

ESCRIBIR Y HABLAR EN QUÍMICA ¿QUIMIQUÉS O SÍMBOLOS PARA CONSTRUIR CONOCIMIENTO?

María Gabriela Lorenzo

.....

Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica, Facultad de Farmacia y Bioquímica. Instituto de Investigación en Educación Superior. Universidad de Buenos Aires. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Junín 956. Ciudad de Buenos Aires (CP 1113). Argentina.

glorenzo@ffyb.uba.ar

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9957-8392>

Recibido: 12/12/2020
Aceptado: 15/04/2021

Resumen

En este trabajo se presenta un análisis reflexivo sobre la importancia del lenguaje químico en la construcción de conocimiento químico y sobre los circuitos comunicativos de los que forma parte. Se recorren algunos de los múltiples aspectos del lenguaje de la química para intentar comprender muchas de las dificultades de aprendizaje de nuestros estudiantes con el fin de reflexionar sobre diversas formas de enseñanza. Se revisan los orígenes y desarrollo del vocabulario técnico específico, el establecimiento de diversos sistemas de nomenclatura, su relación con otros niveles representacionales de la química en el marco del modelo de Johnstone. Particularmente, se examinan los orígenes y evolución de los sistemas de nomenclatura en química orgánica.

Palabras clave: Lenguaje químico; Historia de la química; Escritura de fórmulas químicas y nomenclatura; Química orgánica, Modelo de Johnstone.

Saber química es dominar su lenguaje

Si hay algo que distingue a la especie humana, es la capacidad de comunicarse desplegando no solo el sonido de su voz, sino también, una multiplicidad de recursos en continuo desarrollo e innovación que median entre nuestras ideas y

las de los demás. Así, las artes utilizan un lenguaje connotativo con el fin de generar interpretaciones subjetivas. A pesar de que las ciencias apelan a un lenguaje de tipo denotativo con la intención de lograr una descripción objetiva de cierta parcela de la realidad, el lenguaje científico no resulta inequívoco, ni desnudo de connotaciones o significados implícitos. Precisamente por esto, el lenguaje de las ciencias merece un lugar destacado ya que resulta imprescindible para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias.

Desde una perspectiva amplia, podemos considerar que el avance de la ciencia está condicionado por el trabajo serio y riguroso de los científicos, y además, por la capacidad de comunicar los resultados que se obtienen, entre ellos y a toda la sociedad. En este sentido, la química, como disciplina científica, reúne una pluralidad de tradiciones históricas, métodos y metas científicas (Schummer, 1998, 2007). Los químicos, al planificar una nueva investigación o reflexionar sobre unos resultados, recurren siempre a las fórmulas químicas, escribiéndolas sobre un papel o hablando con otros sobre ellas. Las fórmulas químicas, a diferencia de las palabras cotidianas, no son transparentes al significado, y debido a su carácter simbólico son objetos de escrutinio (Weininger, 1998). Es decir que las fórmulas químicas constituyen un sistema de notación particular que conforman un sistema externo de representación y como tales, presentan determinadas características espaciales, que les permiten ser manipuladas como objetos *perceptibles* mientras que como objetos *representativos* dirigen nuestra atención hacia una realidad distinta (Martí y Pozo, 2000).

Las prácticas educativas de química están tan estrechamente vinculadas al uso eficaz del lenguaje químico, que la prestigiosa revista *Chemistry Education, Research and Practice* dedicó un número completo a este tema hace unos pocos años. En su editorial de presentación, Markic y Childs (2016) hacen explícitas las dificultades derivadas de la falta de dominio del lenguaje químico sobre el aprendizaje de la química, tanto en el nivel secundario como en el universitario. Los diferentes artículos que componen ese monográfico muestran una amplia variedad de aspectos y circunstancias en donde el lenguaje químico en sus múltiples facetas, repercute tanto en la enseñanza como en el aprendizaje y nos conminan a profundizar en las investigaciones sobre esta cuestión. Estos autores señalan que la verdadera complejidad del lenguaje químico -al que denominan *Chemisch*, así como en idioma castellano nos referimos a él como *Químiqués* (Pozo, 2000)- deviene de la inclusión de palabras y términos técnicos, palabras comunes o no-técnicas, conexiones lógicas, instrucciones, argumentaciones y un discurso particular que conforman textos difíciles de comprender por su baja legibilidad para el lector inexperto.

Algunas palabras empleadas en química son tomadas del lenguaje cotidiano (García-Martínez, 2019) y resignificadas en el contexto de la disciplina, son por tanto términos polisémicos para los cuales se requiere una comprensión del contexto de utilización (concentración, núcleo, sal, alcohol, aromático, base) (Quílez, 2019, Quílez-Pardo y Quílez-Díaz, 2016). Sumado a lo anterior, otra gran cantidad de términos técnicos propios de la química, fueron “inventados” por los químicos, creando neologismos a partir de las lenguas clásicas (isómeros, polímeros, hidrófilo). Esta abundancia de términos técnicos, hace desde un comienzo, que la química se presente difícil para el estudiantado y requiere que el profesor de química sea también un profesor de lengua (Quílez-Pardo, 2016).

Es así que podemos visualizar al lenguaje químico formado por múltiples capas como si fuera un acantilado a orillas del mar (Bensaude-Vincent, 1999) al que con su encanto, pero también con el vértigo que nos provoca, debemos sortear, escalar o evitar caer en nuestras clases de química. Por eso, en este trabajo recorreremos algunos de los múltiples aspectos del lenguaje de la química para intentar comprender muchas de las dificultades de aprendizaje de nuestros estudiantes y esbozar algunas propuestas para enseñar química al mismo tiempo que su lenguaje (Mortimer, 2000).

En clase, las sustancias químicas ni los materiales de los que forman parte, no son mostradas como polvos o líquidos, sino que suelen ser (re)presentadas a los estudiantes a través de su *fórmula química* o por su *nombre*, aceptando la existencia de una relación inequívoca entre ambos sistemas simbólicos y la “realidad material”. Sin embargo, esta relación que en principio parece muy simple, requirió del trabajo de muchos científicos durante muchos años para poder establecerse con cierta certeza o consenso.

Si bien desde la antigüedad fueron conocidas muchas sustancias químicas, incluidos algunos compuestos orgánicos, no fue hasta finales del siglo XVIII, que la química adquirió un nombre propio como disciplina científica dentro de las llamadas Filosofías Naturales (Asimov, 1975, de Asúa, 1996). La química fue alejándose de las prácticas herméticas de la alquimia y de los procesos artesanales (y tecnológicos) de la minería, la orfebrería, la fabricación de telas o la preparación de alimentos, para adquirir el estatus de ciencia. Ya desde entonces, comienza a hacerse evidente la necesidad de comunicación de datos e ideas, y para ello, la utilización de algún sistema de representación, para asegurar la continuidad de los procesos encontrados exitosos y para no invertir esfuerzos y recursos en aquellos problemas que ya hubieran sido resueltos por otros.

Con el advenimiento de la imprenta en 1440, la comunicación entre los científicos se hizo mucho más fluida. A la vez que aumentaba el número de artículos y trabajos escritos en las lenguas vernáculas, se facilitaba el entendimiento entre los miembros de una comunidad científica en crecimiento. Por aquel entonces, los químicos comenzaron a inventar palabras nuevas y también a emplear diferentes símbolos para comunicar sus ideas respecto de la estructura y comportamiento de la materia. A finales del siglo XVIII, surgieron nuevos signos para referirse a *objetos invisibles* como los átomos y las moléculas y se continúan usando hasta ahora.

Los símbolos en la química

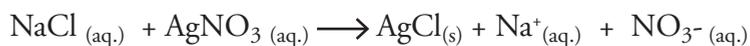
A lo largo de la historia, el estudio de los signos se ha constituido en un campo particular de conocimiento, la semiótica (para mayor detalle consultar Eco, 1998, Peirce, 1986). La palabra *signo* hace referencia a una entidad binaria constituida por un *significado* que refiere a la idea o concepto derivado de la estimulación sensorial y un *significante* (Gimante-Welsh, 1994), un símbolo verbal o no-verbal que se usa para representar una idea a nosotros mismos o a otros, siendo el referente directo de un signo nuestra “idea de la cosa” y no, la cosa en sí. Así, un *signo* es una evidencia de la que pueden extraerse deducciones sobre algo que no puede ser observado en su totalidad, como si fuera una especie de señal. Es el caso de los signos *naturales*; por ejemplo, los *signos vitales* o cuando se considera al *humo*, como un signo o una evidencia de la presencia de *fuego*. Esto sugiere una relación entre el signo y lo que representa, como si el signo fuese un aspecto de algo que no se muestra enteramente, lo representado.

En cambio, los signos no naturales, *convencionales* o *arbitrarios*, son aquellos que no conservan esa relación con el objeto al que hacen referencia ya sea éste un objeto concreto o abstracto, por ejemplo las *palabras*. El propósito de estos signos es *comunicar, representar algo*, y por lo tanto es necesario un *código* para la comprensión de este tipo de signos. Es decir que, para que los signos puedan ser utilizados como parte del circuito comunicativo, tanto el emisor como el destinatario del mensaje, deberán poder compartir el conocimiento respecto de lo que el signo significa (Edwards y Mercer, 1994).

Los químicos han ido más allá interpretando muchos signos naturales con un nuevo significado, convirtiéndolos en *símbolos*, estableciendo una relación convencional y arbitraria con objetos abstractos. Un ejemplo de esto lo constituyen

las fórmulas químicas, donde aparecen correspondencias puntuales entre lo que se expresa y su contenido (la sustancia química). Para un químico, los signos naturales son cualquier cosa que pueda ser vista, olida o sentida, antes, durante y después de un experimento (Weininger, 1998) de allí la gran importancia de los recipientes de vidrio en la experimentación en el laboratorio de química. Esto constituye una parte fundamental de la cultura visual de la química.

Ya en 1854, Jean-Baptiste Biot (1774-1862) se refería a la práctica química como un ejercicio semiótico construido en torno a signos naturales. Esta colección de signos naturales observables en el trabajo experimental, se encuentra activamente ligada a otro grupo de signos inventados por los químicos para comunicarse entre ellos, que dan cuerpo al *lenguaje de la química*. Entre ambos sistemas de signos existe una interpenetración dinámica. Esto puede analizarse desde un sentido práctico con el siguiente ejemplo: Cuando un químico (experto) escribe ciertas fórmulas químicas para plantear una ecuación química respetando ciertas reglas sintácticas, puede visualizar en su mente dicha reacción, puede imaginarse que ocurriría en el laboratorio, que materiales necesitaría para llevarla a cabo y que precauciones deberían ser tenidas en cuenta. Tomemos por caso la siguiente ecuación química donde se combinan soluciones acuosas de sal (cloruro de sodio) y nitrato de plata, se obtendrá inmediatamente un sólido blanco de cloruro de plata. (¿No lo ve Ud. así?).



Hoy podríamos preguntarnos si esta naturaleza visual de la química mantiene la misma validez, o si el uso de los programas informáticos terminará por reemplazar completamente la práctica en el laboratorio. Aunque no quedan dudas de que el lenguaje químico retiene su rol protagónico en cualquier tipo de práctica química.

El lenguaje químico, como parte de los lenguajes científicos, se diferencia de los lenguajes naturales esencialmente en la rigurosidad con que definen algunos de sus términos técnicos, tanto verbales como no-verbales, porque sus implicaciones trascienden lo personal y reflejan las adquisiciones conceptuales que en un momento dado comparte la comunidad científica. Como tal, es altamente socializado y preciso, y presenta un elevado nivel de especificidad en relación al contexto en el que fue generado. Así, el lenguaje químico queda conformado por un conjunto de símbolos definidos en el marco de la química (flecha de resonancia, esquema de niveles energéticos, distintos tipos de fórmulas) y los

que adquieren nuevos significados en el marco de la disciplina (letras para las fórmulas químicas, ecuaciones químicas) que se relacionan según un sistema organizado de reglas.

A finales del siglo XX, el lenguaje químico se convirtió en un tema central de discusión y de reflexión y desde entonces se ha convertido en un área de vacancia para la investigación en el campo de la didáctica de la química.

Claus Jacob, Profesor de química Bioinorgánica de la Universidad de Saarlandes, Alemania, destaca el rol fundamental que posee el lenguaje químico en la propia investigación disciplinar debido a la relación que existe entre los símbolos químicos para representar sustancias y las sustancias mismas (Jacob, 2001). En su extenso trabajo, ofrece una clasificación para los diferentes niveles que presenta el lenguaje químico, cada uno de los cuales exhibe un incremento en el grado de abstracción. Tanto es así que cada nivel podría considerarse un sublenguaje con sus propias características lingüísticas y epistemológicas (Figura 1): El primer nivel (N1- simbólico) corresponde a los símbolos químicos para formar sustancias y a las reglas formales (sintácticas) y semánticas que regulan su aplicación, incluye a los símbolos químicos, las fórmulas y las ecuaciones químicas. El segundo nivel (N2- relacional) contiene el vocabulario apropiado para hablar sobre las sustancias, una especie de metalenguaje que incluye nuevos términos como abstractores (generalizaciones de mayor nivel de abstracción), necesarios para la comunicación química y actúa como precondition para la formación de las teorías generales. El tercer nivel (N3- modélico) incluye términos para usar y discutir sobre los abstractores, como parte de leyes, modelos y teorías en un contexto general. Por último, el nivel 4 (N4- epistémico) representa el lenguaje para la discusión epistemológica de la química como un todo.

Un ejemplo ilustrativo de estos sublenguajes sería considerar al símbolo «Na» (N1) como representativo del «elemento» (N2) sodio, que participa en una reacción sobre la que se plantea una «hipótesis» (N3), la cual podrá o no ser «falsada» (N4) en el sentido poperiano.

Si bien cada uno de los cuatro niveles está regulado por una sintaxis y una semántica propios, siguiendo a Jacob (2001), conviene comenzar el análisis por el nivel 1 o simbólico. En primer lugar, este nivel permite a partir de una serie de símbolos elementales, a modo de alfabeto, construir palabras (fórmulas) que a su vez pueden agruparse en oraciones (ecuaciones). Tanto los símbolos como las fórmulas y las ecuaciones presentan un significado particular. Éstos están regidos por las reglas semánticas que discuten los significados de las representaciones lingüísticas en relación a la práctica química.

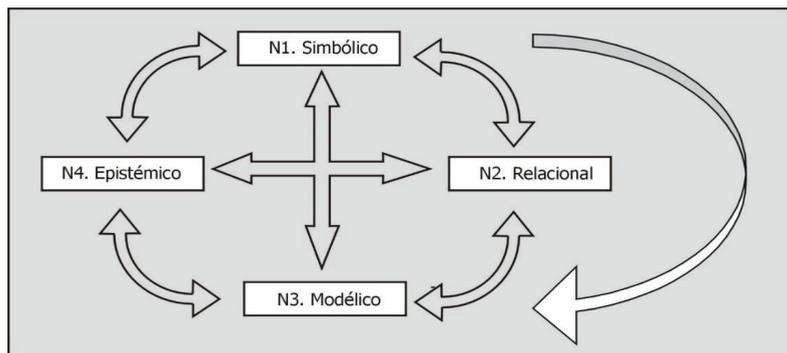


Figura 1. Niveles del lenguaje químico (Jacob, 2001)

Por otro lado, puede considerarse que las reglas que gobiernan la combinación de los símbolos elementales en determinadas fórmulas químicas, corresponden a una *ortografía química*, que incluyen reglas sobre la valencia, estados de oxidación o electronegatividad. También, que las reglas para plantear las ecuaciones de las reacciones químicas, por ejemplo los coeficientes estequiométricos o las condiciones de reacción, se incluyen en una *gramática química*. Ambos tipos de reglas, pueden agruparse en una categoría más general, la de la sintaxis química. Estas relaciones se representan en la figura 2.

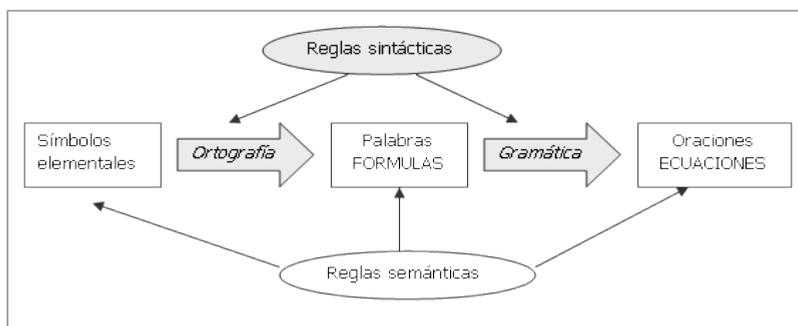


Figura 2. Características lingüísticas del nivel 1

Hay que tener en cuenta que existe una cierta asimetría entre las operaciones con el lenguaje (reglas sintácticas) y las operaciones con los compuestos (reglas semánticas), por ejemplo, la corrección sintáctica de una fórmula es independiente de su significado, es decir de su existencia real como sustancia química. Jacob (op. cit.) ilustra este caso con el inexistente astaturo de sodio «NaAt».

Este autor describe también dos tipos de procesos que pueden aplicarse tanto en el campo del lenguaje (simbólico) como en el de los compuestos (material), que son las operaciones de *análisis* y de *síntesis*.

Entre las operaciones con los símbolos químicos pueden describirse las operaciones análisis₁ (A₁) y síntesis₁ (S₁), establecidas originariamente sobre bases empíricas y que ahora forman parte de la teoría química, regidos por reglas sintácticas y semánticas. Las afirmaciones (A₁) frecuentemente predicen las propiedades químicas de un compuesto basado en los símbolos presentes en su representación lingüística. Por otro lado, las declaraciones (S₁) a menudo combinan símbolos para formar nuevas fórmulas y representar compuestos aún desconocidos.

En cambio, cuando las operaciones de análisis (A₂) y síntesis (S₂), se aplican a la práctica química, en el mundo de las sustancias químicas, están guiadas por reglas experimentales (uso de equipos, técnicas de purificación, etc.). En consecuencia, (A₂) y (S₂) son parte de la investigación química y su planificación y ejecución dependen del marco teórico.

En el caso particular de la química orgánica, las fórmulas químicas admiten diversos grados de refinamiento. Esto lleva también a un refinamiento de las reglas sintácticas, basado en el trabajo experimental y la introducción de las leyes generales de la química y sus teorías. Por ello, el uso de un tipo particular de fórmulas condiciona el tipo de (A₁) que puede hacerse, ya que cada tipo de representación lleva una información diferente, esto será muy importante de ser tenido en cuenta en relación a la enseñanza y el aprendizaje del formuleo químico.

El lugar del lenguaje como parte del nivel simbólico de la química

Entre los modelos didácticos más relevantes para la educación química, y que se ha extendido a otros dominios del conocimiento científico, se encuentra la propuesta de Johnstone, que organiza los distintos niveles de representación en un triángulo (Johnstone, 1982, 1993, 2000). Según esta idea, el aprendizaje de la química requiere el control de tres niveles de pensamiento, en el que cada vértice de un hipotético triángulo constituye un nivel representacional diferente, el nivel macroscópico, el submicroscópico y el simbólico (Figura 3). En este triángulo, los expertos en química pueden desplazarse de un vértice a otro sin dificultad; en cambio, para los estudiantes, la conexión entre los distintos niveles

representacionales resulta un obstáculo para su aprendizaje. Aunque este modelo no es inequívoco (Lorenzo, 2008, Talanquer, 2011) tiene gran utilidad didáctica para organizar las clases de química y para revisarlas y reflexionar sobre ellas.

El nivel correspondiente a la macroquímica se relaciona con los fenómenos y las transformaciones que pueden ser directamente percibidas a través de la experiencia de los sentidos, y esto incluye los conceptos, leyes y teorías que surgen directamente de la empiria, como el concepto de pureza o las leyes de la termodinámica. Este nivel, en su dimensión observable, resulta cercano al conocimiento cotidiano de las personas y es el origen de numerosas concepciones sobre la química (Nakhleh, 1992; Pozo y Gómez Crespo, 1998).

Por su parte, el nivel submicroscópico refiere al mundo invisible de átomos y moléculas propuesto en el marco de las teorías de la química para explicar y dar sentido a los fenómenos observables del mundo (Francoeuer, 2000).

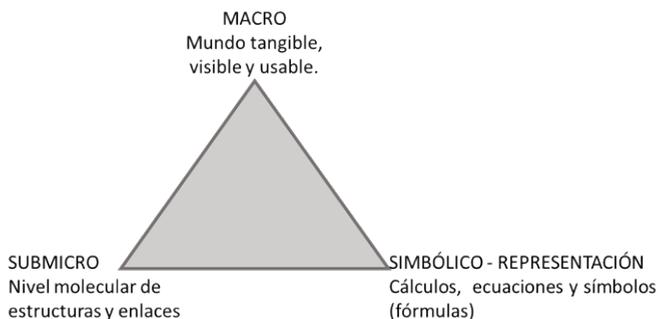


Figura 3. Niveles de la química según Johnstone

El tercer vértice del triángulo, compila todos los recursos semióticos que permiten a los científicos comunicarse entre ellos y hablar sobre la macro y la submicroquímica, hacer reflexiones, predecir comportamientos o extraer conclusiones o nuevas preguntas sobre ellos. Por ejemplo, para recuperar la información del mundo macroscópico, los químicos recurren a variadas representaciones, lo que da cuenta del discurso multimodal de esta disciplina (Lombardi y Caballero, 2007, 2012).

Así, basándose en el pensamiento analógico, los científicos construyen modelos, físicos o simbólicos, para visualizar, comprender e interpretar los hechos considerando que sus propiedades encajan (o al menos parcialmente) con las propiedades del objeto representado (Del Re, 2000). Este nivel simbólico incluye diferentes sistemas externos de representación, tales como las ecuaciones químicas, los mecanismos de reacción, las analogías o los kits de modelos (Treagust,

Chittleborough y Mamiala, 2003) que facilitan el análisis y la producción de nuevo conocimiento químico, sirviendo de base para las explicaciones químicas. De este modo, el lenguaje simbólico de la química conecta los otros dos niveles, no solo como una forma de referirnos a ellos, sino también brindando la posibilidad de transformarlos (Freire, Talanquer & Amaral, 2019). Taber, 2013).

Este lenguaje es tan versátil que en muchos casos, domina la enseñanza de la química casi con exclusividad y tal vez por ello, se encuentra en el centro de muchas investigaciones en el campo de la didáctica de la química (Vallejo Urán y Barragán Ramírez, 2017).

Origen y evolución de los sistemas de nomenclatura en química orgánica

En general, el acto de nombrar implica identificar algo, real, imaginario o virtual, con el fin de diferenciarlo del resto. Con respecto a los compuestos orgánicos, en un comienzo, sus nombres hicieron referencia fundamentalmente a las características organolépticas o a sus fuentes de obtención. Así, al principio ácido obtenido a partir de las manzanas se le dio el nombre de ácido málico (del lat. *malum*, manzana) o alcohol metílico al espíritu que condensaba a partir de la destilación de la madera (gr. *methy*, vino o espíritu e *yli*, madera) (Asimov, 1993).

A diferencia de los compuestos inorgánicos, las sustancias orgánicas están constituidas por un conjunto muy reducido de elementos, de los cuales siempre están presentes carbono e hidrógeno. Una gran cantidad de estos compuestos son líquidos a temperatura ambiente y suelen ser difíciles de purificar ya que suelen aislarse como mezclas de sustancias similares, ya sea que provengan de fuentes naturales o como productos de una síntesis. Estas características típicas de los compuestos orgánicos pueden explicar la dificultad que presentaron para la dilucidación de sus estructuras y su retraso con respecto al avance sobre los compuestos inorgánicos. A diferencia de estos, la fórmula empírica, es decir, la composición cuali y cuantitativa de una sustancia determinada por métodos experimentales, aportaba muy poca información sobre la estructura del compuesto. Es más, existían muchos casos de compuestos orgánicos que compartían una misma fórmula empírica pero que sin embargo, presentaban diferentes propiedades físicas y químicas. A estos compuestos que guardan entre sí esta particular relación, el químico sueco Berzelius (1779-1848), considerado como el padre de la química orgánica, los llamó *isómeros* (gr. *iso*, igual; *meros*, parte).

Sólo el desarrollo de las conceptualizaciones sobre la estructura molecular permitió una expansión en paralelo de los recursos representacionales, ya que no se podría haber elaborado esta teoría sin un sistema de notación simbólica. Esta representación simbólica tuvo que desarrollarse en forma simultánea a la teoría estructural de los compuestos orgánicos, debido a que la nomenclatura disponible por aquel entonces resultaba insuficiente para abarcar los conceptos esenciales de la nueva teoría (Weininger, 1998).

El primer intento para organizar de un modo sistemático los nombres de los compuestos químicos, fue propuesto por Antoine de Lavoisier en 1787. A partir de sus trabajos y la publicación del *Méthode de nomenclature chymique*, se estableció como principio organizador de todo el conocimiento químico a la composición de las sustancias. Así, el célebre químico francés en el prólogo de su publicación ponía de manifiesto la inextricable relación entre la química y el lenguaje:

“Y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin la lengua; y por muy ciertos que fuesen los hechos, por muy justas las ideas que originaren, sólo transmitirían impresiones falsas si careciésemos de expresiones exactas para nombrarlos.” (Citado en Lloréns, 1991, p. 139).

Un siglo más adelante, con la expansión de la química orgánica fue necesario crear una nueva forma para escribir la fórmula de estos compuestos. Fue Berzelius, quien intentó llevar orden al caos reinante a comienzos del siglo XIX, sugiriendo a la comunidad científica que debían utilizarse las letras del alfabeto como símbolo de los elementos químicos.

En definitiva, las fórmulas quedaron a partir de entonces, formadas por letras del alfabeto y por lo tanto, atrapadas en la linealidad de la lectura y la escritura. En un principio, la combinación de letras y números tuvo la intención de servir para representar la mayor cantidad de información posible en un pequeño espacio de papel, es decir, tenían un carácter de abreviatura. Sin embargo, el estatus de los símbolos de las fórmulas fue cambiando con el tiempo para pasar de meras abreviaturas a elementos de un álgebra y posteriormente transformándose en una geometría (Wightman, 1963, en Weininger, 1998). De este modo, la primera lectura de una fórmula indica una relación entre distintos elementos, una combinación de los pesos de cada elemento. En segundo lugar, también sugieren la proximidad de los átomos en una molécula. De tal forma que, las fórmulas racionales diseñadas por Berzelius (1813), en contraposición a las fórmulas empíricas obtenidas a partir del trabajo experimental, permitían el reconocimiento de los isómeros constitucionales.

Dado que los compuestos orgánicos tienen características tan particulares, no resultaba posible aplicar el método de nomenclatura binomial desarrollado en la química inorgánica, por lo que fue necesario generar una nueva terminología sistemática para los compuestos orgánicos (García Belmar y Bertomeu Sánchez, 1999). Recién a mediados del siglo XIX, quedó claro para la gran mayoría de los químicos, que el mayor determinante del comportamiento químico de una molécula era el arreglo interno de sus átomos, es decir su estructura.

La expansión de la idea de estructura química, se le debe a Butlerov (1828-1886). Él la definió en 1861, como las ordenaciones particulares de los átomos, y estableció además que a dicha estructura se debían las propiedades físicas y químicas de cada uno de los compuestos orgánicos, por ejemplo, las fragancias características de algunos ésteres (Lipkowitz, 1989). También empleó sufijos para caracterizar ciertas familias de compuestos, como la terminación *ona* para la familia de las cetonas y acuñó términos como *aldehído*, a partir del acrónimo de *alcohol dehidrogenatus*. Mientras tanto, Hofmann (1818-1895) proponía sufijos para designar a las familias como los alcanos (*ano*), o *eno*, para los compuestos con doble enlace.

Desde entonces, y teniendo en cuenta los aportes individuales de muchos de ellos, los químicos comenzaron a reunirse para establecer pautas comunes para su disciplina. La primera reunión se celebró en 1892 en la ciudad de Ginebra, a modo de una Conferencia que fue presidida por el químico francés C. Friedel (1832-1899) y a la que asistieron los químicos de renombre de la época. En esta primera y fundamental reunión, los químicos adoptaron el sistema de nomenclatura sustitutiva para nombrar diferentes clases de compuestos orgánicos y establecieron sesenta reglas para el nombre de los compuestos químicos, cada vez más abundantes y de estructuras cada vez más complejas. A partir de allí, el nombre de un compuesto orgánico quedaría expresado por una raíz para indicar la longitud de la cadena carbonada (*met-*, *et-*, *prop-*, *but-*, *penta-...*), considerada como la estructura base, a la que a continuación se le añadían los diversos sufijos y prefijos que indicaban las sustituciones en la molécula considerada como inicial. La longitud de la cadena carbonada quedaba designada por el uso de numerales griegos y latinos introducidos por el químico Charles Gerhardt (1816-1856).

De los primeros intentos por crear un sistema formal hacia finales del siglo XIX, se derivó la que hoy se llama **nomenclatura tradicional** que asignó ciertos nombres comunes y ciertas reglas básicas, para una gran variedad de compuestos conocidos por entonces. Fue tal su aceptación que aún hoy, continúan siendo ampliamente utilizados (García Belmar y Bertomeu, 1998).

Durante el siglo XX, los químicos continuaron reuniéndose, con cierta discontinuidad en los períodos de guerra, en organizaciones internacionales, así surgió la International Association of Chemical Societies en París, en 1911; la International Union of Chemistry (IUC), en 1919, que en 1949 se convertiría en lo que es hoy la Unión de la química Pura y Aplicada (*International Union of Pure and Applied Chemistry*, IUPAC).

El crecimiento vertiginoso en la cantidad y variedad de compuestos orgánicos, desde entonces parece no tener fin. La aparición del *Chemical Abstracts*, a partir de 1917, puso en evidencia la necesidad de convencionalización. Cada una de estas organizaciones tuvo bajo su jurisdicción el establecimiento de las reglas de nomenclatura para los compuestos orgánicos. Recién en 1979, la Comisión sobre Nomenclatura de los Compuestos Orgánicos (CNOC) de la IUPAC, editó su célebre *Libro Azul*, cuya actualización llegó en 1992 (Smith Jr., 1992).

Actualmente se recomienda el uso de un sistema de nomenclatura formal que consiste en un conjunto sistemático de reglas propuestas por la IUPAC, que proporciona nombres diferentes para los compuestos orgánicos conocidos y permite establecer los nombres de posibles nuevos compuestos. Sin embargo, aquellos nombres primigenios persisten en el tiempo y en sus contextos de utilización.

Para redondear el concepto sobre la terminología química normalizada, se podría decir que está formada por el conjunto de términos que utiliza la comunidad química mundial y que han sido aceptados por las diversas comisiones internacionales encargadas de sancionar las normas relativas a su uso. No han sido solamente una lista de términos aceptados sino un sistema de reglas para la construcción de términos. Son la expresión de un acuerdo alcanzado por la comunidad científica, con el principal objetivo de resolver diversos problemas relativos a la comunicación. La normalización tiene como objetivo la resolución de problemas relacionados con la comunicación científica surgidos en momentos históricos determinados. La IUPAC, en el preámbulo de las recomendaciones de 1993 manifiesta [la traducción es mía]:

“El propósito principal de la nomenclatura química es identificar especies químicas por medio de palabras escritas o habladas. Para ser útil para la comunicación entre los químicos, la nomenclatura para los compuestos químicos debería contener además, en sí misma una relación explícita con la estructura del compuesto de modo que el que lo escucha o lo lee pueda deducir la estructura (y por lo tanto la identidad) a partir del nombre. Este propósito requiere de un sistema de principios y reglas, la aplicación de las cuales da origen a la nomenclatura sistemática.” [negrita en el original]

Y más adelante, enfatiza sobre la aplicación de las reglas con criterios flexibles:

“Es importante reconocer que las reglas de nomenclatura sistemática no conducen necesariamente a un único nombre para cada compuesto, pero siempre deben conducir a uno sin ambigüedad. La lucidez en la comunicación a menudo requiere que las reglas sean aplicadas con diferentes prioridades.”

Reflexiones finales

En este trabajo se ha presentado un breve recorrido por un aspecto sustancial de la química, su nivel simbólico dominado por el lenguaje químico, rico en diferentes tipos de términos, símbolos y otras representaciones. El lenguaje químico permite establecer una relación entre los nombres de los compuestos químicos y sus estructuras, y esto resulta clave para la comprensión de la química orgánica. La complejidad y riqueza de los elementos que conforman el lenguaje químico pueden dar origen a severos obstáculos a su aprendizaje.

La química, como ciencia viva, es dinámica y está sometida a permanente escrutinio y cambio. Así, recientemente se han cumplido los cien años de la IUPAC, la asociación de químicos más grande del planeta (Lorenzo, 2019) mostrando que quedan muchos temas por debatir, aprender y compartir.

Agradecimientos

Este trabajo fue realizado en el marco de los siguientes subsidios de investigación: UBACYT-2018-20020170100448BA, ANPCYT FONCyT PICT-2015-0044, CONICET PIP11220130100609CO.

Referencias bibliográficas

- Asimov, I. (1975). *Breve historia de la química*. Madrid: Alianza. Ed. 1995.
- Asimov, I. (1993). *El secreto del universo y otros ensayos científicos*. Barcelona: Salvat Editores.
- Bensaude-Vincent, B. (1999). En: García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*. Barcelona: Ed. del Serbal.
- Berzelius, J. J. (1813) Essay on the cause of chemical proportions, and on some circumstances relating to them: Together with a short and easy method of expressing them. On the chemical signs, and the method of employing them to express chemical proportions. *Annals of Philosophy*, 2, 443-454.
- De Asúa, M. (1996). *El árbol de las Ciencias. Una historia del pensamiento científico*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Del Re, G. (2000) Models and analogies in science. *HYLE, An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 6 (1), 5-15.
- Eco, U. (1998). *Semiótica y Filosofía del lenguaje*. Trad. cast. Semiotica e filosofia del linguaggio (1984). Barcelona: Lumen.
- Edwards, D. y Mercer, N. (1994). *El conocimiento compartido: El desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós.
- Francoeur, E. (2000). Beyond dematerialization and inscription. Does the materiality of molecular models really matter? *HYLE, An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 6 (1), 63-84.
- Freire, M., Talanquer, V. & Amaral, E. (2019). Conceptual profile of chemistry: a framework for enriching thinking and action in chemistry education, *International Journal of Science Education*, DOI: 10.1080/09500693.2019.1578001.
- García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. (1998). Lenguaje, ciencia e historia: una introducción histórica a la terminología química. *Alambique, Didáctica de las ciencias experimentales*, 17, 20-36.
- García Belmar, A. y Bertomeu Sánchez, J. (1999). *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*. Barcelona: Ed. del Serbal.
- García-Martínez, J. (2019). Controversies, compromises and the common chemical language. *Nature Chemistry*, 11, 853–862. www.nature.com/naturechemistry
- Gimante-Welsh, A. (1994.) *Introducción a la lingüística. Modelos y reflexiones actuales*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Jacob, C. (2001). Analysis and Synthesis. Interdependent Operations in Chemical Language and Practice”, *HYLE, An International Journal for the Philosophy of Chemistry* 7 (1), 31-50. <http://www.hyle.org>
- Johnstone, A. H. (1982). Macro- and micro-chemistry. *School Science Review*, 64, 377-379.

- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701–705.
- Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemical education in Europe: Curricula and policies*, 1 (1), 9-15.
- Lipkowitz, K. B. (1989) Molecular modeling in organic chemistry. Correlating odors with molecular structure. *Journal of Chemical Education*, 66 (4), 275-277.
- Lloréns, J. A. (1991) *Comenzando a aprender química. Ideas para el diseño curricular*. Madrid: Visor.
- Lombardi, G., Caballero, C. (2007). Lenguaje y discurso en los modelos conceptuales sobre equilibrio químico. *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(3), 383-412.
- Lombardi, G., Caballero, C. (2012). El discurso multimodal de la química y el aprendizaje Significativo de proposiciones. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17(3), 721-734. <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/185>
- Lorenzo, M. G. (2008) Destilación fraccionada de ideas condensadas. Una invitación al debate sobre la naturaleza de la química, *Educación en la química*, 14 (1), 17-24.
- Lorenzo, M. G. (2019). Una química sin fronteras para la creación de un nuevo futuro. Celebrando los 100 años de la IUPAC en París. *Educación en la química en Línea*, 25(2), 185-189.
- Markic, S. & Childs, P. (2016). Language and the teaching and learning of chemistry, *Chemistry Education, Research and Practice*, 17, 439-451. <https://doi.org/10.1039/C6RP00013D>
- Martí, E. y Pozo, J. I. (2000). Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas externos de representación. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 11-30.
- Mortimer, E. F. (2000). *Linguagem e formação de conceitos no ensino de ciencias*, Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry. Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69 (3), 191-196.
- Peirce, C. S., (1986). *La ciencia de la semiótica*. Buenos Aires, Argentina: Nueva Visión.
- Pozo, J. I. (2000). Cuando del dicho al hecho hay poco trecho: el uso estratégico del lenguaje en el aprendizaje, *Aula de Innovación Educativa*, 96, 10-14.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998) *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Quílez, J. (2019). A categorisation of the terminological sources of student difficulties when learning chemistry, *Studies in Science Education*, DOI: 10.1080/03057267.2019.1694792
- Quílez-Pardo, J. (2016) ¿Es el profesor de química también profesor de Lengua? *Educación química*, 27, 105-114.

- Quílez-Pardo, J. y Quílez-Díaz, A. M^a (2016). Clasificación y análisis de los problemas terminológicos asociados con el aprendizaje de la química: obstáculos a superar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (1), 20-35. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18011>
- Schummer, J. (1998). The chemical core of chemistry I: A conceptual approach. *HYLE, An International Journal for the Philosophy of Chemistry*, 4 (2), 129-162.
- Schummer, J. (2007). The Visual Image of Chemistry: Perspectives from the History of Art and Science, *HYLE, An International Journal for Philosophy of Chemistry*, 13-1, 3-41. <http://www.hyle.org/journal/issues/13-1/schummer-spector.htm>
- Smith Jr., H. A. (1992). The centennial of systematic organic nomenclature. *Journal of Chemical Education*, 69 (11), 863-865.
- Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemical Education Research and Practice*, 2013, 14, 156-168.
- Talanquer, V. A. (2011). Macro, submicro, and symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 33 (2), 179-195. DOI: 10.1080/09500690903386435
- Treagust, D.F., Chittleborough, G. y Mamiala, T.L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368).
- Vallejo Urán W. y Barragán Ramírez, D. (2017). *Relaciones explicativas entre los niveles de representación macroscópico, microscópico y simbólico de la materia; una propuesta didáctica para la enseñanza del concepto de “reacción química”* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Medellín, Colombia.
- Weininger, S. J. (1998). Contemplating de finger: Visuality and the semiotics of chemistry. *HYLE, An International Journal for Philosophy of Chemistry*, 4 (1), 3-27.