www.saber.ula.ve/avancesenquimica
Avances en Química, 6(3), 107-116 (2011)
Artículo divulgativo

Aproximación a la filosofía de la Química

Ricardo R. Contreras*

Laboratorio de Organometálicos, Departamento de Química. Facultad de Ciencias, La Hechicera, Universidad de Los Andes, Mérida, 5101, Venezuela.

(*) ricardo@ula.ve

Recibido: 22/08/2011 **Revisado**: 29/11/2011 **Aceptado**: 30/11/2011
DOI: https://doi.org/10.53766/AVANQUIM/2011.06.03.01

Resumen

La química ha adquirido una alta preponderancia en la vida humana, razón por la cual es imperiosa la necesidad de reflexionar sobre los aspectos que integran su paradigma, y sobre su autonomía frente a las demás ciencias fácticas. Se toma como punto de partida para justificar esta autonomía, el marco conceptual derivado del sistema periódico de los elementos químicos. En el presente artículo de divulgación se ha realizado una exposición sistemática de este y otros aspectos que justifican y configuran una filosofía de la química, como un área dentro de la filosofía de la ciencia, que genera el espacio más idóneo para la reflexión sobre aspectos fundamentales conceptuales, metodológicos, lingüísticos, históricos y éticos de la química. Se exponen argumentos acerca de la necesidad de una filosofía de la química, sobre la importancia histórica de la filosofía atomista, sobre las concepciones de la materia, el flogisto y la influencia de los alquimistas, hasta llegar al concepto de elemento químico y al sistema periódico. Adicionalmente, se plantea que dentro de la filosofía de la química cabe una reflexión de los aspectos bioéticos en los cuales la química tiene responsabilidad, sobre el concepto de desarrollo sostenible y la química verde.

Palabras clave: química; filosofía de la ciencia; filosofía de la química; atomismo; tabla periódica; bioética.

Abstract

Chemistry has acquired a high relevance on human life; therefore, it is imperative to think about aspects that involve its paradigm, and on its autonomy facing other natural sciences. In order to justify this autonomy, a starting point to take into account is the conceptual frame derived from the periodic system of the chemical elements. In the present outreach article, a systematic exposition of this and other aspects is performed, that justifying and configuring a philosophy of chemistry, as a field immersed in the philosophy of science, that generates the most ideal space for the attentive consideration on the fundamental aspects of chemistry such as, reconciliation between nominalism and realism, methodology, linguistic, history, and ethics. The given arguments are related with the need for a philosophy of chemistry, on the historic relevance of the atomism, on the conceptuality of matter, the phlogiston, and the influence of the alchemists, until reaching the concept of the chemical element and the periodic system. Additionally, inside the philosophy of chemistry it is attempted to perform a reflection on bioethical aspects in which chemistry is responsible, on the concept of the development of sustainability and the green chemistry.

Keywords: Chemistry; Philosophy of chemistry, Philosophy of science, Atomism, Periodic table, Bioethics.

Introducción

En la actualidad ya no se discute la importancia de la ciencia; sus descubrimientos se suceden a un ritmo vertiginoso y sus aplicaciones tecnológicas alcanzan éxitos cada vez más sorprendentes y de profunda repercusión en la vida de los pueblos[1]. Esto es especialmente cierto en la química, pues interviene en casi todos los aspectos de la cotidianidad humana –en la salud, la alimentación, la industria textil, las nuevas tecnologías, el arte, el hogar, entre otros ámbitos–, razón por la cual se viene produciendo un importante debate acerca del papel que desempeñará esta disciplina científica en el nuevo siglo. Esta discusión toma cada día más relevancia especialmente si tomamos en cuenta la crisis medioambiental que se ha puesto de manifiesto con mayor intensidad en el último cuarto de siglo, caracterizada por los crecientes daños ocasionados en virtud de la transformación de los paisajes naturales en paisajes económicos y el distanciamiento que se viene produciendo entre la natural asociación ser humano-naturaleza[2].

Ante este panorama, y a sabiendas de que la química tiene una gran responsabilidad en la construcción de la antropósfera, se hace necesario hacer una abstracción filosófica sobre la química, que englobe el estudio de sus bases fundamentales, sus métodos, su lenguaje y, especialmente, sus aspectos éticos. De allí la necesidad de

una filosofía para la química, como un espacio propicio para la reflexión y el diálogo interdisciplinario[3], de modo que se pueda comprender cada vez mejor cual será la influencia de la química en el corto, mediano y largo plazo.

El presente artículo persigue divulgar algunos de los aspectos más resaltantes y necesarios para hacer una aproximación a la filosofía de la química.

La necesidad de una filosofía para la química

Desde que en la década de 1920, el *Círculo de Viena* apostó por el desarrollo de una filosofía de la ciencia, en diversos ámbitos académicos se tomó conciencia sobre la necesidad de reflexionar sobre los conceptos, clasificación y métodos que se utilizan en la(s) ciencia(s) y su inexorable conexión con la epistemología. Inicialmente el proceso reflexivo comenzó abordando las ciencias exactas, quizá por predominar en este grupo los físicos y los matemáticos, y se pasó muy rápidamente al resto de las ciencias fácticas, encargadas por definición del estudio de la naturaleza de las cosas y los procesos que rodean la antropósfera.

A partir del Círculo de Viena la filosofía de la ciencia toma cuerpo y los estudiosos de la filosofía comienzan un proceso de sistematización de esta nueva área, comenzando por el estudio de los procesos de verificación y los criterios de demarcación[4] que sirven de espacio para que Karl Popper (1902-1994) proponga su propio modelo, el *falsacionismo*[5]. De esta manera, la filosofía de la ciencia comienza a trazar un camino independiente, que encuentra en la visión de paradigma científico[6] de Thomas Kuhn (1922-1996), un modelo muy popular para la descripción de las disciplinas científicas.

Mucho más recientemente, cada una de las grandes disciplinas científicas va adoptando dentro de la filosofía su propio camino, y se empieza a hablar de filosofía de la física[7], de la biología, de la psicología o de las ciencias sociales[8] e, incluso, de una filosofía de la tecnología[9], pero queda pendiente el tema de una filosofía de la química.

Uno de los primeros obstáculos a vencer para el establecimiento de una filosofía para la química se encontró en la idea de que la química podía ser reducida a la física, de modo que era suficiente desarrollar la filosofía de la física –esto es especialmente cierto si tomamos en cuenta el consenso alcanzado sobre que el siglo XX es el siglo de la física[10]–. La discusión parte del presupuesto de que la química, a diferencia de la física, no es necesariamente una ciencia autónoma en el sentido de que sus principios (leyes), teorías, y métodos son los de la física (v. gr. mecánica cuántica, estadística, termodinámica). Sin embargo, esto puede ser rebatido si tomamos como punto de partida, en la construcción de criterios autonómicos para la química[11], la ley de la conservación de la masa, las teorías ácido-base o las propiedades periódicas derivadas de la tabla periódica de los elementos químicos, todo lo cual ha permitido predecir y justificar la naturaleza y el comportamiento de muchas sustancias químicas.

Otro de los problemas para el establecimiento de una filosofía de la química es de tipo sociológico: los químicos, a diferencia de los físicos, los biólogos o los matemáticos, no están muy familiarizados con los temas filosóficos. Esta dificultad se encuentra desde el principio en la formación de los químicos, pues en la mayoría de los programas de estudio de las carreras de química, la filosofía de la ciencia, o no está presente, o es una materia aislada que no llena las expectativas de los estudiantes de química y, por lo tanto, no les ayuda a desarrollar el gusto por estos temas una vez que llegan a establecerse como investigadores o docentes.

Ahora bien, si partimos del presupuesto de que el tema de la autonomía de la química puede resolverse tomando como base las propiedades periódicas, y de que el problema que se le plantea a los químicos con el estudio de los temas filosóficos es un desafío que puede resolverse desde las propias cátedras universitarias, podemos concluir que están dadas las condiciones para el establecimiento de una filosofía de la química. Esto es especialmente cierto si tomamos como ejemplo a investigadores y escritores que se han convertido en pioneros en el área como es el caso de Jaap van Brakel (Universidad Católica de Lovaina, Bélgica), Nicos Psarros (Universidad de Leipzig – Alemania) o Eric Scerri (Universidad de California – Los Angeles, EE.UU.), este último, editor en jefe de la revista *Foundations of Chemistry* (Fundamentos de Química), una revista que, desde 1999, se ha planteado como objetivo fundamental:

> *… tratar de proporcionar un foro interdisciplinario donde los químicos, bioquímicos, filósofos, historiadores, educadores y sociólogos interesados en cuestiones fundamentales, pueden discutir los aspectos conceptuales y fundamentales que se relacionan con la química como "ciencia central". Dichos temas incluyen el papel autónomo de la química entre la física y la biología y la cuestión de la reducción de la química a la mecánica cuántica*[12].

Otro entusiasta de la filosofía de la química es Joachim Schummer (Universidad de Karlsruhe, Alemania) editor en jefe de la revista *HYLE*: *International Journal for*

Philosophy of Chemistry (revista internacional para la filosofía de la química), una publicación que, desde 1995, se ha planteado como objetivo divulgar

> *artículos frente a los problemas epistemológicos, metodológicos, fundamentales y ontológicos de la química y sus subcampos, las peculiaridades de la química y las relaciones con la tecnología, otros campos científicos y no científicos, cuestiones estéticas, éticas y ambientales de la química, así como las facetas filosóficas, la historia, la sociología, la lingüística y la educación de la química*[13].

Bajo estas premisas queda clara la factibilidad de una filosofía para la química que toma como punto de partida el estudio de sus bases teóricas, metodológicas, experimentales, lingüísticas, sociológicas y éticas –o mejor, bioéticas–, así como la reflexión sobre su clasificación y las diversas áreas de competencia de los químicos.

La filosofía atomista

Para analizar el atomismo debemos referirnos en primer lugar a Demócrito de Abdera (Tracia, 460-370 antes de J.C.), discípulo de Leucipio, el más longevo de los filósofos presocráticos[14], el cual de acuerdo a la tradición, es el primero en pensar en la existencia de una sola razón de ser para las cosas, es decir, un único principio indivisible del cual estarían compuestas todas los objetos animados e inanimados, el *átomo* [15]. Esta apuesta por una causa unívoca de las cosas le da a Demócrito un estatus especial en el concierto de los filósofos presocráticos, reconocido por el propio Aristóteles que años más tarde dijo de él: "… *no solo parece haber pensado cuidadosamente en todos los problemas, sino haberse distinguido del resto* [de los filósofos] *por su método*". Y, además añadió: "*Los argumentos de Demócrito son apropiados a su tema y derivados del conocimiento de la Naturaleza".*

Los principios que establece Demócrito para explicar el universo se basan en la eterna cuestión de *lo lleno* frente a *lo vacío*, esto es, el *ser* y el *no ser*. En consecuencia, el nacimiento y la muerte aparente de los objetos de los cuales se compone el universo, tienen que ser explicados –como ya lo había señalado Empédocles (Agrigento, 482/483 – 430 antes de J.C.)–, considerándolos como combinaciones fortuitas de una multiplicidad de elementos que son los únicos que merecen existir. Para explicar esto es necesario recurrir a una brillante conjetura: que estos elementos, o "únicas realidades verdaderas", eran unos cuerpos sólidos muy pequeños –tanto, que no podían ser considerados por los sentidos–, que chocan entre sí y se rechazan en un movimiento incesante. A estas especies se les denominó *atomoi* (del griego, indivisibles) y se les asignó una serie de características especiales como que eran las partículas más pequeñas de materia, sólidas, duras, e indestructibles, las cuales solo difieren en su tamaño, forma y posición[16].

Los átomos vendrían a ser elementos cuyas determinaciones generales son geométricas y, por lo tanto, cuantitativas. Se mueven en el vacío, que sería el lugar donde ocurrirían los cambios, y no simplemente la nada. Los átomos son eternos, e incausados porque son lo primero a partir de lo cual las cosas tienen su existencia, pero esa eternidad está ligada al movimiento, que se efectúa de un modo tan mecánico, con riguroso encadenamiento causal, que no es simple azar, pues todo acontece por razón y necesidad.

Demócrito avanza señalando que, como debe existir un vacío entre átomo y átomo cuando se suman para formar las cosas, éstos podrían moverse y estarían obligados a establecer relaciones entre sí, esto es, tendrían una tendencia a enlazarse.

Estos átomos tendrían relaciones precisas de tamaño y forma: algunos serían más *rugosos* y otros más *lisos*, con lo cual se vendrían a explicar los diversos órdenes o clases de las cosas, que se ordenarían según su textura, color, sabor, olor y todo ello como consecuencia de las posibilidades que tendrían los átomos de combinarse y de enlazarse.

Históricamente, el atomismo fue perdiendo terreno en la propia Grecia frente a la teoría de los cuatros elementos a la cual el Estagirita le añadió un quinto elemento, el "*aeter*". Aunque en Aristóteles encontramos un principio similar al átomo, denominado "mínimos (mínimas partes)", su modelo plantea inequívocamente que todas las cosas se pueden reducir a estos cuatro elementos: tierra, fuego, aire y agua. Este modelo, obviamente asumido por el escolasticismo, se impondrá durante toda la edad media. Sin embargo, durante este período la idea del átomo se conserva y constituye lo que de manera general se llamó atomismo, el cual permaneció prácticamente sin ningún cambio hasta el siglo XIX.

De acuerdo al atomismo clásico, un átomo no puede dividirse más, esta cualidad viene a ser la base fundamental del atomismo, pues para que sea consistente la propuesta, el átomo debe ser el fin último por debajo del cual no hay otra cosa. Ahora bien, lo curioso es que esta característica del átomo se ha llegado a extrapolar y, como consecuencia, se han planteado átomos físicos, átomos mentales o psíquicos, átomos sociales, átomos metafísicos, átomos lógicos, entre otros.

En el atomismo moderno, eminentemente físico[17], sabemos que el átomo sí es divisible, pero el modelo más general sigue siendo válido y, por tanto, se habla de atomismo como símil de las teorías atómicas. Esto tiene

especial sentido si tomamos en cuenta las palabras del ilustre Richard Feynman (1918-1988), que sobre el atomismo señaló, en una de sus famosas conferencias en el Instituto Tecnológico de California:

> *Si por un cataclismo resultaran destruidos todos los conocimientos científicos y sólo una frase pudiera pasar a las generaciones siguientes, ¿qué sentencia contendría el máximo de información en el mínimo de palabras? Yo creo que es la hipótesis atómica (o el hecho atómico, o como quieran llamarlo), según la cual todas las cosas están hechas de átomos – pequeñas partículas que se encuentran en perpetuo movimiento y se atraen entre sí cuando se sitúan a corta distancia, pero que se repelen si se intentan introducir una en la otra–. Sólo con que se utilice un poco de imaginación y de reflexión, en esta única frase, como verán, está contenida una enorme cantidad de información sobre el mundo*[18].

La influencia filosófica de los alquimistas

A pesar de que los alquimistas, como buenos seguidores de las doctrinas herméticas, basaron mucho de su trabajo en el manejo de los cuatro elementos aristotélicos, es interesante encontrar que operaban sobre la base de un sistema corpuscular de la materia e iban más allá de la pura búsqueda de la piedra filosofal. Muchos alquimistas estaban conscientes de que a través de sus operaciones –manejo de diversas sustancias, animadas e inanimadas o, mejor, orgánicas e inorgánicas– podrían contribuir con el desarrollo humano. Esto es especialmente cierto si tomamos en cuenta que muchos alquimistas practicaron la medicina[19], por lo cual el propio Teofrasto Paracelso (1493-1541) llegó a exclamar: "*el propósito de la alquimia no es, como se dice, hacer oro y plata, sino en este caso hacer arcanos y dirigirlos contra las enfermedades, como ese es el resultado, esa también es la base*"[20]. En este mismo orden de ideas Roger Bacon (1214-1294), en su *Opus tertium*, destaca la importancia social de la alquimia señalando que "*esta ciencia –la alquimia operativa– es mucho más importante que todas las que le han precedido, pues permite adquirir ventajas, no solo proporciona plata y una gran cantidad de otras cosas útiles para el Estado, sino que también enseña a prolongar la vida humana tanto como lo permiten las leyes naturales*."[21]

Lamentablemente, dentro del grupo de los alquimistas había muchos charlatanes, embaucadores profesionales y personas de dudosa reputación, responsables de la leyenda negra que sobre ellos se ha venido extendiendo a lo largo de la historia y que ha contribuido al desarrollo de toda una mitología, la cual ha servido para alimentar a escritores de libros de misterio y ciencia ficción, con los cuales se ha hecho a los alquimistas protagonistas de novelas y películas.

No obstante, debemos señalar que los alquimistas y el esfuerzo que hicieron en el trabajo de manejar las sustancias de la naturaleza, se ven reivindicados por un grupo de pensadores, muchos filósofos, otros médicos y, los más, teólogos, que fueron al mismo tiempo alquimistas y realizaron importantes observaciones experimentales que sirvieron de base empírica para muchos de los descubrimientos que dieron paso a la química:

> [los alquimistas] *encuentran deleite en el laboratorio* […] *que ponen los dedos entre los carbones, el zulaque* [pasta hecha con estopa, cal, aceite y escorias o vidrios molidos] *y el estiércol, no en anillos de oro* […] *que disfrutan ocupándose del fuego y aprendiendo los pasos del conocimiento alquímico. De esta clase de conocimientos son la destilación, la resolución, la putrefacción, la extracción, la calcinación, la reverberación, la sublimación, la fijación, la separación, la reducción, la coagulación, la tintura y otros semejantes*[20].

Esta preferencia por la experimentación en la alquimia es consecuencia de varios factores, entre los que podemos señalar la influencia de la *ciencia árabe*, que irrumpe en Europa desde el califato de Córdoba (*al-Ándalus*) en la península Ibérica y, por otro lado, la fundación de las universidades medievales (*Bolonia*, *París* y *Oxford*, primero y *Padua*, *Salerno*, *Orleans* y *Cambridge*, después). La figura más notable de este movimiento fue Roger Bacon, un monje franciscano de la universidad de Oxford y un crítico de la *ciencia contemplativa* heredada del pensamiento griego, que busca la comprensión del *ser* y el carácter del *ente*, a través de la pura reflexión o la contemplación de los hechos de la naturaleza, sin intervenir en ella a través de experimentos[22]. Bacon concluye que "*los verdaderos estudiosos deberían conocer la naturaleza a través de la experimentación* [más tarde será Galileo el que reivindique esta premisa], *así como de los medicamentos, la alquimia y todas las cosas de los cielos o de debajo de ellos*"[23]. El propio Bacon desarrolló experimentos en el área de la óptica siguiendo la tradición de la ciencia árabe.

Una de las mayores contribuciones de los alquimistas fue la descripción y manejo de distintas sustancias a las que ellos denominaron mercurios, sales y azufres, dentro de los cuales se encuentran varios ácidos minerales, descritos por primera vez por el franciscano Vital du Four (1260-1327),

y el alcohol preparado por la destilación de vinos y cervezas, descrito por un oscuro personaje solo conocido como el *Magister Salernus*, muerto en 1167.

Para los alquimistas, los constituyentes de las cosas se podían separar mediante calor, con lo que el "espíritu" escapaba como vapor que se podía condensar a veces en forma líquida. El mercurio ocupaba un lugar especial, pues era el único metal que podía ser destilado, produciendo un espíritu aislable. Sobre el mercurio, las sales y azufres, los alquimistas señalaron que:

> *… el azufre tiene dos aspectos que aparentemente se contradicen: como causa que da forma, determina primero la cristalización de la materia o cuerpo que se ha de transformar y, por tanto, también su fragilidad y su dureza; así, se muestra como obstáculo a la purificación, y mientras no se diluye por completo la cristalización de la materia, no se manifiesta el azufre como la causa creadora de la nueva forma noble. La disolución es provocada por el mercurio; por tanto, al principio, éste actúa contra el azufre, al arrebatarle la materia, para ofrecerse después a él como materia nueva ilimitadamente dúctil*. […] *El azufre determina la calcinación; el mercurio, la evaporación; la sal es la ceniza que queda y que sirve para retener el espíritu "volátil" de las cosas*[24].

Como se puede observar, la naturaleza del lenguaje utilizado por los alquimistas para describir las conclusiones de sus observaciones experimentales, es de una variedad y riqueza tal que será apropiado posteriormente por la química, obviamente dándole un nuevo sentido, en un proceso que Thomas Kuhn llama de "inconmensurabilidad" –esto es, el nuevo paradigma toma elementos del lenguaje del antiguo paradigma, pero les da toda una nueva identidad conceptual–. Esto último tiene mucho sentido si consideramos que los alquimistas utilizaron símbolos (ver Fig. 1) para identificar cada una de las sustancias que estudiaron, un sistema que más adelante sentará bases lingüísticas para tratar el tema de los elementos químicos.

Desde la alquimia, pasando por el flogisto, hasta llegar a la química

En el esfuerzo por reflexionar sobre la naturaleza de la materia animada e inanimada es necesario citar el modelo del *flogisto*. En 1669, Joachim Becher (1635-1682), profesor de medicina de Mainsz, sugirió que las sustancias *térreas sólidas* contienen tres elementos constitutivos: la *terra lapida* (tierra fija), la *terra mercurialis* (tierra fluida) y la *terra pinguis* (tierra oleásea), equivalente al azufre de los alquimistas.

Becher sostuvo que todas las sustancias comburentes contenían esta *terra pinguis* o sulfurosa, que se desprendía cuando ocurría una combinación con otras *terras* en el proceso de combustión.

En 1703, Georg Ernst Stahl (1660-1734), profesor de medicina en Halle, confirió a la *terra pinguis* de Becher el nombre de *flogisto,* definido como el principio sulfúreo que animaba el calor en una combustión. Un metal vendría a ser una combinación de cal y flogisto que, cuando era expuesto al calor del fuego, liberaba el *flogisto* y quedaba como residuo la cal. Luego, el *flogisto* era un *elemento esencial* de todos los cuerpos combustibles: aceites, grasas, madera, carbón, y otros combustibles que contenían cantidades de *flogisto* muy grandes. Según esto, cuando un cuerpo era quemado, el *flogisto* pasaba a la atmósfera o a cualquier otro cuerpo capaz de combinarse con él.

Este modelo dominó por algún tiempo entre los siglos XVII y XVIII hasta que varias mentes inquietas empezaron a experimentar con los gases y la combustión, y se dieron cuenta de que el modelo del *flogisto* fallaba, pues resultó que algunas sustancias al ser calentadas no perdían peso, sino que aumentaban. Esta observación, se convirtió en la anomalía que terminó por derribar el paradigma de la teoría del *flogisto*[6].

En la transición desde la alquimia, pasando por el *flogisto* y hasta llegar a la química como una ciencia normal, se encuentra el trabajo de Robert Boyle (1627-1691), el cual en su obra *El químico escéptico*, formuló la definición moderna de un elemento como "*una sustancia que no se puede separar en sustancias más simples*", y argumentó la necesidad de la experimentación empírica, así como la necesidad de comunicar los conocimientos científicos, elementos necesarios para llegar a un método científico.

Boyle ayudó a fundar la Real Sociedad (oficialmente constituida en 1662) siguiendo el espíritu de Sir Francis Bacon (1561-1626), quien en su utopía tecnológica la *Nueva Atlántida*, propugna la importancia de crear espacios como las academias o sociedades científicas, que él denominó *Casa de Salomón*, las cuales vienen a ocupar un papel preponderante para el desarrollo científico:

… Habréis de saber, mis queridos amigos, que entre los excelentes actos de aquel rey hubo uno que sobresale de todos los demás, Tal era la fundación e institución de

una orden o sociedad que nosotros llamamos Casa de Salomón, la asociación más noble –según creemos– que hay sobre la tierra y que es faro de este reino. Está dedicada al estudio de las obras y criaturas de Dios[25].

A partir de Boyle se empiezan a suceder una serie de hechos sobresalientes que van configurando a la química como la conocemos hoy. Por una parte tenemos a Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794), quien avanza sobre la comprensión de las reacciones químicas. En 1783, Lavoisier anunció la renovación de la teoría química que había imperado –la esposa de Lavoisier, Marie Anne Paulze Lavoisier, quien era su colaboradora y asistente de laboratorio, celebró ceremonialmente el comienzo de la nueva química quemando los libros de Stahl y de los otros partidarios del *flogisto*–. Lavoisier estableció que la combustión y la calcinación involucraban la combinación química del comburente con el oxígeno, dado que el peso de los productos formados equivalía al peso de los materiales de partida. Esta premisa sirvió de partida a la ley de la conservación de la materia. En su obra *Elementos de química* de 1789, Lavoisier enumeró veintitrés (23) sustancias "elementales". Partiendo de la obra de Lavoisier, John Dalton (1766-1844) desarrolló una teoría atómica, la cual establecía que:

> *Sólo imaginando que la materia esté constituida por pequeñas unidades* [los átomos]*, se puede explicar por qué, cuando dos elementos reaccionan dando lugar a un compuesto, sus pesos se mantienen en una relación fija; y sobre todo se puede explicar por qué, si un peso constante de un elemento puede reaccionar con pesos variables de otro, dando en este caso compuestos diferentes, la relación entre estos pesos variables es un número entero. Si la materia fuera continua, no habría ningún motivo por el cual la relación no pudiera ser un número cualquiera, no necesariamente entero*[26].

Fig. 1: Símbolos utilizados por los alquimistas medievales para designar distintos tipos de mercurio, sales y azufres[20].

Por su parte Amadeo Avogadro (1776-1856), analizó las relaciones entre las moléculas y las condiciones de temperatura y la presión, postulando sus relaciones en forma de leyes. En esta misma línea Joseph-Louis Proust (1754-1826) –quien prestaba mucha atención a purificar con cuidado los productos de sus experimentos–, propone la Ley de las proporciones constantes.

La contribución de estos otros pensadores científicos fueron configurando las bases del paradigma de lo que será denominado en adelante *química*, un nombre derivado de la palabra *chymia*, con la cual el médico, poeta y alquimista Andreas Libavius (1550-1616), quería separar los procesos prácticos desarrollados en los laboratorios o gabinetes de trabajo, de los ejercicios puramente esotéricos (herméticos) de la alquimia[27]. Siguiendo este esquema, Libavius escribió lo que probablemente sea el primer libro de química, su *Alchemia* de 1597, que ha sido descrito como la primera forma didáctica y útil de libro de texto en la historia de la química.

La tabla periódica en la construcción del paradigma de la química

La importancia desde un punto de vista epistemológico de la tabla periódica de los elementos químicos es indiscutible pues, adicionalmente, constituye una de las bases fundamentales de la matriz disciplinaria del paradigma de la química. Sobre la importancia paradigmática de la tabla periódica, el filósofo de la química Eric Scerri ha señalado:

La tabla periódica de los elementos es uno de los iconos más poderosos de la ciencia: un documento único que captura la esencia de la química en un patrón elegante. De hecho, nada parecido existe en la biología o la física, o en cualquier otra rama de las ciencias. Uno ve las tablas periódicas en todas partes: en los laboratorios industriales, talleres, laboratorios académicos, y por supuesto, salas de conferencias[28].

Tabla 1: Algunos investigadores y sus propuestas sobre el sistema periódico de los elementos químicos, ordenados cronológicamente.

AÑO	AUTOR	CONTRIBUCIÓN
1815	*William Prout* (1785-1850)	*Estableció una teoría, en función de las afinidades de las sustancias. En esta propuesta los pesos de los elementos químicos son múltiplos enteros del peso de hidrógeno.*
1829	*Johann W. Dobereiner* (1780-1849)	*Reportó la posibilidad de ordenar los elementos químicos en "tríadas", ordenadas en orden creciente de sus pesos atómicos. También observó que los elementos de una misma tríada tenían similitud en su reactividad*
1850	*Max von Joseph Pettenkoffer* (1818-1901)	*Sugirió que entre los elementos químicamente semejantes, las diferencias entre masa molecular o eran constantes o eran múltiplos de una constante.*
1857	*William Odling* (1829-1921)	*Ordenó los elementos químicos en trece grupos, sobre la base de la similitud de sus propiedades fisicoquímicas, similar a las "tablas de afinidades".*
1862	*Alexander de Chancourtois* (1820-1886)	*Desarrolló un sistema en el que los elementos químicos estaban ordenados en forma creciente según su peso atómico, pero distribuidos en forma de espiral a lo largo de un cilindro.*
1864	*John Alexander Newlands* (1837-1891)	*Reportó, ante la Real Academia de Química de la Gran Bretaña, que al disponer los elementos químico en una "tabla" —mucho más fácil que en un tornillo de Chancourtois—, con columnas de siete elementos y filas, se tenía una forma más sistemática de correlacionar la reactividad de los elementos.*

Antes de entrar a discutir sobre su importancia para la filosofía de la química, es necesario reconocer el trabajo de varios investigadores, cuyas observaciones sirvieron de punto de partida para el postulado general del sistema periódico de los elementos químicos. En la tabla 1 ordenamos cronológicamente estas observaciones y propuestas.

Ya en 1869 se había llegado al momento propicio para que Dmitri Mendeleyev (1834-1907) propusiera el sistema periódico de los elementos en forma de una *tabula* o tabla periódica, tal y como ha llegado hasta nuestros días. Mendeleyev descubrió los patrones de las propiedades y los pesos atómicos de los halógenos y algunos metales alcalinos, las similitudes en series como las del cloro, el potasio y el calcio (Cl/K/Ca) o el yodo, el cesio y el bario (I/Cs/Ba), organizando los elementos de acuerdo a sus características fisicoquímicas y en orden ascendente de peso atómico.

Sin embargo, nadie había determinado aún definitivamente algunos pesos atómicos, lo que causó algunos errores. Mendeleyev descubrió que tenía que reubicar diecisiete elementos de acuerdo con sus propiedades e ignorar los pesos atómicos previamente señalados. Además, dejó sitios indicados para posibles nuevos elementos, ya que ninguno

de los que se había descubierto para ese momento, justificaba adecuadamente las propiedades asignadas a esos espacios. De este modo predijo la existencia de nuevos elementos tales como aluminio, boro, silicio, para un total de diez elementos, de los cuales siete fueron confirmados en el corto y mediano plazo.

La tabla periódica de los elementos químicos allanó el camino para el desarrollo de los mayores avances en la teoría y la práctica de la química. Por ejemplo, Linus Pauling (1901-1994), en la primera mitad del siglo XX, empleará la mecánica cuántica para conceptualizar las estructuras subatómicas, sobre la base del sistema periódico. Este y otros postulados que correlacionan la tabla periódica con las propiedades fisicoquímicas de los elementos y el enlace químico, permitirán mejorar el control de los procesos químicos y repercutirán en un aumento de la capacidad de diseñar nuevos compuestos[29]. Por otro lado, la tabla periódica efectivamente predijo la posibilidad de toda una serie de elementos, dando inicio a una carrera en medio de la cual se desarrollaron importantes contribuciones a la tecnología química. En tal sentido podemos destacar los aportes de Clemens Winkler con el germanio (Ge, 32), Karl Ernst Claus con el rutenio (Ru, 44), Marie Curie con el radio (Ra, 88) y el polonio (Po, 84), Maraguerite Perey con el francio (Fr, 87), solo por señalar algunos[30]. Mención especial merece el descubrimiento de los elementos transuránicos creados experimentalmente por el grupo de Glenn Seaborg (1912-1999) (descubridor de los elementos con número atómico superior a 93), y el Instituto Ruso de Investigación Nuclear (Dubna), encabezado por Yuri T. Oganessian (descubridores de los elementos con número atómico superior a 113).

Será esta capacidad de predecir (predictibilidad) la existencia de nuevos elementos químicos y sus propiedades, sumado a la necesidad de determinar un espacio para los gases nobles y para las tierras raras, las que ponen de manifiesto la importancia de las ideas de Mendeleyev, y le confieren a la tabla periódica un lugar preponderante en la filosofía de la química[31], que obviamente propicia un debate adecuado para esta nueva área de la filosofía de la ciencia[32].

La bioética y la filosofía de la química

Es obvio que la filosofía de la química no escapa de la necesidad de abordar temas relacionados con la ética, en virtud de que los resultados del ejercicio profesional de la química han trascendido todos los ámbitos de la sociedad. En este sentido, se abre todo un campo de debate que toma en cuenta la gestión responsable, los códigos profesionales o la conducta individual de los químicos.

La ética en la química incluye preguntas relativas a las relaciones con la sociedad, es decir, la importancia de los valores particulares de los químicos y su relación con los valores generales de la sociedad. Aquí es necesario contemplar la necesidad de establecer códigos de conducta profesional muy claros sobre lo que es el comportamiento ético o antiético, sobre la base de las preguntas derivadas de la ética clásica: ¿cuáles son las responsabilidades de los químicos ante la sociedad?, y, ¿qué lecciones se pueden aprender sobre los efectos positivos y negativos de la investigación química?

Es necesario hacer una valoración ética sobre la investigación y desarrollo de sustancias químicas que serán empleadas como fármacos, drogas, productos de consumo masivo o, aquellas que son potencialmente tóxicas o que pueden ser mal utilizadas de manera inconsciente o deliberada –como armas químicas–, y, finalmente, el papel de la química de cara al grave deterioro medioambiental. Esto último nos conduce inexorablemente a pensar en la necesidad de llevar el debate de la filosofía de la química hasta el área de la bioética[33, 34].

La bioética trata de buscar una nueva visión de la ética que toma en cuenta no solo las responsabilidades entre los individuos, el clásico *ethos* de la *polis*, sino que trasciende a las responsabilidades de los seres humanos con el medioambiente, tal y como lo plantea Van Rensselear Potter (1911-2001), el cual apostó por una ética de la tierra, de la naturaleza, de la población así como del uso y consumo de los recursos naturales a escala mundial[35].

En este orden de ideas, la filosofía de la química puede entrar a examinar los criterios del desarrollo sostenible como criterios de orientación que señalen nuevas líneas de investigación y campos de acción para la química.

La conceptualización del desarrollo sustentable ocurre en 1987 sobre la base del trabajo de la Comisión Mundial de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Desarrollo, la cual adoptó por unanimidad el documento *Nuestro Futuro Común* o *Informe Brundtland*[36]. Este informe, coordinado por Gro Harlem Brundtland, constituye un marco de acuerdos entre científicos y políticos de cara a los problemas globales en materia medioambiental. Allí se refirió el desarrollo sostenible como: *aquel que satisface las necesidades esenciales de la generación presente sin comprometer la capacidad de satisfacer las necesidades esenciales de las generaciones futuras*. Entonces, el desarrollo sostenible envuelve tres ámbitos fundamentales de acción: (1) el bienestar humano, (2) el bienestar ecológico y (3) las interrelaciones entre ambos.

Con el desarrollo sostenible se persigue alcanzar un enfoque integrador del desempeño económico y medioambiental, en el que el crecimiento económico debe ser suficiente para resolver el problema de la pobreza y al

mismo tiempo ser sostenible para evitar una crisis medioambiental. Adicionalmente, se toma en consideración la *equidad entre generaciones*, lo que vendría a ser una toma de conciencia por parte de la generación actual, de que sus acciones pueden poner en riesgo la calidad de vida de las generaciones futuras. Se buscaría dirigir la acción de los actores sociales con miras a administrar con justicia y prudencia los recursos naturales, a fin de sentar las bases para el establecimiento y el sostenimiento de la paz.

A partir del desarrollo sostenible, la filosofía de la química tiene un nuevo campo para la reflexión, se trata de la *química verde*. Con la química verde se quiere hacer un esfuerzo por minimizar o eliminar la contaminación derivada de la industria química, mediante la elaboración de productos químicos que no atenten contra la salud o el medioambiente. La química verde contempla cinco modalidades de acción: (1) minimizar la generación de subproductos en las trasformaciones químicas –economía atómica–, (2) reducir el uso de solventes, (3) diseñar procesos químicos basados en el uso de materias primas renovables, (4) mejorar los procesos químicos con tecnologías que contribuyan a la disminución de las emisiones que contaminan el aire, el suelo y las aguas, y (5) adelantar el desarrollo de protocolos y métodos con el fin de monitorear la contaminación en tiempo real[37]. Estas cinco grandes modalidades de acción se desarrollan en los denominados *doce principios de la química verde*, donde se desarrollan con bastante amplitud todas las actividades que se pueden llevar a cabo para lograr que los procesos químicos armonicen al máximo con el medio ambiente.

Conclusiones

En virtud de la especial relevancia que la química ha adquirido en la sociedad, es muy pertinente reflexionar sobre ella como disciplina científica fáctica y sobre los elementos que se integran en su paradigma, comenzando por el sistema periódico de los elementos químicos. Por esta razón y, a partir de una reflexión epistemológica, se puede inferir que dentro de la filosofía de la ciencia podemos desarrollar una *filosofía de la química*, que puede ser considerada como el espacio más idóneo para la reflexión sobre aspectos fundamentales conceptuales, metodológicos, lingüísticos, históricos y éticos de la química, que requiere integrar aspectos del desarrollo sostenible y visualizar más claramente la necesidad de una química verde, de cara al desafío que representa la crisis medioambiental y la globalización.

Referencias

1. L Geymonat. El pensamiento científico. EDEBA, Buenos Aires (1994).
2. R Contreras. Desarrollo sostenible y química verde. **Revista Investigación**, aceptado para su publicación (2011).
3. Z Saldivia. La interdisciplinariedad, método holístico cognitivo. **Rev. Hum. Educ.** 2(4), 157-162 (2008).
4. A Chalmers. ¿Qué es esa cosa llamada ciencia? Siglo Veintiuno Editores, Madrid (1999).
5. R Jaimes. Origen y destino del conocimiento científico. Fondo Editorial Tropykos, Caracas (1998).
6. T Kuhn. Estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica, México (1995).
7. S Glashow. El encanto de la física. METATEMAS, Barcelona (España) (1995).
8. M Bunge. Epistemología. Siglo Veintiuno Editores, Barcelona (España) (2004).
9. A Chiappe. La posibilidad de un puente sobre problemas actuales de la filosofía de la tecnología. **Utopía y Praxis Latinoamericana, 14(46)**, 51-69 (2009).
10. L Navarro Veguillas (Ed.). El siglo de la física. METATEMAS, Barcelona (España) (1992).
11. R Vivas-Reyes. Filosofía de la química: un área ampliamente olvidada. **Rev. Acad. Colom. Cienc., XXXIII(126)**, 125-128 (2009).
12. E Scerri (Edit.). Aims and Scopes. Foundations of Chemistry. Disponible en URL: http://www.springer.com/philosophy/epistemology+and+philosophy+of+science/journal/10698.
13. J Schummer. Aims and Scopes. HYLE: **International Journal for Philosophy of Chemistry**. Disponible en URL: http://www.hyle.org/journal/concept.htm#scope.
14. JD García-Bacca. Los presocráticos. Fondo de Cultura Económica, México (2009).
15. A Chalmers. The scientist's atom and the philosopher's stone. Springer, Dordrecht (2009).
16. W Guthrie. Los filósofos griegos (de Tales a Aristóteles). Fondo de Cultura Económica, México (2010).
17. R Penrose. El camino a la realidad. Random House Mondadori, Barcelona (España) (2007).
18. J. Gribbin. Introducción a la ciencia. Editorial Crítica, Barcelona (España) (2000).
19. R Pérez-Tamayo. De la magia primitiva a la medicina moderna. Fondo de Cultura Económica, México (2003).
20. W Perry. Alquimia. PLENUN, Barcelona (España) (1995).
21. R Vidal. La alquimia. EDIMAT libros, Madrid, (2000).
22. W Szilasi. ¿Qué es la ciencia? Fondo de Cultura Económica, México (1956).
23. S Mason. Historia de las ciencias. Vol. 1. La ciencia antigua, la ciencia en Oriente y en la Europa medieval. Alianza Editorial, Madrid (1996).

24. T Burckhardt. Alquimia. Plaza & Janes Editores, Barcelona (España) (1971).

25. F Bacon. Instauratio magna / Novum organum / Nueva Atlántida. Editorial Porrúa, México (2000).

26. G Fochio. El secreto de la química. Ediciones Robinbook, Barcelona (España) (2001).

27. B Moran. Alchemy, Chemistry and the History of Science. **Stud. Hist. Phil. Sci., 31(4)**, 711–720 (2000).

28. E Scerri. The Periodic Table. Its Story and Its Significance. Oxford University Press, New York (2007).

29. C Mitcham (Edit.). Encyclopedia Science, Technology and Ethics. Vol 1. Thomson Gale, Farmington Hills (MI) (2005).

30. B Fontal, R Contreras. Origen del nombre de los elementos químicos. Editorial Casa Blanca, Mérida (2002).

31. E Scerri, J Worrall. Prediction and the Periodic Table. **Stud. Hist. Phil. Sci., 32(3)**, 407-452 (2001).

32. S Brush. Predictivism and the Periodic Table. **Stud. Hist. Phil. Sci., 38**, 256-259 (2007).

33. B Fontal, R Contreras, L Otero. Incorporando la enseñanza de la bioética en la carrera de química. **ALDEQ XXI,** 15-20 (2005-2006).

34. J Bryant, L Baggott la Velle, J Searle. Bioethics for Scientists. John Wiley & Sons, Baffins Lane (2002).

35. V Potter. Global Bioethics: Building on the Leopold Legacy. East Lansing, Michigan State University Press (1988).

36. T Spiro, W Stigliani. Química medioambiental. Madrid, Prentice Hall (2007).

37. M Lancaster. Green chemistry. Cambridge UK, Royal Society of Chemistry (2002).