflexiones filosóficas de la química y los cambios conceptuales en el transcurso del tiempo. En este documento se examina la forma de pensamiento del lenguaje químico, desde el punto de vista experimental y teórico, incluyendo un contexto filosófico-matemático sobre las contribuciones de Lavoisier en su obra. De igual manera, se explora el método científico como una de las herramientas fundamentales del conocimiento, que de cierto modo llevaron a este científico a la elaboración de su tratado. Finalmente, bajo las observaciones sistemáticas y detalladas de una obra, se resalta el análisis cuantitativo de la materia como su composición, modelos físicos, combinaciones y la verdad epistemológica de la química en el tiempo.

Palabras clave: observación; modelo físico; epistemología; lenguaje matemático; constructivismo; estructuralismo.

* Este artículo se debe citar: Martínez Costa, Brandon Smith. "Sobre el lenguaje matemático, la filosofía y la evolución del Tratado elemental de química". *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 20.41 (2020): 41-61. <https://doi.org/10.18270/rcfc.v20i41.3384>

ABSTRACT

The purpose of this review is to analyze three important pillars in the first *Elementary Treatise of Chemistry*: quantitative mathematics, the set of philosophical reflections on chemistry and conceptual changes over time. This paper examines the way of thinking of chemical language, from the experimental and theoretical point of view, including a philosophical-mathematical context on Lavoisier's contributions in his work. Likewise, we explore the scientific method as one of the fundamental tools of knowledge, which in a certain way led this scientist to the elaboration of his treatise. Finally, under systematic and detailed the observations of a work, the quantitative analysis of matter is highlighted as its composition, physical models, combinations and the epistemological truth of chemistry in time.

Keywords: observation; physical model; epistemology; mathematical language; constructivism; structuralism.

1. EL TRATADO ELEMENTAL DE QUÍMICA Y SU FILOSOFÍA

En el año 1789 se publica por primera vez el *Tratado elemental de química* (en adelante, *Tratado*), escrito por el químico francés Antoine-Laurent de Lavoisier (Sánchez 2013), en el cual se da a conocer un nuevo lenguaje de la química, como la nomenclatura de sustancias y la composición de la materia, como por ejemplo del aire atmosférico. Gracias al aporte de Lavoisier, la química logra convertirse en una ciencia ordenada y concreta en su forma lingüística. Pero, ¿en qué se basa su lenguaje matemático? ¿Qué significado tiene la epistemología con relación al *Tratado*? Es claro afirmar que este lenguaje es cuantitativo, es decir, referente a la cantidad de cosas que nos rodean, las cuales deben analizarse para construir un modelo físico, sin embargo, este modelo puede ser verdadero o falso dependiendo de las variables que se analicen; ahora, ¿cómo saberlo?

Cuando Lavoisier escribió su obra ya había pensado en que algunos fenómenos se basan en comportamientos matemáticos (Lavoisier 2009). En el *Tratado*,

sobre todo en el capítulo XIII (“De la descomposición de los óxidos vegetales por la fermentación vinosa”), se encuentra el siguiente texto:

Todo el arte de hacer experiencias en química está fundado sobre este principio: hay que suponer en todos los experimentos una verdadera igualdad o ecuación entre los principios del cuerpo que se examina y los que se sacan por análisis (Lavoisier 2009 98-99).

Por tal motivo, un lenguaje numérico o modelo físico para un experimento puede ser verdadero o falso. Es en este punto donde la epistemología desempeña un papel fundamental para el razonamiento del lenguaje numérico. La epistemología estudia la ciencia en su forma racional, es decir, permite evaluar, entender y pensar de manera crítica algún principio que se quiera estudiar desde cualquier punto de vista (López 1990). Algunas investigaciones analizan la ciencia y la filosofía desde dos ángulos (García 2006): la ciencia tiene el objetivo divulgativo de dar explicaciones a las leyes naturales del universo, mientras la filosofía busca dar explicaciones metafísicas, epistemológicas y racionales a dichas leyes que la ciencia analiza. Al estudiar la ciencia desde el punto de vista filosófico, es fundamental el planteamiento de cuestiones epistemológicas relacionadas con un principio que se evaluará, por ejemplo, ¿cómo la filosofía considera “correcta” la explicación de un fenómeno?, ¿qué tipo de lenguaje maneja la ciencia y la filosofía para hacerlo comprensible a la sociedad?, ¿puede explicar la ciencia el comportamiento de alguna ley natural mediante el uso de modelos matemáticos? Desde la perspectiva epistemológica y matemática, siempre hay una respuesta para sostener la veracidad de un fenómeno o algún tipo de experimentación (Martí 2017). Sin embargo, pueden existir múltiples alternativas como respuesta para la explicación filosófica y matemática de un objeto de estudio, las cuales pueden ser eliminadas mediante pruebas experimentales y teóricas.

Es importante saber que la epistemología tiende a surgir por sí misma, sobre todo cuando el pensador decide hacer ciencia. Por ejemplo, los análisis cuantitativos de una muestra requieren medidas exactas o aproximadas, y la epistemología se pregunta: ¿cómo saber si su método de análisis es fiable?, ¿son confiables las herramien-

tas que manejan para dar a conocer la verdad de un experimento? La epistemología como tal es una actitud, y un científico puede actuar como epistemólogo dependiendo del área en que labore (Cazau 2011). En otras palabras, Cazau señala que la epistemología no se aprende en una academia, sino que esta sale a la luz cuando se cuestiona la ciencia, lo cual requiere de observación y experimentación para llegar a una verdad.

El método científico como herramienta estructurada del conocimiento permitió a Lavoisier tener resultados y conclusiones acerca de los efectos de la combustión en azufre, fósforo, carbón y formación de ácidos por efectos de este (Lavoisier 2009). Sin embargo, establecer un nuevo lenguaje para la química no era cuestión de facilidad. Lavoisier pensó en parámetros teóricos y experimentales sobre los cambios que presentaba la materia mediante el calórico, tales como su descomposición y la formación de nuevas sustancias por efectos de este.

En el *Tratado*, Lavoisier establece sus nuevos aportes a la química a través de sus análisis y resultados sobre la nueva nomenclatura de esta ciencia. Pero, ¿cómo logró dar un orden y establecer fundamentos claros sobre la materia? Para comprender un fenómeno y sus posibles efectos se requiere de observación y experimentación (Asensi & Parra 2002), es decir, seguir el método científico como herramienta clave del conocimiento. Por otro lado, cabe resaltar que la epistemología surge en la experimentación, y en efecto, cuando se trata de fijar un nuevo lenguaje cualitativo y cuantitativo para alcanzar una verdad.

2. EL LENGUAJE CUANTITATIVO DE LAVOISIER

La química es una ciencia completamente ligada con el lenguaje numérico o con modelos físicos para modelar el comportamiento de un fenómeno. Ahora bien, ¿cuál es el lenguaje de las matemáticas en la química? La ciencia se caracteriza por un lenguaje formalizado y específico, pero concebimos las matemáticas como el conjunto de símbolos y diagramas que representan el lenguaje de un objeto o cosa (Puga, Rodríguez & Toledo 2016). Sin embargo, para la química, es un análisis cuantitativo

de todo aquello que nos rodea, análisis acerca del “cuantos” de una muestra, aire, líquido, concentración, etc. Por otro lado, es importante resaltar que sin el lenguaje matemático la química sería una rama incompleta del conocimiento, ya que en su más pura naturaleza busca cuantificar la materia de manera exacta y ordenada.

El lenguaje matemático está caracterizado por símbolos, diagramas, fórmulas y demostraciones que de algún modo contribuyen a la verificabilidad de los hechos (Llacer & Ballesteros 2012). De cierta manera, la química necesita estar vinculada con el lenguaje numérico para probar sus hipótesis, ya que la química y las matemáticas son lenguajes simbólicos (usan signos) de gran utilidad para comprender la materia, haciendo la aclaración de que la química consta de mayor interpretación por su naturaleza. Por otra parte, el lenguaje de la química puede ser considerado simbólico en gran proporción, es decir, se encarga de analizar las fórmulas estructurales y algunos mecanismos de reacción (Schummer 2006, 2010), por ejemplo, la geometría trigonal de una molécula y el ángulo entre sus enlaces.

Se ha visto que el lenguaje de la química es simbólico en cuanto a las formas de una molécula, sin embargo, su lenguaje de los símbolos también está altamente relacionado con el lenguaje numérico para el modelamiento de moléculas. Este lenguaje simbólico y textual se puede considerar inextricable, es decir, un poco difícil de comprender en un tratamiento filosófico y matemático (Aberdein 2017). Los tipos de lenguaje tanto simbólica como textual no se resaltan como imposibles al ser inextricables, conciben una idea que no se encuentra fuera del contexto simbólico y textual; por el contrario, nos obligan a examinar paso a paso el método y la naturaleza de las matemáticas.

La matemática cuantitativa de Lavoisier está basada en la cantidad de sustancia por efectos del calórico (Lavoisier 2009). Evidentemente, para él era una necesidad vital emplear el lenguaje textual y simbólico para su avance en la cantidad de fósforo, carbono e hidrógeno, ya que esto le permitía tener una idea del primer análisis cuantitativo en estas sustancias. El utilizar unidades de medición (masa) como libra, onza, arroba y gramo pone a la química en un nuevo orden metrológico gracias a los pilares del método científico seguidos por Lavoisier.

2.1 EL CALÓRICO DE LAS SUSTANCIAS Y SUS EFECTOS

Se puede afirmar que el calor es una forma de energía entre un sistema y sus alrededores teniendo en cuenta un diferencial de temperatura ΔT (Aloma & Malaver 2007). En el *Tratado*, el llamado calórico de Lavoisier afecta de manera física y química algunos fluidos. Todo esto nace a partir de la observación de Lavoisier al tratar de comprender una ley de la naturaleza como el calórico. En el capítulo 1 (“De las combinaciones del calórico, y de la formación de los fluidos elásticos aeriformes”), el autor se centra primordialmente en estudiar la energía calórica y las transformaciones que experimenta un fluido al interactuar con este tipo de energía. Allí se puede leer: “Es un fenómeno constante y general en la naturaleza, como lo hizo ver claramente Boerhaave, que, si se calienta cualquier cuerpo sólido o fluido, aumenta de extensión en todas sus dimensiones” (Lavoisier 2009 10).

El calor como tipo de energía tiende a cambiar la forma de los cuerpos, es decir, afecta de manera específica las propiedades físicas y químicas de la materia. Para Lavoisier, estos fenómenos fueron resultados de observación y experimentación. Sin embargo, ¿llegaría Lavoisier a seguir estudiando los efectos del calor en los fluidos? Por otro lado, si Boerhaave vio este fenómeno, ¿podría ser modelado mediante expresiones matemáticas este tipo de fenómenos? Las respuestas para estas preguntas son afirmativas, haciendo énfasis en la segunda pregunta para un análisis más complejo. Al decir: si se calienta cualquier cuerpo sólido o fluido, aumenta de extensión en todas sus dimensiones. Esto es un fenómeno físico que también puede ser explicado mediante un lenguaje matemático, el cual se conoce como una especie de dilatación (Friend & Molinini 2016). Lavoisier no construyó un modelo físico para explicar esta clase de fenómenos, pero sí estudió el comportamiento del calor como energía en fluidos aeriformes.

Ahora, si decimos que aumenta en todas sus dimensiones, podemos suponer las siguientes variables: X como el largo, Y como el alto y Z como el ancho; por lo tanto, podemos afirmar un volumen (V).

$$V_C = X \times Y \times Z. \quad (1)$$

Luego para que exista un aumento en una de sus dimensiones se requiere de calor. En este caso, y a manera de ejemplo, nos centramos en un sólido (cuerpo u objeto) que experimenta cambio en su volumen, que matemáticamente es conocido como un diferencial de volumen (ΔV). Al tener un cuerpo o fluido, según Boerhaave, este sufrirá cambios en sus dimensiones por los efectos del calórico. Ahora, suponiendo que tenemos un cubo, como se presenta en la siguiente ilustración, declararemos las variables que desde la observación tienden a mostrar cambios físicos.

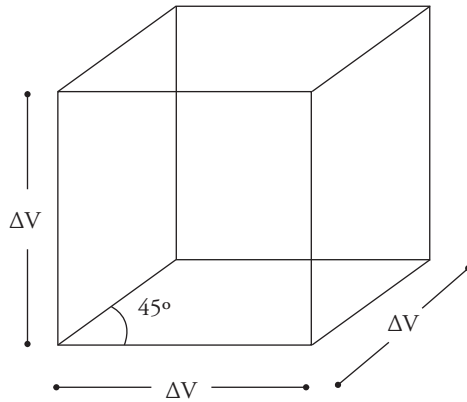


Figura 1. Cuerpo sujeto a cambios en sus dimensiones

Si el cuerpo de la figura 1 interactúa con el calórico que señalaba Lavoisier, entonces, podemos afirmar la siguiente variable principal como:

$$\Delta T \propto Q. \quad (2)$$

Una variación de la temperatura es proporcional al calor como energía (Q). De modo que si el cuerpo presenta una expansión en todas sus dimensiones, entonces existe:

$$(T_2 - T_1) \propto Q. \quad (2.1)$$

Tal que Q es una función dependiente de la temperatura que numéricamente es de la forma

$$Q(T) \in \mathbb{R}. \tag{2.2}$$

Al analizar la expresión del volumen (1) es evidente que los efectos de $Q(T)$ generan una expansión o cambios en las dimensiones del cuerpo. Sin embargo, en la época de Lavoisier aún no se conocían modelos físicos para representar el comportamiento de un fenómeno. En efecto, la química se encontraba en un proceso de ordenamiento en su lenguaje, con el objetivo de introducir en ella un espíritu de análisis (Saldivia 2017). Ahora bien, si se retoma lo dicho por Lavoisier en el capítulo I de su *Tratado*, donde un cuerpo aumenta todas sus dimensiones, entonces, matemáticamente se habla de una variación en su volumen conocida como ΔV , o cambio del volumen. Seguido de esto, si se relacionan analíticamente las observaciones de Boerhaave enunciadas por Lavoisier, entonces surge la expresión:

$$\Delta V = \Delta X \times \Delta Y \times \Delta Z. \tag{3}$$

De modo que si el cuerpo se expande en una dimensión, es claro afirmar un estado final e inicial del tipo:

$$\Delta V_x = (X_2 - X_1) \tag{3.1}$$

$$\therefore \Delta V_x \propto Q. \tag{3.1.1}$$

Finalmente, la variación del volumen en X , conocida como ΔV_x , es proporcional al calor suministrado. De manera general, la expansión del cuerpo en todas sus dimensiones, vendría siendo de la forma,

$$\prod_{k=1}^n (X_k Y_k Z_k) = \left(\prod_{k=1}^n X_k \right) \left(\prod_{k=1}^n Y_k \right) \left(\prod_{k=1}^n Z_k \right) \tag{3.2}$$

Con un superíndice $n=3$, tal que k sea la arista del cuerpo regular (*véase* figura 1), llevando presente la condición de $k=n$. Ahora, si aumentan todas sus extensiones, como lo señaló Boerhaave, se afirma un lenguaje numérico estructurado de la siguiente manera:

$$\prod_{k=3}^3 (X_k Y_k Z_k) = (x_k)^3 \quad (3.2.1)$$

Luego, al ser un sólido de lados congruentes, finalmente afirmamos:

$$Vi=(X_k)^3. \quad (3.3)$$

En efecto, la expresión (3.3) denota un volumen en una dimensión X_k ; sin embargo, este volumen no solo existe para una dimensión, sino también para dimensiones homólogas a X_k , tal como se reflejó en la expresión anterior (3). Lavoisier observó los efectos del llamado calórico sobre algunos cuerpos y que estos tienden a aumentar sus extensiones, como su longitud, superficie y volumen (Lavoisier 2009). Evidentemente, el calor, al ser una forma de energía, tiende a desprender las moléculas que se encuentran unidas a un determinado cuerpo. En el tiempo de Lavoisier no se conocían tantas expresiones numéricas, ya que la química se encontraba en un ordenamiento general, es decir, la química se coordinaba como ciencia pura y aplicada, a pesar de no haberse escudriñado su lengua. No obstante, al escribir el *Tratado*, se pueden evidenciar diversos fenómenos que pueden ser descritos a través de un lenguaje numérico, productos de sus observaciones durante la época.

Por otro lado, durante el siglo XVIII, el finitismo como campo asociado a la filosofía de las matemáticas (Marion 1998) todavía no estaba en su apogeo para estructurar la química con las matemáticas. Ahora, ¿cómo puede verse relacionado el finitismo matemático en el desarrollo cuantitativo de la química? De manera abreviada, el finitismo busca la formulación de teorías científicas para explicar fenómenos naturales (Ye 2011). Por lo tanto, al ser producto de numerables observaciones, el lenguaje cuantitativo de Lavoisier se basaba en un constructivismo y el buen empleo de las variables de análisis. Algunas variables pueden ser ficticias o

pueden eliminarse mientras se construye un objeto matemático (Ye 2000). Cuando se presenta un estado final de un modelo se declaran las dependencias de las variables de análisis. A manera de ejemplo, Lavoisier invalidó la teoría del flogisto desde un punto de vista más científico. En efecto, encontró la verdad desde la observación y la experimentación en una teoría basada en la combustión, pero una verdad basada en el punto de vista aritmético, no matemático (Gallego 2015); la veracidad en la que Lavoisier “confiaba” estaba centrada en pilares cuantitativos básicos, como el peso, el número y la medición.

El divulgador y profesor de matemáticas de la Universidad de Oxford Marcus Du Sautoy define a un matemático como “un buscador de patrones en este mundo caótico y desordenado en el que vivimos” (Du Sautoy 2008). Lavoisier no era matemático, pero sí contaba con los conocimientos aritméticos más fundamentales para la elaboración de su tratado; sobre todo, al encontrar la masa de los residuos de azufre, plomo y estaño, lo que llevó a invalidar la teoría del flogisto propuesta por Stahl (Lacaille 1994). De manera epistemológica, Lavoisier eliminó el concepto del flogisto mediante los experimentos cuantitativos basados en la observación, pero no ocurrió lo mismo con el referente asociado a este concepto (Lewowicz 2011). Desde un punto de vista ontológico, para Lavoisier importaba el denominado calórico, es decir, lo que existe en un objeto sometido al calor o inflamabilidad. A partir de esto sucedió la revolución química, donde la epistemología y la ontología ubican a la química como una ciencia de veracidad y de orden, tal como lo son otros campos. De hecho, Lavoisier no es considerado un filósofo a la altura de Hegel, Locke, Kant, entre otros. Sin embargo, se puede afirmar que los principios de una ciencia lo llevaron a indagar en ramas filosóficas sobre la química.

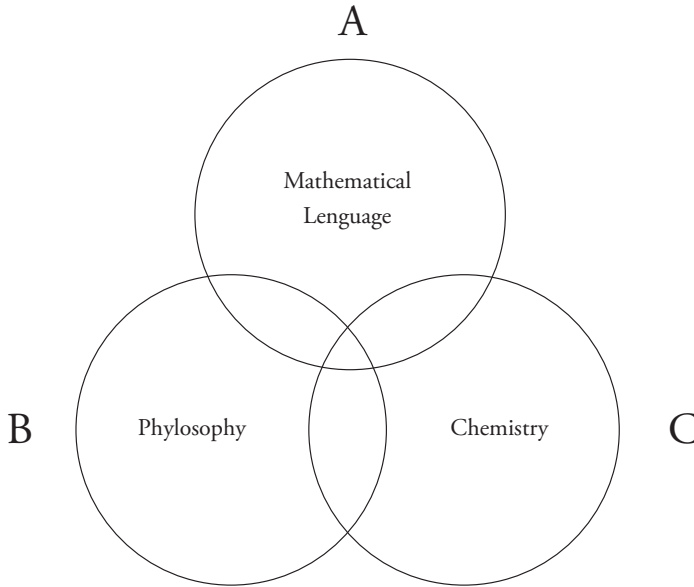


Figura 2. Diagrama de Venn ternario para la relación epistemológica del Tratado. A. Comprende el lenguaje numérico y simbólico (matemático). B. La filosofía. C. La química en la obra de Lavoisier.

A través del tiempo la química ha sido un campo de estudio desde una perspectiva filosófica, aunque pocos trabajen en este. La química, la filosofía y un lenguaje estructurado en forma numérica comparten un punto en común, es decir, una veracidad epistemológica que busca ofrecer un ordenamiento y la claridad del mundo físico. Esta veracidad sostiene que las estructuras matemáticas (lenguaje numérico) ligadas a la química involucran un contexto epistemológico ajustado a un fenómeno visible. Hay pocos químicos que trabajan en el campo de la filosofía de la química (Villaveces 2000). Aun siendo estos pocos, la filosofía de la obra de Lavoisier es un campo joven, que abarca los contextos ontológicos y epistemológicos sobre los cuales la matemática y la filosofía van en aumento. Desde el primer *Tratado elemental de química* hasta el presente, el lenguaje numérico en la química siempre ha permanecido al igual que los ideales filosóficos. Algunas investigaciones resaltan el lenguaje numérico en la química discreta (Restrepo & Villaveces 2013); sin em-

bargo, esta rama lleva a la construcción de modelos y algoritmos fundamentados en el conocimiento matemático de la química. En efecto, este nuevo campo involucra contextos filosóficos y matemáticos, de manera muy similar al *Tratado*, donde estas dos áreas del conocimiento siempre han estado presentes.

3. LAS CONSECUENCIAS DE UNA REVOLUCIÓN Y EL MÉTODO CIENTÍFICO

3.1 UN NUEVO ESTRUCTURALISMO NUMÉRICO EN LA QUÍMICA

La matemática se encuentra sujeta a diversos axiomas que en ciertos casos pueden ser verdaderos o falsos (Schlimm 2013), los cuales establecen un conjunto de razonamientos en un cuerpo teórico. Schlimm realizó una investigación global sobre la matemática aplicada y su filosofía, destacando los aspectos más sobresalientes. Sin embargo, desde una perspectiva metafísica, Lavoisier no es el descubridor de ningún método o algoritmo matemático; solo dirigió a los químicos a una nueva forma de pensamiento basado en la observación y la experimentación (Bensaude 2005). Por otro lado, implementó técnicas analíticas que lo llevaron a tener una mayor seguridad de su trabajo. Estas técnicas también consisten en la aplicación del lenguaje matemático a la química, que hoy en día hace parte del análisis químico cuantitativo.

Mediante un análisis general, es posible ver en el *Tratado* una matemática clara y sencilla, pero principalmente enfocada en fundamentos aritméticos. En dicha obra, la matemática ha sido uno de los grandes motores de avance para esta ciencia. No obstante, la química aún sigue avanzando en filosofía y matemática. Un claro ejemplo de un lenguaje organizado son los sistemas topológicos de la tabla periódica (Restrepo et ál. 2004). El estudio de los topos en el sistema periódico y sus relaciones geométricas abarcan patrones matemáticos en un lenguaje estructurado y organizado, por lo que desde la época de Lavoisier la matemática siempre ha continuado en avance.

El constructivismo es una corriente de la filosofía de las matemáticas, que tiene como objetivo construir o encontrar un objeto matemático que presente una

existencia numérica (Bishop 1967). Bishop, en su obra *Foundations of Constructive Analysis*, realiza un planteamiento general de los teoremas que fueron demostrados en el análisis real a través de formas constructivas. En el mundo de las matemáticas es conocido por ser el fundador de esta corriente. Sin embargo, el constructivismo requiere de pruebas para verificar la existencia de un objeto matemático, recordando que las pruebas son esenciales en cualquier disciplina, ya que son una vía para obtener mayor certeza en el objeto de estudio. Si se plantea una prueba de existencia en un espacio, se puede decir:

$$\exists u: f(u). \quad (4)$$

Evidentemente existe un u tal que $f(u)$ sea verdadera para denotar su existencia, caso especial para un cubo (Martínez Costa 2019). Las pruebas de existencia proporcionan la construcción de un objeto matemático, caso común con las matemáticas de hoy en día que requieren de múltiples pruebas (algunas particulares) para la posibilidad de la construcción de objetos. A manera de ejemplo seleccionemos el hexaedro propuesto en la figura 1, sobre el cual Boerhaave realizó algunos experimentos y que más tarde fueron enunciados por Lavoisier en su obra.

Según investigaciones de Martínez Costa la existencia de un objeto requiere de pruebas, que en este caso también es particular para un cubo. Si el volumen de este cuerpo se expresa como:

$$V=u^3 \quad \vee \quad f(u)=u^3 \quad (5)$$

Por lo tanto, el volumen de un cuerpo sujeto a cambios (figura 1) puede verse a través de un lenguaje matemático, en este caso, una diferencial total en sus dimensiones,

$$V=f(X_k, Y_k, Z_k) = \left(\frac{df}{dX_k} \right) \left(\frac{df}{dY_k} \right) \left(\frac{df}{dZ_k} \right) \quad 6$$

Pero $f(X_k Y_k Z_k)$ es igual a todos los diferenciales por tratarse de un cuerpo regular, en otras palabras, podría escribirse de la forma:

$$f(X_k Y_k Z_k) = \left(\frac{df}{dX_k} \right) \left(\frac{df}{dY_k} \right) \left(\frac{df}{dZ_k} \right) \quad 7$$

En efecto, el caso particular señalado por Martínez Costa corresponde a la construcción de un modelo físico en este tipo de cuerpos. Teniendo en cuenta que los elementos empleados son similares entre sí, es sencillo deducir un constructivismo mediante el uso de la derivada en un cuerpo geométrico de este tipo. Para Martínez Costa, un modelo físico particular en un cubo con arista igual a tres unidades presenta la siguiente estructura:

$$f(X_k Y_k Z_k) = \sqrt{\left(\frac{df}{dX_k} \right) \times 2} + \sqrt{\left(\frac{d^2f}{dY_k^2} \right) \times 2} + \sqrt{\left(\frac{d^3f}{dZ_k^3} \right) \times 2} \quad 8$$

$$\therefore f(X_k Y_k Z_k) = A(V). \quad (8.1)$$

Claramente el modelo (8) es un ejemplo de constructivismo. Sin embargo, su estructuralismo se ajusta al aumento de sus derivadas debido al volumen del hexaedro o cuerpo regular (Martínez Costa 2019). Al retomar la igualdad (8.1), la función f en tres dimensiones corresponde al área de un cubo en términos del volumen, que finalmente se denota por la expresión matemática (8). Analizando la expresión (5) en términos de u , es claro afirmar que el área del cuerpo se modela mediante una única variable y que matemáticamente se representa como:

$$f(u) = \sqrt{\left(\frac{df}{du} \right) \times 2} + \sqrt{\left(\frac{d^2f}{du^2} \right) \times 2} + \sqrt{\left(\frac{d^3f}{du^3} \right) \times 2} \quad 8.2$$

El modelo matemático (8.2) es un claro ejemplo de constructivismo particular, ya que solo existe un $u \in \mathbb{N}$ para satisfacer este modelo. En otras investigaciones, esta variable pertenece al conjunto de los reales $u \in \mathbb{R}$ (Martínez Costa 2018). La expresión (8.2) para un cubo no es consistente en todos los casos. Sin embargo, Martínez Costa asegura en sus investigaciones que dicho modelo se ajusta solo a ciertas condiciones matemáticas. El propósito de este trabajo no es profundizar en ecuaciones matemáticas complejas, sino ver una manera de constructivismo en el lenguaje matemático que de cierto modo puede relacionarse con la química. Otras investigaciones resaltan la estructura de la mecánica cuántica por medio de una ecuación matemática (Martínez González 2018). Avances como las estructuras topológicas de los elementos químicos (Restrepo & Pachón 2007) muestran la gran utilidad del lenguaje matemático direccionado hacia la química. Desde que Lavoisier ubicó la química como una ciencia organizada, el pensamiento matemático en la química ha sido un campo joven que hoy en día es explorado por pocos científicos y que se encuentra lleno de patrones (Restrepo & Villaveces 2012).

3.2 LOS EFECTOS DE LA REVOLUCIÓN

Lavoisier ocasionó la revolución química a través de su *Tratado*. Allí esta ciencia adquirió un nuevo ordenamiento y generó una mayor comprensión para los químicos de la época de forma cuantitativa mediante la aritmética y los instrumentos de medición. Desde Lavoisier hasta hoy, la evolución de la química ha sido notoria, con nuevos conceptos y aparatos de medición con menor grado de incertidumbre. La balanza fue uno de los instrumentos más empleados en la época y, a pesar de los años, se ha convertido en un nuevo símbolo para la química como una nueva disciplina (Bertomeu & García 2006). Antes de que sucediera la revolución, algunos estudiosos como Joseph Priestley (1733-1804), Joseph Black (1728-1799) y Stephen Hales (1677-1761) examinaron el comportamiento de los fluidos elásticos, que más tarde también fue enunciado por Lavoisier en su obra para formar parte del cambio en la química.

Las prácticas experimentales siempre han sido fundamentales en la ciencia. La experimentación hace parte del contexto de la ciencia, por ende, existen diversos estudios empleando distintos instrumentos (el calorímetro y el gasómetro) y experimentos de la respiración dirigido por Lavoisier (Bertomeu 2006). Toda la experimentación abarcó un contexto filosófico teniendo en cuenta métodos y modelos, en especial, dirigidos a la filosofía de esta ciencia (Chamizo 2009). Según las investigaciones de Chamizo, la ciencia emplea puntos de vistas ortodoxos, que de cierta manera se alcanzan a través del método científico, y estos buscan ser aceptados por una comunidad científica.

Para la filosofía, es una oportunidad para generar un campo de estudio, basado en la epistemología de la química a lo largo del tiempo. Sin embargo, la ontología y la epistemología han sido pilares importantes para la experimentación, ya que gracias a esto la filosofía de la química ha continuado en crecimiento. En muchos textos filosóficos se habla del método científico, conocido como un conjunto de pasos o algoritmos del conocimiento (McComas 2000) que de muchas maneras ha logrado que la ciencia sea una luz en la oscuridad. Si se analizan las razones por las cuales Lavoisier es considerado el padre de la química moderna, se entendería fácilmente que este científico abarcó contextos filosóficos y matemáticos, sobre todo, técnicas analíticas cuantitativas que le ayudaron a obtener mayor seguridad en los fenómenos. Al no ser un filósofo, se puede afirmar que Lavoisier siguió algunos pasos del método científico, lo que lo llevó a generar la revolución química en sus investigaciones. El Tratado es una obra inmutable y original con la que inició la química moderna. De cierto modo, los conceptos (nomenclatura) allí plasmados aún siguen vigentes como los sufijos -ico y -oso, los cuales son muy utilizados por la Unión Internacional de Química Pura para dar nombre a los óxidos. Algunos cambios conceptuales enunciados su obra también hacen parte de la evolución química.

CONCLUSIÓN

Estudiar el *Tratado elemental de química* de Lavoisier desde un punto de vista filosófico y matemático resalta razones evidentes de una revolución química. Gracias a la observación y la experimentación, se logró clasificar la química como una ciencia organizada, teniendo en cuenta que en aquella época no se consideraba un campo de estudio como lo es hoy en día. En esta obra, los fundamentos matemáticos aplicados por Lavoisier en la química lo dotaron de una veracidad epistemológica, lo que le permitió desarrollar técnicas analíticas para cuantificar las sustancias e invalidar teorías que se creían por ortodoxia, como es el caso de la teoría del flogisto de Stahl. Los modelos físicos o matemáticos para un fenómeno no se encontraban desarrollados, sin embargo, estos vieron la luz una vez que se generó la revolución. Esta fue una nueva forma de pensamiento para los químicos, que incluso vino acompañada del lenguaje matemático para brindar mayor análisis a la química.

En el *Tratado*, el autor se preocupa por fijar un lenguaje a la química, es decir, un lenguaje estructurado y organizado en la materia. Pero existe una pregunta relacionada con dicho trabajo: ¿por qué Lavoisier se interesó tanto en la lingüística de la química y el lenguaje matemático era muy escaso? En el *Tratado*, se evidencian algunos fundamentos matemáticos, los cuales son de carácter aritmético, esto es, técnicas que permiten cuantificar el peso de las sustancias cuando se someten a un determinado proceso. Por ejemplo, la calcinación de una muestra explicada por Lavoisier en su obra es un ejemplo claro que despertó la curiosidad matemática en el autor. El lenguaje matemático en la química implica corrientes filosóficas como el constructivismo y el finitismo. Estas corrientes de pensamiento han venido presentando avances desde la revolución química y han generado nuevas disciplinas como la química matemática.

Durante su época, Lavoisier se interesó más por la experimentación y por brindar una nueva lingüística a la química. Actualmente, mediante el lenguaje se establece la comunicación. Sabiendo que el lenguaje se ha convertido en un pilar de la ciencia, es posible razonar en dicho contexto de manera filosófica y matemática siguiendo pasos de conocimiento, como lo es el método científico.

En conclusión, a pesar de la evolución química en el tiempo, el lenguaje matemático y el filosófico están unidos entre sí para la química. Es decir, la química de Lavoisier presenta los soportes epistemológicos y ontológicos dignos para un cambio en esta ciencia, teniendo en cuenta que, al no ser un filósofo, Lavoisier siguió el método científico en su obra.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece de manera franca a Guillermo Restrepo (Max Planck Institute for Mathematics in the Science, en Leipzig) por sus valiosos comentarios a este trabajo.

TRABAJOS CITADOS

- Aberdein, Andrew., y Mohan, Ganesalingam. “The Language of Mathematics: A Linguistic and Philosophical Investigation”. *Philosophia Mathematica* 25.1 (2017): 143–147. <<https://doi.org/10.1093/philmat/nkw020>>
- Aloma, Eduardo y Manuel Malaver. “Análisis de los conceptos de energía, calor, trabajo y el teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica”. *Enseñanza de las Ciencias* 25.3 (2007): 387-400. <<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87934>>
- Asensi, Viviana y Antonio Parra. “El método científico y la nueva filosofía de la ciencia”. *Anales de Documentación* 5.1 (2002): 9-19. <<https://revistas.um.es/analesdoc/article/view/2251>>
- Bensaude, Bernadette. “Chemistry in the French Tradition of Philosophy of Science: Duhem, Meyerson, Metzger and Bachelard”. *Studies in History and Philosophy of Science* 36.1 (2005): 627-648.
- Bertomeu, José y Antonio García. “Visiones de la revolución química (1794-1943): entre la historia y la memoria”. *Cuadernos Dieciochistas* 7.1 (2006): 113-140. <<http://hdl.handle.net/10366/69091>>

- Bertomeu, José. “La revolución química: entre la historia y la memoria”. *Dynamis: Acta Hispanica ad Medicinæ Scientiarumque Historiam Illustrandam* 26.1 (2006): 307-322. <<https://www.raco.cat/index.php/Dynamis/article/view/114241>>
- Bishop, Errett. *Foundations of Constructive Analysis*. New York & Tokyo: Ishi Press International, 1967.
- Cazau, Pablo. “Evolución de las relaciones entre la epistemología y la metodología de la investigación”. *Paradigmas: Una Revista Disciplinar de Investigación* 3.2 (2011): 109-126. <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo;jsessionid=C-9024810F89FA2C212BCB2E40A5D12C2.dialnet02?codigo=3798214>>
- Chamizo, Antonio. “Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos”. *Educación Química* 20.1 (2009): 6-12. <[http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30002-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30002-8)>
- Du Sautoy, Marcus. *Symmetry: A Journey into the Patterns of Nature*. New York: Harper Collins Publishers, 2008.
- Friend, Michele y Daniele Molinini. “Using Mathematics to Explain a Scientific Theory”. *Philosophia Mathematica*, 24.2 (2016): 185-213. <<https://doi.org/10.1093/philmat/nkv022>>
- Gallego, Rómulo. “Del modelo científico del flogisto al modelo de la oxidación. El concepto de frontera”. *Educación Química* 26.3 (2015): 242-249. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2015.03.001>>
- García, Rolando. “Epistemología y teoría del conocimiento”. *Salud Colectiva* 2.2 (2006): 113-122. <<https://doi.org/10.18294/sc.2006.60>>
- Lacaille, Claude. “El flogisto. Ascenso y caída de la gran teoría química”. *Revista Ciencias: UNAM* 34.1 (1994): 4-10. <<http://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/11398>>
- Lavoisier, Antonie. *Traite Elemetarire de Chimie*. Valladolid: Maxtor, 2009.
- Lewowicz, Lucía. “Phlogiston, Lavoisier and the Purloined Referent”. *Studies in History and Philosophy of Science* 42.3 (2011): 436-444. <<https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2011.02.002>>

- Llacer, Eusebio y Ballesteros, Fernando. “El lenguaje científico, la divulgación de la ciencia y el riesgo de las pseudociencias”. *Quaderns de Filologia. Estudis Lingüístics*, 17 (2012): 51-67.
- López, Francisco. “Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden”. *Enseñanza de las Ciencias* 8.1 (1990): 65-74. <<https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51294>>
- Marion, Mathieu. *Wittgenstein, Finitism and the Foundations of Mathematics*. New York: Clarendon Press, 1998. 84-94.
- Martí, Miguel. “Aristotle’s Philosophy of Mathematics”. *Tópicos, Revista de Filosofía* 52.1 (2017): 43-66. <<https://doi.org/10.21555/top.v0i52.784>>
- Martínez Costa, Brandon. “Theorem of the Real Numerical Value of a Polynomial According to the Derivatives of Higher Order”. *Matua* 5.1 (2018): 29-35. <<http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/MATUA/article/view/2020>>
- _____. *Teorema del valor numérico real de un polinomio: introducción y aplicaciones básicas*. Tallin, Estonia: Editorial Académica Española, 2019.
- Martínez González, Juan. “La relevancia de la reconstrucción modelo-teórica para la interpretación de la química cuántica”. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 18.36 (2018): 69-87. <<https://doi.org/10.18270/rcfc.v18i36.2269>>
- McComas, William. *The Nature of Science in Science Education. Rationales and Strategies*. Países Bajos: Kluwer Academic Publishers, 2000. 73-82.
- Puga, Luis, Jhony Rodríguez y Alba Toledo. “Reflexiones sobre el lenguaje matemático y su incidencia en el aprendizaje significativo”. *Sophia* 20.1 (2016): 197-220. <<https://doi.org/10.17163/soph.n20.2016.09>>
- Restrepo, Guillermo y Leonardo Pachón. “Mathematical Aspects of the Periodic Law”. *Foundations of Chemistry: Philosophical, Historical, Educational and Interdisciplinary Studies of Chemistry* 9.2 (2007): 189-214. <<https://doi.org/10.1007/s10698-006-9026-6>>
- Restrepo, Guillermo y José Villaveces. “Mathematical Thinking in Chemistry”. *Hyle* 18.1 (2012): 3-22. <<http://www.hyle.org/journal/issues/18-1/restrepo-villaveces.pdf>>

- _____. “Discrete Mathematical Chemistry: Social Aspects if Its Emergence and Reception”. *Hyle* 19.1 (2013): 19-33. <<http://www.hyle.org/journal/issues/19-1/restrepo-villaveces.htm>>
- Restrepo, Guillermo et ál. “Topological Study of the Periodic System”. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences* 44.1 (2004): 68-75. <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ci034217z>>
- Saldivia, Z. “Lavoisier, la química y la revolución”. *Critica.cl* (2017) <<https://critica.cl/historia-de-la-ciencia/lavoisier-la-quimica-y-la-revolucion>>
- Sánchez, José. *El jardín de Newton*. Barcelona: Booket, 2013.
- Schlimm, Dirk. “Axioms in Mathematical Practice”. *Philosophia Mathematica* 21.1 (2013): 37-92. <<https://doi.org/10.1093/philmat/nks036>>
- Schummer, Joachim. “Philosophy of Chemistry”. *Encyclopedia of Philosophy. Second Edition*. New York: Macmillan, 2006. 1-6.
- _____. “The Philosophy of Chemistry”. *Philosophies of the Sciences*. Chichester: Blackwell-Wiley, 2010. 163-183.
- Villaveces, José. “Química y epistemología, una relación esquivia”. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia* 1.2 (2000): 9-26. <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41400302>>
- Ye, Feng. *Strict Constructivism and the Philosophy of the Mathematics*. ProQuest Dissertations and Theses, 2000. 422.
- _____. *Strict Finitism and the Logic of Mathematical Applications*. Netherlands: Springer, 2011. 35-78.