

Análisis gráfico de la resolución de un problema químico de reactivo limitante

Nehemías Moreno Martínez

nehemias_moreno@live.com

<https://orcid.org/0000-0002-5919-612X>

Facultad de Ciencias; Universidad Autónoma de San Luis Potosí; México

Luis Enrique Hernández Zavala

luisenri.hernandez@cinvestav.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0746-7503>

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional,
CINVESTAV-IPN; México

Recibido: 2020-08-01; **Aceptado:** 2020-11-19

Resumen: Se propone una interpretación de la técnica de representación del Mapa Conceptual Híbrido a partir de la extensión a la química escolar de algunos elementos teóricos del Enfoque Ontosemiótico de la Matemática Educativa. Para mostrar la viabilidad de la propuesta, se planteó el objetivo de analizar de manera gráfica, mediante un estudio de casos de carácter descriptivo, el sistema de prácticas implicado en la resolución de un problema químico, por parte de un docente y uno de sus estudiantes, que implicaba el uso del concepto de reactivo limitante. El análisis muestra que, en la resolución del problema, los sujetos se apoyan en objetos químicos como en objetos de tipo químico-matemático, los cuales son conectados y organizados en el sistema de prácticas; el docente llevó a cabo un sistema de prácticas predominantemente interpretativo mientras que el alumno realizó uno mayormente operativo; los sujetos también realizaron cierto conjunto de procesos cognitivos que se encuentran implicados en la producción del conocimiento químico.

Palabras clave: Mapa conceptual híbrido, resolución de problemas, reactivo limitante, química escolar, objetos químico-matemáticos.

Análise gráfica da resolução de um problema químico de reagente limitante

Resumo: É proposta uma interpretação da técnica de representação do Mapa Conceitual Híbrido a partir da extensão à química escolar de alguns elementos teóricos da Abordagem Ontosemiótica à Matemática Educacional. Para mostrar a viabilidade da proposta, o objetivo foi analisar graficamente, por meio de um estudo de caso descritivo, o sistema de prática envolvido na resolução de um problema químico, por um professor e um de seus alunos, o que implicou na utilização do conceito de reagente limitante. A análise mostra que, para resolver o problema, os sujeitos contam com objetos químicos, bem como objetos químico-matemáticos, que estão conectados e organizados no sistema de prática; o professor realizou um sistema de prática predominantemente interpretativo, enquanto o aluno realizou um sistema predominantemente operacional; os sujeitos também realizaram um determinado conjunto de processos cognitivos que estão envolvidos na produção do conhecimento químico.

Palavras-chave: Mapa conceitual híbrido, solução de problemas, reagente limitante, química escolar, objetos químico-matemáticos.

Graphical analysis of the resolution of a limiting reagent problem

Abstract: An interpretation of the representation technique of the Hybrid Concept Map is proposed from the extension to the school chemistry of some theoretical elements of the Ontosemiotic Approach of Educational Mathematics. In order to show the viability of the proposal, the objective was raised to analyze graphically, through a descriptive case study, the system of practices involved in solving a chemical problem posed in a textual way, by a teacher and one of his students, which involved the use of the concept of limiting reagent. The analysis shows that, in solving the problem, the subjects rely on chemical and chemical-mathematical objects, which are connected and organized in the system of practices; the teacher carried out a predominantly interpretive practice system while the student carried out an operational one; subjects also perform a certain set of cognitive processes that are involved in the production of chemical knowledge.

Keywords: Hybrid conceptual map, problem solving, limiting reagent, scholar chemistry, chemical-mathematical objects.

Introducción

La Química es una disciplina científica que ha tenido un largo desarrollo histórico, por ejemplo, en las culturas antiguas como Mesopotamia, Egipto, así como en las zonas culturales mesoamericanas y andinas (Chamizo, 2004) ya se manejaba una química empírica que se compartió de generación en generación, desprovista de fundamento teórico. También se tienen rastros de que en la antigua Grecia y en la India (quizá influenciados por los griegos) ya se contaba con una teoría atómica primitiva, se tenía una noción de elemento (distinta a la que se tiene actualmente) y se concebía a los átomos como las partículas mínimas indivisibles de la materia. La cosmovisión que tenían estas culturas influía en las prácticas empíricas de la química primitiva, tal es el caso del pensamiento mágico y religioso como fundamento de la herbolaria indígena en el México prehispánico (Ríos, Quijano y Reyes, 2012). Sin embargo, creencias similares estuvieron presentes en personajes ilustres como Boyle y Newton en el siglo XVII, los cuales, con un sentido teológico, realizaron investigaciones acerca de la existencia de la llamada piedra filosofal (sustancia que tenía la capacidad de convertir metales viles en oro o plata) lo cual permitiría aportar evidencia clara de la interacción entre materia y espíritu (Pérez, 2005).

En relación con la práctica empírica en los inicios de la Química, cabe destacar la concepción que el célebre filósofo prusiano Kant (1724-1804) tenía acerca de la ciencia, según la cual sólo era ciencia aquella doctrina susceptible de matematización (Villaveces, 2000), por lo que, tomando como modelo de ciencia a la física newtoniana y a la geometría euclidiana, Kant consideraba que la Química alcanzaba a ser tan sólo un arte sistemático. Sin embargo,

Richter (alumno de Kant) se propuso introducir las matemáticas en la química y creó el concepto de estequiometría, y en esta misma dirección. Posteriormente, Lavoisier estuvo convencido de que el álgebra debería de ser el lenguaje en el que se deberían de expresar las formulaciones científicas, por lo que su ley de conservación de los pesos no es una consecuencia empírica, sino una concepción algebraica (Gallego, Pérez y Gallego, 2009). Más recientemente, se ha encontrado un importante uso de las matemáticas en la descripción y predicción de situaciones químicas, por ejemplo, la descripción gráfica bidimensional de las moléculas mediante la teoría de grafos, la caracterización de superficies de energía potencial moleculares a través de la topología, la descripción de procesos termodinámicos mediante la teoría de la información (Restrepo, 2005).

Los señalamientos anteriores permiten observar dos aspectos, el primero, relacionado con las prácticas empíricas y procedimientos experimentales ligados con las creencias de culturas antiguas y de científicos de gran renombre, a partir de las cuales la química ha heredado una gran cantidad de oficios y tradiciones que se han concretado en técnicas experimentales que se emplean actualmente en el laboratorio (Chamizo, Castillo y Pacheco, 2012) y, el segundo aspecto, que tiene que ver con la matematización de la química, que ha permitido el desarrollo de ésta y, de manera recíproca, también ha permitido la generación de nuevo conocimiento matemático en el proceso de aplicación (Restrepo, 2005). Los aspectos anteriores son tomados en cuenta en la propuesta que se describe en este trabajo, la cual nos permite plantear que la resolución de un problema químico involucra un conocimiento que se apoya en dos conjuntos de objetos, uno de tipo químico (relacionado directamente con cuestiones empíricas) y otro de tipo químico-matemático. Éste último formulado a partir de relaciones de significación entre objetos químicos y objetos matemáticos.

Existen numerosos estudios que se interesan en explorar qué y cómo aprenden los estudiantes de ciencias, en particular ¿Cómo aprenden química mediante la resolución de problemas? Una breve exploración sobre el estado del arte en este menester permite identificar dos dimensiones convergentes, la primera enfocada en el cambio conceptual de los estudiantes (Garcés y Velázquez, 2007) y la segunda enfocada a revisar propuestas didácticas de enseñanza de la química (Meroni, Copello y Paredes, 2015). La aproximación teórica que se propone en este trabajo para la química escolar viene a apoyar estas dimensiones al considerar, por un lado,

una perspectiva institucional o experta del conocimiento que se pone en juego en la resolución de los problemas y, por otro lado, una perspectiva cognitiva o inexperta del que aprende.

Por otra parte, en relación con la ontología de los objetos que intervienen en la actividad química, se tiene que la física ha tenido un papel relevante. Por ejemplo, el éxito de la mecánica cuántica llevó a algunos físicos y filósofos de la ciencia a considerar la química reducible a la física, e inclusive se llegó al extremo de considerar a la química como una ciencia experimental con fundamento en la física atómica (Bautista, 2004). Algunos investigadores han defendido la autonomía de la química considerando un pluralismo ontológico, según la cual es posible la coexistencia de distintas ontologías no reducibles entre ellas (Labarca y Lombardi, 2010; Restrepo, 2004; Bautista, 2004). Al respecto, Restrepo (2004) apoya dicho pluralismo ontológico al señalar que la tabla periódica es un producto químico que considera información química y su explicación desde la física no genera resultados satisfactorios.

En particular, en algunos trabajos se ha comentado una multiplicidad ontológica para el concepto de estructura molecular (Villaveces, 2000). Por ejemplo, desde la mecánica cuántica se han hecho señalamientos de que la estructura molecular no es más que una metáfora, en contraste con la perspectiva realista que muchos químicos han generado a partir de las evidencias espectroscópicas (Scerri, 2000). Sin embargo, ambas miradas han resultado de gran utilidad en las investigaciones que realizan tanto los químicos como los físicos o químicos teóricos. Esta última postura, de corte pragmatista, ha sido señalada por Jenkins (2003) en relación con los orbitales *reales* de la química y la interpretación de éstos como entidades matemáticas *no reales* (funciones de onda) de los físicos y químicos teóricos, las cuales dan lugar a aproximaciones de valores empíricos o *reales* y que ninguno de los dos es estrictamente cierto, por lo que Jenkins sugiere no juzgar la naturaleza del orbital en cada disciplina, sino más bien considerar dichas posturas como descripciones aproximadas en lugar de como entidades aproximadamente reales u ocasionalmente reales (Jenkins, 2003).

En este trabajo se describe una aproximación teórica para la química escolar, la cual fue obtenida al extender algunos elementos teóricos del Enfoque Ontosemiótico (EOS), proveniente de la Matemática Educativa, y de la consideración de la noción de *objeto* del Interaccionismo Simbólico. Éste último considera que el objeto es todo lo que puede señalarse o indicarse, y se apoya en tres premisas, a saber: (i) el ser humano orienta sus actos hacia los objetos en función

de lo que éstos significan para él; (ii) el significado de los objetos se deriva o surge como consecuencia de la interacción social que tiene el sujeto con otras personas; (iii) los significados se manipulan y modifican mediante un proceso interpretativo desarrollado por la persona al enfrentarse con las cosas que va hallando a su paso, desde esta perspectiva, el significado del objeto es fruto del proceso de interacción entre los individuos. El significado que una cosa encierra para una persona es el resultado de las distintas formas en que otras personas actúan hacia ella en relación con esa cosa (Blumer, 1969).

La aproximación teórica adopta una postura pragmatista heredada de las teorías de la que fue derivada, esto es, no se interesa por la naturaleza de los objetos de la actividad o el fenómeno químico, que lleva a buscar una realidad absoluta y obliga a caer en un reduccionismo ontológico. Más bien, la aproximación apoya el pluralismo ontológico al no considerar una química reducible a la física o a las matemáticas, y se interesa por el uso de los objetos de la actividad química, por ejemplo, para describir o predecir el comportamiento de los sistemas químicos, analizar e interpretar los datos obtenidos en la experimentación química. Y, por otro lado, en un sentido epistemológico, considera a la química como una ciencia experimental cuyos objetos tienen sus raíces en la experiencia sensible.

En la investigación se planteó el objetivo de emplear la aproximación teórica para analizar y describir de manera gráfica, mediante la técnica de representación del Mapa Conceptual Híbrido (MCH), la actividad químico-matemática implicada en la resolución de un problema químico. Para mostrar la viabilidad de la propuesta anterior, se abordó el estudio de la actividad químico-matemática realizada por un docente y uno de sus alumnos, universitarios, cuando se enfrentan a la tarea de resolver un problema químico que involucra al concepto de reactivo limitante. En particular, nos planteamos indagar ¿Cómo se conectan y se organizan los objetos de la actividad química en la resolución del problema químico? y ¿cuáles son los procesos cognitivos implicados en la construcción de conocimiento químico? Cabe señalar que en otros trabajos se han reportado interpretaciones del MCH desde el EOS (Bencomo, Godino y Wilhelmi, 2004; Moreno, 2017; Moreno, Torres y Zúñiga, 2019), y desde extensiones teóricas del EOS a la física escolar (Moreno, Angulo y Reducindo, 2018; Moreno, Angulo, Reducindo y Aguilar 2018; Moreno, Zúñiga y Tovar, 2018; Moreno, Aguilar, Angulo y Ramírez, 2019).

Una aproximación teórica para la química escolar

En esta sección se describe en un primer momento los elementos teóricos del EOS que fueron extendidos a la química escolar y posteriormente se presenta la propuesta de aproximación teórica.

Algunos elementos del EOS considerados en la aproximación teórica

De acuerdo con el EOS (Godino, Batanero y Font, 2007), en la resolución de un problema matemático P , un sujeto experto (docente) o inexperto (estudiante) descompone P en subproblemas menores P_1, P_2, \dots, P_i y en la resolución de cada subproblema el sujeto lleva a cabo una práctica donde interviene un conjunto de objetos matemáticos primarios. La práctica es entendida aquí como todo aquello que hace el sujeto para resolver y comunicar la resolución del problema. El sujeto organiza y conecta las prácticas conformando así el llamado *sistema de prácticas* que le permite resolver el problema mayor P .

El constructo de objeto matemático primario se apoya, por un lado, en la noción de objeto del Interaccionismo Simbólico (Blumer, 1969), entendido como todo aquello que puede ser indicado o señalado y, por otro lado, en la lingüística, en el constructo *función de signo* de Hjelmslev que describe relaciones entre elementos lingüísticos. Puesto que en la actividad matemática no solo participan objetos lingüísticos (símbolos, expresiones algebraicas, entre otros), sino que también se hace referencia a otros objetos matemáticos y a sus relaciones, en el desarrollo del EOS se propuso agregar a los objetos lingüísticos una tipología de objetos matemáticos (conceptos, propiedades, procedimientos y argumentos) y también se propuso extender el constructo función de signo (ahora *función semiótica* en el EOS) para relacionar no solo objetos lingüísticos sino también a los objetos matemáticos (incluyendo el lenguaje), lo cual condujo a un nuevo conjunto de objetos, los objetos matemáticos primarios.

Los objetos matemáticos primarios son: (i) *lenguaje*, se refiere a signos, expresiones algebraicas, gráficas, por mencionar algunas; (ii) *conceptos*, enunciados mediante definiciones tales como número, ángulo, recta, entre otros; (iii) *propiedades*, anunciados acerca de los conceptos; (iv) *procedimiento*, en términos de algoritmos o técnicas de cálculo; (v) *argumentos*, empleados para justificar los procedimientos realizados. La organización de dichos objetos en una práctica lleva a la emergencia de otros objetos matemáticos los cuales son empleados en la realización de otras prácticas que conforman el sistema de prácticas.

El EOS también señala la realización de procesos cognitivos: idealización, materialización, particularización, generalización, personalización, institucionalización, argumentación, representación, significación, entre otros, los cuales conducen a las diferentes facetas o versiones de los objetos (Godino, Batanero y Font, 2007). En particular, los procesos de representación y significación pueden entenderse en términos de la noción de *función semiótica* (Godino, 2003) “ f ”, esto es, mediante la significación “ f ”, el sujeto atribuye un significado “ y ” a un objeto matemático (significante) “ x ”, es decir, $y = f(x)$ ”, por ejemplo, al objeto lenguaje $\frac{dz}{dt}$ se le atribuye el concepto de *derivada* y, de manera inversa, mediante la representación, el sujeto atribuye a un objeto pensado “ y ” (contenido o significado) un significante o representamen “ x ”, es decir, $f^{-1}(y) = x$, por ejemplo, cuando en una clase pensamos en una recta con pendiente negativa (significado) y lo representamos en el pizarrón como un segmento de recta inclinado hacia la izquierda (significante).

Aplicación para la química escolar

La aproximación se apoya en la noción de objeto y significado del Interaccionismo Simbólico (Blumer, 1969), entendido como todo aquello que puede ser indicado o señalado. Como se ha señalado anteriormente, el significado del objeto no emana de su composición intrínseca ni de la expresión de elementos psicológicos que se ponen en juego en relación con la percepción del objeto. Más bien, el significado del objeto surge de la interacción social, de manera que la acción sobre los objetos se realiza con base en lo que los objetos significan para el sujeto (obtenido a partir de la interacción con otros sujetos), además de que los significados son manipulados y modificados a través de un proceso interpretativo al tratar con otros objetos (Blumer, 1969).

Con base en lo anterior, en el contexto de la resolución de problemas de química (en el aula o en el laboratorio escolar), puede decirse que se hace referencia a *objetos químicos* y *objetos químico-matemáticos*, los cuales son idealizaciones que provienen de la experiencia sensible. Por ejemplo, la idealización ocurre cuando un profesor dibuja en el pizarrón un vaso con una sustancia y dice a sus alumnos que piensen en una sustancia al interior del vaso. El significado del objeto idealizado se encuentra en la acción que el sujeto realiza sobre el objeto (actúa sobre el objeto de cierto modo porque eso es lo que significa para él), y va estableciendo

nuevos significados al manipular y modificar dicho objeto a través de las conexiones que establece con otros objetos.

En relación con los objetos químicos, algunos de éstos no pueden ser formulados o matematizados, pero juegan un rol de gran importancia en la actividad químico-matemática. Sin embargo, también es posible encontrar otros objetos químicos que sí tienen una formulación matemática en la forma de objetos químico-matemáticos. Otras posibles relaciones que se pudiesen establecer entre los objetos químicos y otros objetos (por ejemplo, objetos físicos o biológicos) quedan fuera del alcance de la aproximación teórica que proponemos en este trabajo. A continuación, se describen los objetos químicos que no presentan una formulación matemática y, posteriormente, se describen los objetos químico-matemáticos.

—*situación química problematizada*, se consideran situaciones químicas problematizadas que no tienen un enfoque matemático y pueden ser catalogadas como “ejemplares”, en el sentido de Merino (2009), por ejemplo, las reacciones ácido base en presencia de varios indicadores como la fenolftaleína, timolftaleína y p-nitrofenol, para la enseñanza del concepto de reacción como cambio químico (Aguilar, Fernández y Durán, 2011).

—*lenguaje químico*, se refiere a las representaciones pictóricas, dibujos, esquemas, fotografías empleados para describir las etapas de una reacción, para mostrar la disposición del equipo de laboratorio que permite realizar cierto proceso químico, para ilustrar los productos de alguna reacción o cierta propiedad química, entre otras formas de comunicación.

—*conceptos químicos*, se enuncia mediante definiciones que no se *matematizan* directamente, por ejemplo, *sustancia*, definido como materia homogénea de composición fija que posee propiedades específicas que la diferencian de otras; *compuesto químico* (macroscópico), como una sustancia a partir de la cual pueden obtenerse sustancias elementales por medios químicos (Raviolo, 2008), *destilación fraccionada*, definida como un procedimiento de separación de los componentes líquidos de una disolución que se basa en la diferencia en sus puntos de ebullición, por mencionar algunos.

—*propiedad química*, son enunciados acerca de los conceptos que no se matematizan directamente, por ejemplo, en relación con el concepto “hidrógeno” se puede señalar “el gas de hidrógeno se quema al reaccionar con oxígeno gaseoso formando agua”, respecto al concepto

“ácido” se puede señalar que “el papel tornasol azul cambia a rojo cuando éste entra en contacto con una sustancia ácida”.

—*procedimiento químico*, Tiene que ver con algoritmos o pasos químicos que no se matematizan, por ejemplo, en la preparación de una disolución, una cantidad de soluto sólido se transfiere a un matraz volumétrico, se agrega agua al matraz para luego agitar y disolver el soluto, con el soluto disuelto se agrega más agua hasta el aforo del matraz, una vez conocidos el volumen de la disolución y la cantidad de soluto disuelto le sigue un procedimiento químico-matemático que consiste en calcular la molaridad de la disolución preparada. Otros procedimientos químicos son la técnica de análisis gravimétrico o el procedimiento de valoración.

—*argumentos químicos*, son enunciados que justifican los procedimientos químicos experimentales, por ejemplo, en el procedimiento de disolución de ácido sulfúrico concentrado en agua se puede emplear el argumento de que “siempre debe diluirse agregando, con lentitud y cuidado, el ácido al agua. Nunca debe agregarse agua al ácido. Si hubiera salpicaduras cuando se agrega ácido al agua, lo que salpica es agua en su mayor parte, no ácido corrosivo” (Whitten, Davis, Stanley y Peck, 2014, p. 511).

Por otro lado, en relación con los objetos químicos que sí tienen una matematización directa en la forma de objetos químico-matemáticos, en el presente trabajo se propone definirlos de manera análoga a como fueron construidos los objetos matemáticos en el EOS, es decir, se propuso agregar a los objetos matemáticos del EOS la tipología de objetos químicos (que se pueden formular matemáticamente) y, al mismo tiempo, también se propone extender el constructo función semiótica del EOS (definida solo para relacionar a los objetos matemáticos) para relacionar a los objetos matemáticos con los objetos químicos, obteniendo así lo que llamamos objetos químico-matemáticos. Cabe señalar que la función semiótica extendida, además de relacionar algunos de los objetos químicos con los objetos matemáticos (en el objeto químico-matemático), también permiten relacionar los objetos químico-matemáticos con otros objetos químicos.

Tanto los objetos químicos como los objetos químico-matemáticos tienen una naturaleza distinta a la de los objetos matemáticos del EOS, pues ambos son idealizaciones que tienen raíces en la actividad experimental propia de la química, es decir, no se trata de objetos ficticios

como ocurre con los objetos matemáticos del EOS. En particular, los objetos químico-matemáticos pueden pensarse como la *composición* de dos funciones semióticas, la función semiótica extendida que va del objeto químico al objeto matemático y la función semiótica (en el sentido del EOS) al interior de los objetos matemáticos. La figura 1 ilustra la función semiótica “*g*” que permite significar el concepto *razón* (objeto matemático *concepto y*) en términos de la propiedad *equilibrio químico* (objeto químico *propiedad x*), por otro lado, la función semiótica “*f*” permite dotar de significado la expresión algebraica $K_c = \frac{[C]c_{eq}[D]d_{eq}}{[A]a_{eq}[B]b_{eq}}$ (objeto *lenguaje z*) en términos del concepto *razón* (objeto *concepto y*), por lo que la composición de funciones $f(g(x))$ permite entender el objeto químico-matemático propiedad *z* llamada *constante de equilibrio*.

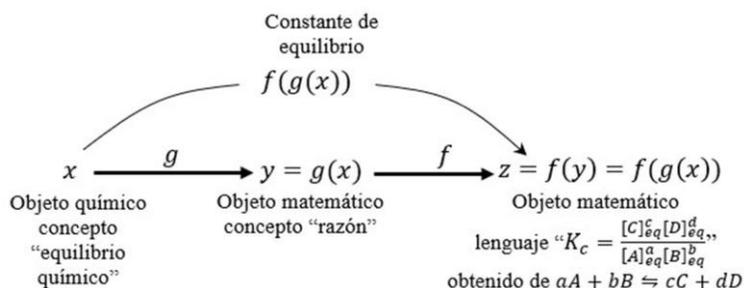


Figura 1. El objeto químico-matemático como una composición de funciones semióticas.

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presentan algunos ejemplos de la tipología de objetos químico-matemáticos:

—*Situación químico-matemática problematizada*, son las situaciones problematizadas que son objeto de estudio cuantitativo en la química escolar, por ejemplo, calcular la masa del soluto en una disolución, calcular la cantidad de cierto producto en una reacción, por mencionar algunas.

—*Lenguaje químico-matemático*, se refiere a las fórmulas moleculares, a las ecuaciones químicas, las gráficas, entre otros registros. Desde la perspectiva de la semiótica de Peirce, los modelos concretos de barras y esferas o imágenes virtuales de moléculas son íconos. Las letras empleadas para referirse a los elementos químicos tales como “C” para el carbono, “H” para el hidrógeno, entre otros, pueden ser considerados como índices (Wartha & de Brito, 2016). De hecho, las ecuaciones químicas, al igual que las expresiones algebraicas en matemáticas, pueden

ser consideradas como la imbricación de los tres tipos de signos: índice, símbolo e ícono (Peirce, 1987). Por ejemplo, en la ecuación $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$, los signos $C_6H_{12}O_6$, O_2 , $+$, \rightarrow y el resto de los signos son símbolos debido a que guardan una relación convencional con el objeto (elemento o molécula); también son índices porque designan al elemento o molécula en cuestión. Los coeficientes y subíndices numéricos adjuntos en las letras y en las fórmulas denotan la proporción cuantitativa de las sustancias reaccionantes y de los productos; y en particular, la ecuación química es un ícono debido a que guarda semejanza con la reacción química en el sentido de que a partir de ciertos reactivos se obtienen ciertos productos y también es posible descubrir otras verdades relacionadas con su objeto (la reacción).

—*conceptos químico-matemáticos*, los cuales se enuncian a través de definiciones que se pueden matematizar directamente, por ejemplo, los conceptos de: *molaridad* M , definida como los moles de soluto por litro de solución, $molaridad = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{litros de solución}}$; *molalidad* m , definida como los moles de soluto por kilogramo de solvente, $molalidad = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{kilogramos de solvente}}$; entre otros conceptos.

—*propiedades químico-matemáticas*, son enunciados químico-matemáticos acerca de los conceptos químicos o químico-matemáticos. Por ejemplo, al concepto químico-matemático de *solubilidad* de un gas se le puede asociar la ley de Henry que señala que la solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial del gas sobre la solución, es decir, “ $C_{gas} = kP_{gas}$ ”; sobre el concepto químico de *ácido* se puede enunciar la propiedad de que *una disolución ácida a 25°C tiene un valor pH < 7.00*,

—*procedimientos químico-matemáticos*, se refiere a las técnicas de cálculo o algoritmos tales como el balanceo de ecuaciones que resulta de gran importancia para cualquier estudio cuantitativo. El balanceo de ecuaciones puede llevarse a cabo mediante el método algebraico o el matricial (Castelló, 1997), el cálculo de la concentración molar o la determinación de la fórmula molecular de un compuesto a partir de la fórmula empírica y la masa molecular.

—*argumentos químico-matemáticos*, que se refieren a enunciados que permiten justificar o validar los procedimientos químico-matemáticos.

Con base en lo anterior, la aproximación teórica propone un conjunto de objetos químicos y químico-matemáticos que son organizados en un sistema de prácticas que permiten

al sujeto (novato o experto) la resolución de la situación química problematizada. Sin embargo, dada la importancia de la componente matemática en la actividad química, también considera viable tomar en cuenta algunos procesos y facetas señaladas por el EOS, por ejemplo: *idealización*, cuando se piensa en una disolución (faceta no ostensiva) al observar la representación pictórica de una sustancia al interior de un vaso de precipitados (faceta ostensiva); *materialización*, proceso inverso a la idealización, cuando se representa de manera pública sobre el papel (faceta ostensiva) un objeto pensado (faceta no ostensiva), como sería la fórmula molecular de un compuesto o una ecuación química de una reacción; *particularización*, cuando la expresión general para la molaridad $M = \frac{n}{V}$ (faceta intensiva), donde “n” son los moles de soluto y V los litros de disolución, es empleada en un caso particular como $M = \frac{0.730 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}{500 \text{ mL disol}} \times \frac{1000 \text{ mL disol}}{1 \text{ L disol}}$ (faceta extensiva); *significación*, al atribuirle significado a un significante, por ejemplo, cuando una constante de equilibrio $K_C \gg 1$, del orden de 1×10^{18} , en una reacción reversible (faceta significativa) es entendida que en equilibrio casi todos los reactivos se convierten en productos (faceta contenido); *institucionalización*, cuando los objetos y prácticas son compartidos en el seno de una institución, de manera que los objetos emergentes se encuentran en “faceta epistémica”; *personalización*, si los objetos y sistemas de prácticas son específicos de una persona se consideran que están en “faceta cognitiva”; entre otros procesos cognitivos y facetas.

Otro proceso cognitivo que considera la aproximación teórica en el contexto de la resolución de problemas químicos planteados textualmente es el de *comprensión lectora*, el cual tiene que ver con el proceso de (i) *inferencia*, que le permite relacionar las ideas del texto con sus propias ideas, plantear hipótesis, sacar conclusiones, anticipar hechos, entre otras, (ii) *memoria*, para recuperar información u organizar su conocimiento, y (iii) *metacognición*, que le permite organizar, cuestionar, planear, monitorear la comprensión, por mencionar algunas (Montealegre, 2004).

La aproximación teórica descrita previamente como extensión del EOS al contexto de la química escolar, se propone en el presente trabajo como marco interpretativo de la técnica del MCH, para analizar la actividad químico-matemática implicada en la resolución de problemas de la química escolar.

Metodología

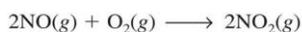
Para mostrar la viabilidad de la aproximación teórica descrita en los párrafos anteriores, se indagó a un docente D y a uno de sus estudiantes, Arturo, el cual fue seleccionado de manera aleatoria de un grupo de cinco alumnos que cursaban la asignatura de Química A, impartida por el docente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Respecto a la formación académica del docente, el profesor señaló que había realizado estudios de licenciatura en Ciencias Químicas y un doctorado en Ciencias de Materiales y que también tenía casi treinta años impartiendo la asignatura de química en el nivel universitario.

Se llevó a cabo una metodología cualitativa a través de un estudio de caso de tipo descriptivo, ya que, por un lado, se describe la producción oral y escrita de los sujetos indagados al resolver la situación problematizada de reactivo limitante y, por otro lado, las producciones de los sujetos fueron representadas de manera gráfica por parte del investigador mediante la técnica del MCH. El estudio también fue interpretativo, pues una vez que fueron elaborados el MCH epistémico del docente y el MCH cognitivo del alumno, los mapas se analizaron empleando los constructos de la aproximación teórica. La comparación entre el MCH epistémico y el MCH cognitivo permitió conocer las diferencias y semejanzas de los significados, los objetos químicos y químico-matemáticos empleados, las conexiones entre dichos objetos y los procesos cognitivos realizados.

Diseño de la actividad y herramienta para la recolección de datos

La situación química problematizada que se planteó al profesor y a su estudiante fue un problema del capítulo tres de un libro de química general (Chang, 2010), figura 2. De acuerdo con el autor, la resolución del problema requiere del empleo del concepto de reactivo limitante. Mediante el planteamiento del problema a los sujetos, únicamente se buscaba aplicar y mostrar la viabilidad del empleo de la aproximación teórica como marco interpretativo del MCH para describir la actividad químico-matemática implicada en la resolución del problema.

El óxido nítrico (NO) reacciona inmediatamente con el oxígeno gaseoso para formar dióxido de nitrógeno (NO₂), un gas café oscuro:



En un experimento se mezclaron 0.886 moles de NO con 0.503 moles de O₂. Calcule cuál de los dos reactivos es el limitante. Calcule también el número de moles de NO₂ producido.

Figura 2. Situación química problematizada sobre reactivo limitante (Chang, 2010, p. 114).

De manera individual se solicitó al docente y a Arturo resolver el problema y explicar en voz alta el proceso de resolución. Para resolver el problema se proporcionó a los sujetos una pluma electrónica, *Smart Pen Livescribe*, que permite llevar un registro sincronizado en tiempo real de la producción oral y escrita. El instrumento almacena el registro en un archivo electrónico (*pencast*) que puede ser reproducido posteriormente en la computadora. Mediante el archivo electrónico se llevó a cabo la transcripción de la producción oral y escrita de cada sujeto. A partir de cada transcripción se elaboró el MCH correspondiente donde se identificaron las prácticas, los objetos químicos y químico-matemáticos, la organización y las conexiones de los objetos, así como algunos procesos cognitivos.

En la resolución del problema se proporcionó al alumno una tabla periódica de los elementos químicos y se permitió el uso de calculadora. El docente resolvió el problema en 1 minuto con 36 segundos y el alumno en 2 minutos con 3 segundos.

Elaboración e interpretación del MCH químico

Según la aproximación teórica, el MCH se considera de tipo cognitivo cuando es elaborado a partir de la producción de un inexperto o estudiante novato y es considerado de tipo epistémico cuando es construido a partir de la producción de un experto o docente. La elaboración de ambos tipos de mapas por parte del investigador se realiza mediante el mismo procedimiento, el cual se apoya en la producción oral y escrita del sujeto cuando resuelve la situación química problematizada.

La figura 3 ilustra la producción del docente al resolver el problema de reactivo limitante ilustrado en la figura 2. El texto en los recuadros muestra la transcripción del discurso oral y el texto en el espacio en rayas muestra la producción escrita. Los recuadros fueron numerados del (1) al (8) para describir la secuencia de resolución del problema y las flechas indican la parte del registro escrito que la docente explicó oralmente; los recuadros (1), (5), (6), (7) y (8) que no tienen flecha muestran el discurso oral del docente que no está asociado directamente a la producción escrita.

(1) Se ve que hay una **interacción** entre **una molécula** de **monóxido de nitrógeno** con **una molécula** de **oxígeno** y forma **una molécula de dióxido de nitrógeno**. La **ecuación** tiene que estar **balanceada** para considerar sus **coeficientes** pues es más fácil **percibir** el **cambio** de **reactivos** en **productos**. Tenemos **dos reactivos** y tenemos sus **cantidades**, pero un **reactivo** se va a **consumir primero**, y a este le llamamos **reactivo limitante** pues **detiene la reacción**.

(2) Primero la **ecuación** tiene que estar **balanceada** donde se observa que **2 moles de NO** me forman **2 de NO₂** es decir la **reacción** es **uno a uno**.

(3) Entonces con **0.886 ¿cuánto?**, aquí **despejo x**, entonces **0.886 por 2 entre 2**, donde **x=0.886**, y serían **moles de NO₂**. Esto **no dice nada**.

(4) Entonces debo hacer **cálculos** con el **otro reactivo** y luego **comparar**, entonces en el **otro caso** sería **1 de O₂**, forman **2 de NO₂** con **0.503 cuánto?** y esto sería igual a **1.503 por 2**, son **x=1.006**, éstos serían **moles de NO₂**.

(5) Entonces **comparamos** cuál de los **2 reactivos** me da **menor cantidad de producto**, que sería el **monóxido de nitrógeno** por lo que sería el **reactivo limitante**.

(6) Dado que **Produce menos producto**, y significa que cuando se **formen 0.886 moles de dióxido de nitrógeno** se **consumió** todo el **monóxido** y, por lo tanto, **el otro** será el que **queda en exceso**.

(7) Se tiene **2 respuestas**, me dice quién se **consume primero**, es decir el **reactivo limitante** y me dice **cuánto es lo máximo** que se **puede obtener en teoría de producto**, a esto se le llama **rendimiento teórico**.

(8) Al identificar el **reactivo limitante**, tienes **2 respuestas**, una es la **sustancia que se consume primero**, y la **cantidad de sustancia** que puedo **obtener como producto**, entonces el **número de moles** serían **0.886 moles**.

Figura 3. Producción escrita y transcripción del discurso oral del docente al resolver el problema de reactivo limitante. Fuente: elaboración propia

Las proposiciones (que pueden ser argumentos o propiedades químicas o químico-matemáticas) que se encuentran en los recuadros pueden verse como la conexión de conceptos mediante palabras enlace. Los conceptos se encuentran en negritas y con subrayado, por ejemplo, en el recuadro (2) de la figura 3, el enunciado *Primero la ecuación tiene que estar balanceada donde se observa que 2 moles de NO me forman 2 de NO₂ es decir la reacción es uno a uno*, los conceptos son: *ecuación, balanceada, 2 moles de NO, 2 de NO₂, reacción y uno a uno*, y las palabras enlace son: *primero la, tiene que estar y donde se observa que, me, es decir la y es*. Los conceptos en negritas y subrayados son considerados en la elaboración del MCH epistémico.

Por otro lado, en la producción de la figura 3 puede observarse que el docente resuelve el problema mediante la realización de un sistema de tres prácticas: en la primera práctica el profesor realiza una interpretación del problema mediante los señalamientos del recuadro (1); en la segunda práctica, recuadros (2) a (7), el docente determina el reactivo limitante; en la tercera práctica, recuadro (8), determina el número de moles de NO₂ producido. La construcción del MCH inicia con la descripción del sistema de prácticas, la cual consiste en la práctica A nombrada *interpretación de la situación-problema*, la práctica B *determinar el reactivo*

limitante y la práctica C Determinar el número de moles de NO₂ producido, ver la figura 4. La primera práctica se coloca del lado izquierdo y las siguientes prácticas se colocan horizontalmente hacia la derecha (también se pueden presentar verticalmente).

Las proposiciones en los recuadros de la figura 3 son representadas en el MCH mediante cadenas de recuadros ovalados, que contienen en su interior los conceptos en negritas y subrayados. Los recuadros están conectados mediante segmentos con flechas que contienen las palabras enlace. Los recuadros están numerados para ayudar a la lectura e interpretación del MCH, de esta manera, nos referimos al concepto *oxígeno* de la práctica A mediante A5 o al concepto *reacción* de la práctica B mediante B5, figura 4.

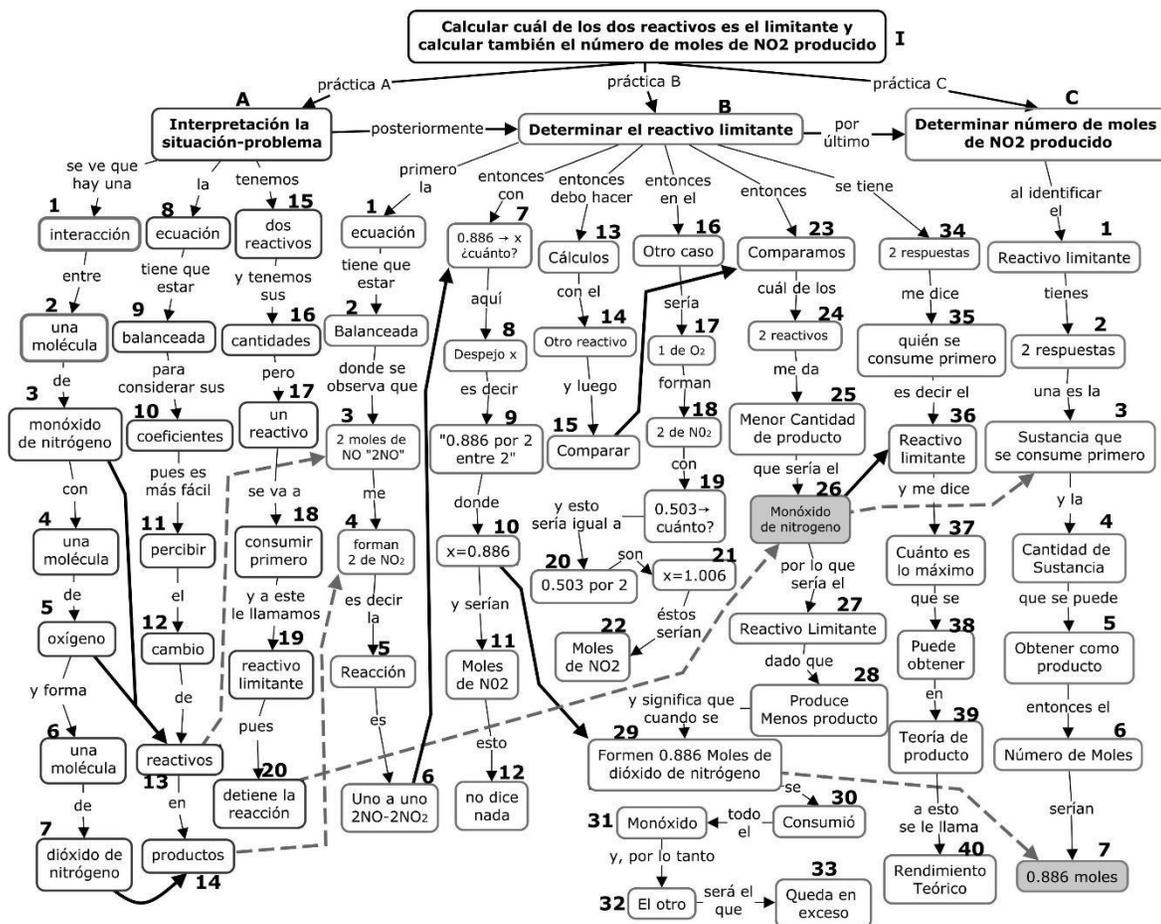


Figura 4. MCH epistémico correspondiente a la producción del docente. Fuente: elaboración propia.

Según el MCH de la figura 4, el docente llevó a cabo un proceso de comprensión lectora del primer párrafo del texto que describe la situación química problematizada, ya que por un lado realizó un proceso de inferencia en el que relacionó el texto con sus ideas propias mediante

A1-A2-A3-A4-A5-A6-A7, donde A1, A2, A4 y A6 provienen de su memoria, pues éstos no están señalados en el texto de la figura 2 y, por otro lado, mediante el proceso de metacognición, organiza en su mente la manera en que ocurre la reacción al señalar la formación de A7 a partir de A3 y A5. El docente también llevó a cabo un proceso de idealización, pues a partir del texto y de la ecuación química de la figura 2 pensó en la interacción entre el objeto químico A3 y el objeto químico A5 para formar el objeto químico de A7.

El docente, por un lado, realiza un proceso de significación de la ecuación química de la figura 2 y, por otro lado, mediante el proceso de comprensión lectora realizado sobre el texto, recupera información de su memoria y materializa el argumento A8-A9-A10-A11-A12-A13-A14, lo cual da evidencia de que el docente considera necesario balancear la ecuación para luego resolver el problema. De igual manera, mediante la significación de la ecuación el docente reconoce dos reactivos y, a partir de la comprensión lectora, reconoce, por un lado, que cuenta con los datos de las cantidades de los reactivos al materializar el argumento A15-A16 y, por otro lado, accede a su memoria y materializa el argumento A17-A18-A19-A20 para manifestar su conocimiento previo acerca del reactivo limitante. Este último argumento es lo que desencadena la realización del resto de las prácticas.

Una vez que el docente ha reconocido los datos de los que dispone y ha realizado un proceso metacognitivo que le lleva a analizar su conocimiento acerca del concepto de reactivo limitante, evidenciado por la materialización de la propiedad A17-A18-A19-A20, procede a realizar la segunda práctica B. En la práctica B el docente recupera el señalamiento general inicial A8-A9-...-A13-A14 mediante el argumento B1-B2 el cual particulariza a través de la materialización del argumento B3-B4 el cual significa como una reacción *uno a uno* mediante B5-B6.

A partir de la significación de B5-B6 y el dato del número de moles de *NO* que aporta el problema el docente advierte la propiedad B6-B7 que desencadena el procedimiento B8-B9-B10 y, finalmente, significa B11-B12 al materializar que el resultado obtenido no le aporta nada a la resolución del problema (hasta el momento). Cabe señalar que la formulación de la propiedad B6-B7 resulta de la particularización de un conocimiento previo general del docente que tiene que ver con la proporción en la que reaccionan los compuestos y que no es señalada explícitamente en el discurso.

El docente materializa el argumento B13-B14-B15 para advertir que la determinación del reactivo limitante requiere realizar el procedimiento anterior pero ahora con el reactivo O_2 y, posteriormente, comparar dicho resultado con B10. Con base en esto, el docente materializa la propiedad B17-B18-B19, que se refiere a una relación de proporción entre el O_2 y el NO_2 , luego realiza el procedimiento B20-B21 que le lleva a significar el resultado B21 a través de B21-B22. Cabe señalar nuevamente que, al igual que B6-B7, la propiedad B17-B18-B19 es la particularización de una propiedad general conocida previamente por el docente acerca de la proporción en la que reaccionan los compuestos y que el docente maneja implícitamente.

A partir de la materialización del argumento B23-B24-B25, el docente señala que el NO , B26, es el reactivo limitante y lo justifica a través del argumento B27-B28-...-B32-B33. El docente realiza un proceso de metacognición para monitorear su comprensión de los resultados que ha obtenido, B26 y B10, al materializar el argumento B34-B35-...-B39-B40.

Finalmente, en la práctica C, el docente dictamina cuál es el número de moles producidos de NO_2 al materializar el argumento C1-C2-...-C6-C7. El docente había obtenido este resultado anteriormente en B10, sin embargo, requería realizar el proceso metacognitivo B34-B35-...-B39-B40 para poder emitir una conclusión.

En el MCH epistémico de la figura 3 se destacan algunas conexiones entre conceptos mediante segmentos con flecha pero sin palabras enlace, por ejemplo, conexiones al interior de las prácticas mediante segmentos continuos (por ejemplo, en la práctica A, A3-A13, A5-A13, A7-A14), o conexiones entre prácticas mediante segmentos discontinuos (por ejemplo, A13-B3, A14-B4, A20-B26), las cuales fueron advertidas e indicadas por los investigadores pues dan cuenta de la organización y conexión implícita, por un lado, entre los OQ y los OQM en y entre las prácticas.

Con base en el análisis anterior se observa que en el sistema de prácticas realizado por el docente aparece un conjunto de procesos cognitivos responsable de la producción de conocimiento químico-matemático, figura 5.



Figura 5. Conjunto de procesos implicados en la producción de conocimiento químico matemático. Fuente: elaboración propia

El texto y la ecuación química que describen la situación química problematizada proveen objetos químicos y químico-matemáticos en su faceta ostensiva, I en la figura 5, los cuales mediante la lectura son interpretados e idealizados en objetos no ostensivos, II en la Figura 5.

La comprensión lectora permite al sujeto establecer relaciones de inferencia entre los objetos del texto y los objetos químicos o químico-matemáticos provenientes de su conocimiento previo. Por ejemplo, relaciona la ecuación y las fórmulas químicas del problema con una interacción molecular y con objetos químicos, respectivamente, presentes en el conocimiento previo del sujeto; también le permite acceder a su memoria para recuperar otros objetos no ostensivos tales como los procedimientos generales de balanceo de ecuaciones (A8-A9-...-A13-A14), la determinación del reactivo limitante (A17-A18-A19-A20) y la propiedad general de proporción de reacción entre compuestos manejada implícitamente II en la figura 5.

Por otra parte, los procedimientos generales en la memoria son particularizados por el sujeto, por ejemplo: particulariza el procedimiento de balanceo de ecuaciones al caso de la ecuación química del problema, lo cual materializa con el argumento B1-B2, III en la figura 5. La ecuación balanceada le lleva a particularizar la propiedad general de la proporción de reacción entre compuestos, que también materializa mediante B6-B7 y B17-B18-B19, III en la figura 5. El sujeto particulariza el procedimiento general para determinar el reactivo limitante de una reacción a través de la materialización de la práctica B donde, para cada cantidad de reactivo, calcula la cantidad de producto obtenido, luego compara los resultados B10 y B21 y, posteriormente, expresa el significado de dicha comparación al materializar el argumento C1-C2-...-C6-C7.

A continuación, se presenta el análisis del MCH cognitivo correspondiente a la producción de los estudiantes.

Análisis de los Mapas Conceptuales Híbridos químicos de tipo cognitivo

Por cuestiones de espacio, se prescindirá de la exposición de la producción oral y escrita del estudiante y únicamente se presentará el MCH cognitivo con objeto de realizar el análisis correspondiente mediante la AOC.

El MCH químico del alumno

Arturo realizó tres prácticas, en la práctica A interpretó la situación química problematizada, en B determinó el reactivo limitante y en C calculó el número de moles de producto, figura 6. La resolución del problema fue correcta, sin embargo, el sistema de prácticas que realizó fue distinto al del docente, ya que trabajó en *gramos*, mientras que el docente resolvió el problema en *moles*. En la práctica A el alumno idealizó la ecuación química y realizó un proceso de significación con el procedimiento general de balanceo de ecuaciones químicas de su conocimiento previo, posteriormente, particularizó dicho procedimiento general de balanceo de ecuaciones al caso de la ecuación química del problema, lo cual se verifica a través de la materialización del argumento A1-A2-A3.

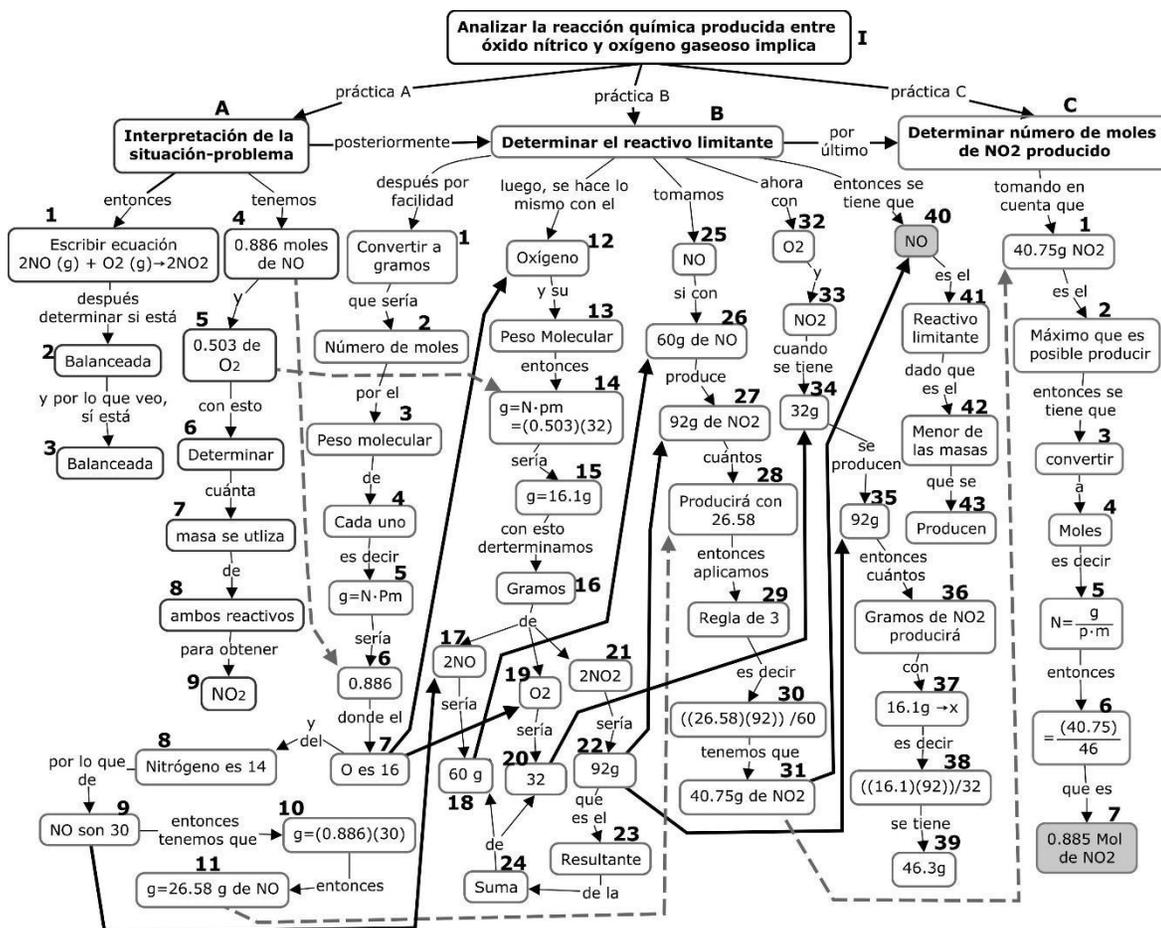


Figura 6. MCH cognitivo correspondiente a la producción del alumno. Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, el estudiante realizó la lectura y comprensión del texto que describe el problema y luego realizó un proceso de inferencia para relacionar el texto con sus ideas para convertir la cantidad de moles que proporciona el problema a unidades de masa en gramos y se anticipa con esto antes de resolver el problema, esto lleva al alumno a materializar el argumento A4-A5-A6-A7-A8-A9.

En la práctica B el alumno materializa el argumento B1-B2-B3-B4 donde planea convertir los moles a gramos mediante. El alumno accede a su memoria y materializa la propiedad no ostensiva general B5 para calcular la masa de un compuesto químico NO a partir del número de moles N y su peso molecular Pm . Posteriormente, en B5 significa N con el número de moles del compuesto NO que proporciona el problema a través de la materialización de B6, luego, accede nuevamente a su memoria para recuperar la propiedad general del peso molecular de un compuesto la cual particulariza y materializa mediante el procedimiento B7-B8-B9. De este modo, la propiedad general B5 es particularizada y materializada a través de B10, lo cual le lleva a obtener la masa del NO en gramos B11. El alumno realiza los procesos descritos anteriormente para el caso del compuesto O_2 al materializar B12-B13-B14-B15.

Posteriormente, el alumno accede a su memoria y recuerda la propiedad general no ostensiva de conservación de la materia (no señalada explícitamente), establece una relación de significación entre la propiedad general y la ecuación química idealizada para luego particularizar dicha propiedad general mediante la materialización de B17-B18 y B19-B20 y consecuentemente de B21-B22-B23-B24.

El alumno recupera de su conocimiento previo la propiedad general no ostensiva que tiene que ver con la proporción en la que reaccionan los compuestos, la particulariza y la materializa mediante B25-B26-B27-B28-B29, luego materializa el procedimiento B30 que le lleva a obtener la masa del producto NO_2 en B31. El estudiante repite los mismos procesos, pero ahora empleado O_2 , mediante la materialización de B32-B33-...-B38-B39. Por último, realiza un proceso de metacognición que le permite organizar los resultados B31 y B39 y luego afirmar qué compuesto es el reactivo limitante, esto a través de la materialización del argumento B40-B41-B42-B43.

Finalmente, una vez que determinó el reactivo limitante, el alumno se apoya en el resultado B31, que expresa la masa del producto en gramos, y busca calcular el número de moles

correspondiente al materializar C1-C2-C3-C4. Para esto, accede a su memoria, recupera nuevamente y materializa la propiedad general no ostensiva C5 que le permite calcular el número de moles de un compuesto químico N a partir del peso molecular Pm y su masa en gramos g , ver C5, luego establece una relación de significación entre g y C1 y entre Pm y el peso molecular de NO_2 , materializa dicha significación y realiza el procedimiento C6 que le lleva al resultado correcto C7.

Comparación entre el MCH epistémico y el MCH cognitivo de los estudiantes

La comparación entre el MCH epistémico y el cognitivo se realizará con base en las semejanzas y diferencias que guardan entre sí. Tanto el MCH epistémico como el cognitivo permiten observar que los sujetos emplean tanto objetos químicos, por ejemplo, molécula, dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno, entre otros, como objetos químico-matemáticos, tales como B6-B7-B8-B9-B10 y B17-B18-B19-B20-B21 en la figura 4. Cabe destacar el uso implícito de un objeto químico-matemático en ambos mapas. Se trata de la propiedad general implícita que lleva al docente y al estudiante a materializar los procedimientos B8-B9-B10, figura 4, y B29-B30-B31, figura 6, respectivamente. La transcripción no aporta información sobre el significado que atribuyen los sujetos a esta propiedad.

Por otra parte, en ambos mapas, también se observa cierto conjunto de funciones semióticas entre los objetos de una misma práctica y entre objetos de distintas prácticas, por ejemplo, en el MCH de la figura 4, las conexiones B10-B29, B15-B23 o B26-B36, señaladas mediante una línea continua al interior de la práctica B, o bien las conexiones A13-B3, A14-B4 o A20-B26 entre la práctica A y B indicadas mediante líneas segmentadas. Se trata de relaciones de significación no ostensivas que hacen posible la coordinación del sistema de prácticas.

En ambos mapas se observa un conjunto de procesos cognitivos implicados en la producción de conocimiento. Se trata de los procesos esquematizados en la figura 5: *comprensión lectora*, que permite relacionar los objetos del texto con aquellos objetos no ostensivos en el conocimiento previo del sujeto, también le lleva al sujeto a recuperar información de su memoria (por ejemplo, balancear la ecuación química antes que todo) y a realizar el proceso de metacognición acerca de cómo actuar a partir de la información de la que dispone; *idealización*, cuando se desmaterializan las fórmulas y la ecuación química ostensiva y pasan a ser objetos no ostensivos en la mente del sujeto; *particularización*, cuando el sujeto

accede a su memoria y recupera una propiedad químico-matemática general y la particulariza según los datos que proporciona el problema químico, por ejemplo, la particularización de la propiedad general que le lleva a materializar el procedimiento B6-B7-B8-B9-B10 o la propiedad B5 particularizada en B10 de la figura 6; *significación*, que permite el establecimiento de relaciones de significación entre los objetos químico-matemáticos, por ejemplo, la significación de B10 como moles de NO_2 en B11 o bien la significación de N en C6 como moles de NO_2 en C7 de la figura 6; *argumentación*, que permite justificar el procedimiento realizado, por ejemplo, cuando a partir del resultado B10-B11-B12 el docente argumenta B-B13-B14-B15 en la figura 4; *materialización*, que se encuentra presente en todo momento con el propósito de comunicar a otros el sistema de prácticas realizado.

Por otra parte, entre las diferencias se tiene que el docente resolvió el problema empleando únicamente los coeficientes de la ecuación química y la cantidad de moles de los reactivos, mientras que el alumno realizó la conversión de los moles de los reactivos a unidades de masa en gramos, lo cual le llevó a considerar el peso molecular de los reactivos. En este sentido, el MCH cognitivo puede considerarse de tipo operativo, en cambio el MCH epistémico revela una mayor comprensión del concepto de reactivo limitante. El MCH epistémico muestra que los objetos químicos, objetos químico-matemáticos y la organización de las prácticas llevan a entender el reactivo limitante como aquel compuesto que se consume primero en la reacción y detiene la reacción, A17-A18-A19-A20, por lo tanto, como aquella que permite obtener la mayor cantidad de producto, B36-B37-B38-B39. En contraste, en el MCH cognitivo, el reactivo limitante es entendido en términos procedimentales como aquel compuesto que al emplear una regla de tres arroja la menor masa de producto, B29 y B40-B41-B42-B43, la cual es significada como la cantidad de producto máxima que es posible producir, C1-C2.

El MCH epistémico muestra que el docente se apoya en conceptos que el alumno no toma en cuenta, lo cual le permite apoyar de una manera más adecuada el procedimiento empleado en la resolución del problema. Por ejemplo, en la figura 4 se puede observar que el docente emplea los conceptos A18 *consumir primero* y A20 *detiene la reacción* que le permite argumentar A17-A18-A19-A20; también toma en cuenta los conceptos B30 *consumió* y B33 *queda en exceso* que le llevan a señalar B26-B27-...B32-B33; y también considera B40 *rendimiento teórico* que le permite advertir B34-B35-...-B39-B40, figura 4.

Conclusiones

Se concluye que el docente muestra un mayor dominio del concepto de reactivo limitante y realiza un sistema de prácticas que le permite llegar al resultado correcto de manera directa, en comparación con el alumno que, si bien obtuvo el resultado correcto, sin embargo, realizó un sistema de prácticas que puede considerarse de tipo procedimental, que le llevó a emplear más recursos. En particular, nos referimos a la consideración del peso molecular de los compuestos y a la conversión del número de moles a gramos y viceversa.

La interpretación del MCH desde la aproximación teórica permite analizar de manera gráfica cuáles son los objetos químicos y químico-matemáticos que participan en la resolución del problema. También permite advertir las funciones semióticas a través de las conexiones entre los objetos representados en el MCH (a través de segmentos que contienen palabras enlace y mediante segmentos continuos o segmentados). Los objetos y sus conexiones, al interior de las prácticas y entre las prácticas, así como la organización de las prácticas permiten tener un acercamiento al significado que el sujeto atribuye al concepto de reactivo limitante. Es en este sentido en el que es posible señalar que el sistema de prácticas del estudiante es mayormente operativo mientras que el del docente muestra una comprensión más profunda.

Existe un conjunto de procesos cognitivos (comprensión lectora, idealización, particularización, significación, argumentación y materialización) que aparecen tanto en el sistema de prácticas epistémico como en el cognitivo, los cuales están implicados en la producción de conocimiento químico-matemático. Sin embargo, cabe señalar que se trata de procesos necesarios, pero no suficientes para la realización de un sistema de prácticas adecuado (tomando como referente el sistema de prácticas del docente).

Existen objetos químico-matemáticos no ostensivos que no son materializados en el sistema de prácticas, sin embargo, puede advertirse su existencia a partir de la relación que guardan con otros objetos. Al respecto, considerando que el MCH epistémico, figura 4, y el cognitivo, figura 6, no aportan información acerca del significado que atribuyen los sujetos a la propiedad general que fue materializada en el procedimiento del docente, B8-B9-B10, y del estudiante, B29-B30-B31, es necesario señalar la importancia que tiene complementar el instrumento de investigación, es decir, el problema planteado textualmente, con preguntas que

permitan indagar más a fondo cuáles son los significados que los sujetos atribuyen a las propiedades químico-matemáticas que emplean en la resolución del problema.

El problema planteado a los sujetos investigados no fue difícil, sin embargo, el análisis gráfico realizado al interpretar el MCH mediante la aproximación teórica permitió evidenciar la viabilidad de nuestra propuesta. Como se pudo observar, el análisis es muy fino, pues muestra a detalle los objetos (químicos y químico-matemáticos) y la manera en que éstos se organizan en las prácticas, las conexiones entre los distintos objetos químicos y químico-matemáticos al interior de las prácticas y entre las prácticas que constituyen el sistema de prácticas que permite la resolución del problema, así como también advertir algunos procesos cognitivos importantes. Se trata de una aproximación teórica que podría ser de gran utilidad en la investigación relacionada con el aprendizaje de conceptos de mayor complejidad a través de la resolución de problemas.

Referencias

- Aguilar, M. M., Fernández, T. M. y Durán, T. C. (2011). Experiencias curiosas para enseñar química en el aula. *Educació química*, 8, 23-34.
- Bautista, B. J. (2004). Filosofía y Enseñanza de la Química sin reduccionismos. *Revista Educação e Filosofia*, 18(35/36), 233-258.
- Bencomo, D., Godino, J. D. y Wilhelmi, M. R. (2004). Elaboración de redes ontosemióticas de configuraciones didácticas con Atlas/TI. En Cañas A. J., Novak J. D., González F. M. (Eds.), *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping* (pp. 71-74). Pamplona, España: Dirección de Publicaciones de la Universidad Pública de Navarra.
- Blumer, H. (1969). *Symbolic Interactionism, Perspective and Method*. New Jersey, U. S. A.: Prentice Hall, Inc.
- Castelló, H. M. (1997). Balanceo de ecuaciones químicas mediante computadora. *Educación Química*, 8(1), 56-62.
- Chamizo, J. A. (2004). Apuntes sobre la historia de la química en América Latina. *Revista de la Sociedad Química de México*, 48(2), 165-171.
- Chamizo, J. A., Castillo, D. y Pacheco, I. (2012). La naturaleza de la química. *Educación química*, 23(2), 298-304.
- Chang, R. (2010). *Química (décima edición)*. México DF, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S. A. DE C.V.
- Gallego, B. R., Pérez, M. R. y Gallego, T. A. P. (2009). Una aproximación histórico epistemológica a las leyes fundamentales de la Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8(1), 359-375.

- Garcés, S. B., y Velázquez, L. V. (2007). La motivación y el cambio conceptual. *Revista Cubana de Química*, 19(2), 67-70.
- Godino, J. D. (2003). Teoría de las funciones semióticas. Un enfoque ontológico-semiótico de la cognición e instrucción matemática. Granada, España: Universidad de Granada. <https://www.ugr.es/~jgodino/funciones-semioticas/monografiatfs.pdf>
- Godino, D. J., Batanero, C. y Font, M. V. (2007). The ontosemiotic approach to research in mathematics education. *ZDM The International Journal on Mathematics Education*, 39(1-2), 127-135. <https://doi.org/10.1007/s11858-006-0004-1>
- Jenkins, Z. (2003). Do you need to Believe in Orbitals to use them?: Realism and the Autonomy of Chemistry. *Philosophy of Science*, 70(5), 1052-1062.
- Labarca, M. y Lombardi O. (2010). Why orbitals do not exist. *Foundations of Chemistry*, 12(2), 149-157. <https://doi.org/10.1007/s10698-010-9086-5>
- Merino, R. C. (2009). Aportes a la caracterización del ‘Modelo Cambio Químico Escolar’. Tesis doctoral inédita. UAB.
- Meroni, G., Copello, M. I., y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación química*, 26(4), 275-280.
- Montealegre, R. (2004). La comprensión del texto: sentido y significado. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 36(2), 243-255.
- Moreno, M. N. (2017). Una representación gráfica de la práctica de resolución de problemas en cálculo diferencial. *Investigación en la Escuela*, 92, 60-75. <http://dx.doi.org/10.12795/IE.2017.i92.05>
- Moreno, M. N., Angulo, V. R. G. y Reducindo, R. I. (2018). Mapas Conceptuales Híbridos para la enseñanza de la física y la matemática en el aula. *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*, 3(1), 113-130.
- Moreno, M. N., Zúñiga, M. S. C. y Tovar, R. D. A. (2018). Una herramienta gráfica para la resolución de problemas de cinemática. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(4). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6960474>
- Moreno, M. N., Angulo, V. R. G., Reducindo, R. I. y Aguilar, P. R. M. (2018). Enseñanza de la física mediante fislets que incorporan mapas conceptuales híbridos. *Apertura* 10(2), 20-35.
- Moreno, M. N., Torres, M. R. de G. y Zúñiga, M. S. C. (2019). Enseñanza de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias de primer grado mediante Mapas Conceptuales Híbridos. *Investigación e Innovación en Matemática Educativa*, 4(1), 2-17.
- Moreno, M. N., Aguilar, T. M. F., Angulo, V. R. G. y Ramírez, M. J. C. (2019). Análisis de la resolución de problemas de hidrostática en el bachillerato. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 274-296.
- Peirce, C. S. (1987). *Obra lógico-semiótica*. Madrid: Taurus Ediciones.
- Pérez, P. J. (2005). La alquimia de Newton y Boyle. *Anales de la Real Sociedad de Química*, 4, 63-69.

- Raviolo, A. (2008). Las definiciones de conceptos químicos básicos en textos de secundaria. *Educación química*, 19(4), 315-322.
- Restrepo, G. (2004). Los elementos químicos, su matemática y relación con el sistema periódico. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2(1), 91-98.
- Restrepo, G. (2005). Química matemática y la Universidad de Pamplona. *Bistua*, 3(1), 61-76.
- Ríos, C. T., Quijano, L. y Reyes, C. R. (2012) Algunas reflexiones actuales sobre la herbolaria prehispánica desde el punto de vista químico. *Revista Latinoamericana de Química*, 40(2), 41-64.
- Scerri, E. R. (2000). Philosophy of Chemistry-A New Interdisciplinary Field?. *Journal of Chemical Education*, 77(4), 522-525. <https://doi.org/10.1021/ed077p522>
- Villaveces, C. J. L. (2000). Química y Epistemología, una relación esquivada. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 1(3), 9-26.
- Wartha, E. J., y de Brito, R. D. (2016). Os níveis de representação no ensino de química e as categorias da semiótica de Peirce. *Investigações em Ensino de Ciências*, 16(2), 275-290.
- Whitten, W. K., Davis, E. R., Stanley, G. G. y Peck, L. M. (2014). *Química (décima edición)*, México DF, México: Cengage Learning Editores S. A. de C. V.

Autores:

Nehemías Moreno Martínez, Profesor de Tiempo Completo en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México. Licenciado en Ciencias con especialidad en Física (UAEM), maestría y doctorado en Matemática Educativa (CINVESTAV), postdoctorado en el Instituto de Ciencias de la Educación de la UAEM (ICE-UAEM). Miembro del Cuerpo Académico CA-UASLP-266 “Currículum, enseñanza de las ciencias y tecnologías para la educación”, miembro activo de la Red Cimates, CLAME y de la AAPT-Mx. Línea de investigación: interpretación y aplicación del Mapa Conceptual Híbrido en las matemáticas, la física, la química y la biología escolar. Email: nehemias_moreno@live.com; <https://orcid.org/0000-0002-5919-612X>

Luis Enrique Hernández Zavala, Licenciado en Matemática Educativa, Estudiante de la Maestría en Ciencias con la especialidad en Matemática Educativa (CINVESTAV-IPN), México. Líneas de investigación: interpretación y aplicación del Mapa Conceptual Híbrido en las matemáticas, la física y la química, Aspectos cognitivos del aprendizaje y la enseñanza de la matemática, Análisis de las soluciones matemáticas a utilizar en la toma de decisiones. luisenri.hernandez@cinvestav.mx <https://orcid.org/0000-0003-0746-7503>