

La Teoría de Significados Sistémicos y la Enseñanza de la Química: Una Aproximación a la Estequiometría

Guillermo Centeno-Bordones

Centro de Investigaciones en Ambiente, Biología y Química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

gcenteno1@uc.edu.ve

[Versión para imprimir](#) 

Resumen

Esta investigación busca conocer el significado institucional de referencia de los cálculos estequiométricos a partir de textos universitarios empleados en los cursos de química I para estudiantes de la licenciatura en química de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo. Para lograr este propósito primero, se caracterizaron los significados personales de estequiometría en los alumnos cursantes de la asignatura. Y luego, se contrastaron los significados institucionales con el manifestado por los sujetos interpretantes. Metodológicamente se combinó el estudio cualitativo con un análisis ontosemiótico. El conjunto de sujetos interpretantes fue de 25, quienes realizaron dos actividades: (1) definieron el objeto estequiométrico con diez palabras o frases y (2) jerarquizaron dichas palabras considerando la importancia que cada una tiene en función del objeto, permitiendo construir un gráfico radial conformando una red semántica. El estudio reveló la complejidad de la estequiometría como compendio de conocimientos y colocó en evidencia la brecha existente entre el objeto químico personal manejado por los sujetos interpretantes y el objeto químico institucional introducido. Esta complejidad se reflejó en la heterogeneidad de significados que los estudiantes desarrollaron para el constructo estequiométrico revelando conflictos semióticos de tipo extensivos, ostensivos, actuativos e intensivos del objeto químico-matemático.

Palabras clave: teoría de significados sistémicos, enseñanza de la química, estequiometría, enfoque ontosemiótico.

Systemic Meaning Theory and the Teaching of Chemistry: An Approach to Stoichiometry.

Summary

This research seeks to know the institutional reference meaning of stoichiometric calculations from university texts used in chemistry I courses for students of the chemistry degree of the Faculty of Science and Technology of the University of Carabobo. To achieve this purpose, first, the personal meanings of stoichiometry in the students taking the course were characterized. And then, the institutional meanings were contrasted with the one manifested by the interpreting subjects. Methodologically, the qualitative study was combined with an ontosemiotic analysis. The set of interpreting subjects was 25, who carried out two activities: (1) they defined the stoichiometric object with ten words or phrases and (2) they ranked these words considering the importance that each one has depending on the object, allowing the construction of a radial graph forming a semantic network. The study revealed the complexity of stoichiometry as a compendium of knowledge and highlighted the gap between the personal chemical object handled by interpreting subjects and the institutional chemical object introduced. This complexity was reflected in the heterogeneity of meanings that the students developed for the stoichiometric construct, revealing semiotic conflicts of the extensive, ostensive, actuative and intensive type of the chemical-mathematical object.

Keywords: systemic meaning theory, chemistry teaching, stoichiometry, ontosemiotic approach

Introducción

La estequiometría, forma un núcleo conceptual de la química que se ocupa de los aspectos cuantitativos de las reacciones, comprendida como un proceso en el cual una o varias sustancias se forman a partir de otras u otros compuestos. La química se interesa por la composición y la cantidad de las sustancias que reaccionan o se forman en un proceso químico. Estos conceptos pueden enseñarse en distintos niveles educativos con diferentes grados de complejidad [1].

Este tema aborda las relaciones cuantitativas de la química, sobre una base cualitativa conceptual. Resolver problemas o ejercicios sobre estequiometría implicaría la comprensión de los conceptos químicos. Por su complejidad, los estudiantes presentan dificultades que van más allá de cuestiones matemáticas y mantienen concepciones alternativas luego de la enseñanza [2].

Según Del Valle [3] la estequiometría es un tema en el que los estudiantes tienen dificultades para su comprensión, debido a lo abstracto que puede llegar a ser, porque para poder entender a plenitud, el estudiante debe manejar conceptos básicos como: mol, masa atómica, masa molecular, reactivo limitante y en exceso, fórmula empírica, fórmula molecular, reacciones, subíndice, reactivos, productos, etc. Además, el estudiante debe tener un alto dominio del lenguaje químico como: simbología, nomenclatura, tipos de reacciones químicas, entre otros. Conceptos que la mayoría de las veces no son comprendidos a cabalidad, lo que conlleva en cierta medida a una predisposición por parte de los estudiantes hacia el tema [4]. Esto tiene como consecuencia desmotivación y bajo rendimiento académico en las evaluaciones e incluso, influye en el entendimiento de temáticas relacionadas. Si el estudiante no domina a la perfección este tópico, difícilmente avanzará hacia temas de mayor complejidad.

Otro aspecto importante a mencionar, es que la enseñanza universitaria de la química, ha sido tradicionalmente desde una perspectiva de aplicación algorítmica en los ejercicios [5], impidiendo que se promueva en el estudiante el desarrollo de diversas habilidades del pensamiento, de tal manera, que el mismo no pueda plantearse correctamente razonamientos y proporciones que permitan resolver los problemas estequiométricos [6]. Ahora bien, el caso de la estequiometría es una de las temáticas que requiere un nuevo enfoque de enseñanza, tal como lo expresa Karen L. Evans citada por Del Valle [3]. Este tema representa uno de los conceptos más difíciles de aprender en química, ya que es el producto químico del álgebra que conecta las características macroscópicas con las interacciones submicroscópicas del dominio mediante el uso de un conjunto de símbolos abstractos.

Tomando en cuenta lo anterior, se fundamenta el análisis de la estequiometría bajo el enfoque de la Teoría Significados Sistémicos (TSS, entendiendo este tema como un objeto químico-matemático que tiene base de tipo algebraica en conjunción con símbolos abstractos, teniendo esto implicación con el significado que adquiere para el estudiante la simbología química y el constructo matemático implícito. Con respecto al significado, Godino & Batanero [7] adoptan una posición pragmática, afirmando que el significado de un objeto matemático es mucho más que su mera definición, sino que está relacionado al contexto donde se utiliza, y su significado está estrechamente relacionado a los problemas y a la actividad realizada para su resolución. Los autores mencionados anteriormente distinguen dos tipos de significados para los objetos matemáticos. Primero, como un conjunto de prácticas institucionales asociadas a un objeto matemático en un momento dado conformando el significado institucional. Segundo, como un sistema de prácticas personales que manifiesta un sujeto al resolver un problema, a esto se le define como el significado personal del objeto [8]. En los estudios de significados sistémicos de objetos matemáticos se les llama práctica a toda actuación o manifestación (lingüística o no) realizada con el fin de resolver problemas, comunicar a otros la solución, validar la solución y generalizarla a otros contextos [9].

En función del significado institucional este se manifiesta de dos formas uno por lo expresado por el profesor o profesora en el aula y segundo por lo escrito en los textos de referencia usados por el docente y la institución. Siendo el libro de texto un material que presenta características peculiares: es un mediador del aprendizaje, pero también se ha configurado como el material curricular de uso preferente del profesorado [10]. Por ello, el análisis del libro de texto ofrece enormes posibilidades en la formación inicial de profesionales.

Como cualquier material dirigido a mediar en el aprendizaje de los estudiantes el libro de texto debe ser juzgado por la calidad didáctica de sus aspectos formales. El libro de texto tiene un impacto sobre el trabajo de los estudiantes (dentro y fuera de las instituciones educativas), por lo que un modelo de análisis comprensivo debe analizar sus implicaciones teóricas, metodológicas, procedimentales y lingüísticas. Según González et al [11] no faltan las críticas a la estandarización de los procesos de aprendizaje, al hecho de que promueve una metodología básicamente individualista y basada en la realización de tareas mecánicas y simples o a la secuencia de tareas repetitiva que impone en las aulas: la explicación de la profesora o profesor del tema siguiendo el contenido del libro, realización de las actividades por parte de los estudiantes y posterior corrección en el aula [12]. Es necesario analizar la adaptabilidad de las actividades a las características de los estudiantes y al contexto sociocultural en el que se va a aplicar. Una atención especial requiere el análisis de las tareas propuestas si fomentan un aprendizaje individualizado o grupal, promueven formas de expresión alternativas al cotidiano, fomentan actividades dirigidas a la interacción de actividades manuales e intelectuales, potencian la búsqueda de fuentes de información alternativas al propio material [11,12].

El libro de texto también es un material de uso profesoral por lo que se debe analizar en función de su potencialidad para favorecer la reflexión curricular en las aulas. Un buen material curricular debe justificar las opciones didácticas que lo avalan, debe ser un material coherente, experimentado, flexible (para que otros puedan adaptarlo a su práctica de una forma creativa y no mecánica), debe incluir datos para la reflexión y promover estrategias de coordinación docente innovadoras. No es muy difícil concluir que los libros de texto están alejados de cumplir los criterios anteriormente señalados: en ellos nunca se explican los motivos de las elecciones que se realizan, ni acostumbran a informar de dónde provienen sus fuentes de información [12,13].

Una de las técnicas de análisis de textos científicos más completas en las matemáticas y de especial interés en las ciencias naturales es la propuesta por Godino & Batanero [7] que lleva por título “Significado institucional y personal de los objetos matemáticos”, más tarde convertida en la teoría de significados sistémicos (TSS) como: un sistema de nociones que tratan de dar una respuesta antropológica y pragmática a la cuestión del significado de los conceptos matemáticos desde el punto de vista institucional transmitido por los libros y las nociones que el estudiante en su proceso dialéctico de aprendizaje adquiere.

La TSS intenta articular dos principios que para otros programas de investigación pueden ser considerados incompatibles con los presupuestos mencionados [14]:

1. La adopción de la metáfora objetual como recurso de expresión referencial en los fenómenos de cognición, devenido en el significado institucional del objeto de estudio.
2. El reconocimiento de la dimensión personal (o individual) de la cognición, en interacción dialéctica con la cognición institucional.

La enseñanza de la química y especialmente de la estequiometría amerita un abordaje desde sus sistemas de significados para los sujetos involucrados en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esto debido a que la temática estequiométrica es un constructo químico-matemático con un alto grado de complejidad ontológico y semiótico, dada su naturaleza dual objeto-proceso [6]. La expresión estequiométrica tiene dos acepciones semánticas en el cálculo. Primero, el significado químico fundamental que indica la totalidad de algo en la reacción, el acumulado o la suma de las partes (Reactivos y/o Productos). La segunda significación tiene un objeto matemático para encontrar una función que permita determinar la incógnita. En el primer caso el cálculo estequiométrico es considerado como un objeto, mientras que en el segundo caso es un proceso.

Estos principios se concretan en la TSS en las nociones de objeto personal e institucional como emergentes de los sistemas de prácticas. La teoría de significados sistémicos, como lo expresa su nombre, hace énfasis en los significados y es sabido por todos que la didáctica de la ciencia estudia los procesos de enseñanza/aprendizaje de los saberes, tratando de caracterizar los factores que condicionan dichos procesos, interesándose por determinar el significado que los estudiantes atribuyen a los términos y símbolos, a los conceptos y proposiciones, así como la construcción de estos significados como consecuencia de la instrucción [15,16].

Esta investigación tiene como propósito, determinar el significado institucional de referencia de los cálculos estequiométricos, a partir de algunos textos universitarios comúnmente empleados en los cursos de química I. Además, caracterizar los significados personales de la estequiometría en los alumnos cursantes de la asignatura, en función de la praxis discursiva y operativa puesta en evidencia en el proceso de estudio de la estequiometría y su aplicación. Y, por último, se busca contrastar el significado institucional con el manifestado por los sujetos interpretantes para identificar los conflictos semióticos asociados con la temática.

Metodología

Como contexto, la investigación se circunscribe en la cátedra de química general I perteneciente a la carrera de licenciatura en química, de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad de Carabobo, siendo esta la primera casa de estudios de la región carabobeña donde se forman los futuros investigadores y científicos del centro-norte venezolano, con un alto impacto en el sector industrial de la región.

Metodológicamente, se combinó un estudio interpretativo-descriptivo con un análisis ontológico-semiótico (enfoque ontosemiótico), que permitió conocer la significancia del tema para los sujetos de estudio. El conjunto de sujetos interpretantes fue de veinticinco (25), de los cuales se obtuvo los significados personales, mediante dos actividades: primero se solicitó definir el objeto estequiométrico con diez palabras o frases. Segundo, se les pidió jerarquizar las palabras o frases considerando la importancia que cada una en función del objeto indagado. A la información una vez jerarquizada y organizada se le determinó las frecuencias relativas, esto permitió construir un gráfico radial

conformando una red semántica para describir el constructo investigado. Para analizar el significado institucional de referencia, se seleccionaron varios textos de química general frecuentemente utilizados en la facultad como: Brown, Le May [17], Petrucci [18] y Chang [19]. Además, se tomó la Teoría de Significados Sistémicos (Teoría Ontosemiótica) de Godino & Batanero [7] y de Godino & Font [9], para ser aplicada a la enseñanza de la química como ciencia básica con base matemática, pues es una herramienta conveniente para conocer los significados institucionales y personales de un objeto químico-matemático como la estequiometría bajo una perspectiva o enfoque nuevo para las ciencias naturales. El análisis de la información permitió arrojar una primera aproximación para la construcción ontológica y semántica de los significados que adquieren los objetos químico-matemáticos.

Resultados

Significado institucional de la estequiometría

Para describir el significado institucional de referencia, se seleccionaron varios textos de química general frecuentemente utilizados en la facultad. En todos los libros se indica que, desde el punto de vista histórico, la construcción del concepto de estequiometría está asociada a relaciones cuantitativas (cálculos) entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química. En los textos analizados, hay una importante tendencia a presentar los cálculos estequiométricos basados en relaciones fijas de combinaciones, que hay entre las sustancias en las reacciones químicas balanceadas. Estas relaciones están indicadas por los subíndices numéricos que aparecen en las fórmulas y por los coeficientes. Este tipo de cálculos es muy importante para los autores, se utilizan de manera rutinaria en el análisis químico y durante la producción de los compuestos.

Los libros analizados también expresan que los cálculos estequiométricos requieren una unidad química que relacione las masas de los reactivos con las masas de los productos. Esta unidad química es el mol, es decir, no se indica que la estequiometría es el resultado acumulado de procesos de cambio de distintos fenómenos presentes en las reacciones químicas. Esta situación impide asociar de forma natural la estequiometría con las reacciones y cambios químicos, que analiza el cambio instantáneo de la materia.

En otras palabras, los autores al darle predominio a la **Faceta extensiva** (problemas en los que se aplica la estequiometría) sobre la **Faceta intensiva** (la noción de estequiometría como el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química, impiden al lector establecer en forma intuitiva y no matemática la relación entre la reacción y la estequiometría, que en esencia constituye lo fundamental del área. Adicionalmente, no se proponen elementos extensivos (ejemplos/ problemas/ actividades), cuyo objetivo sea la conversión entre los diversos registros de **Representación semiótica**, por ejemplo, el desarrollo de la reacción química: los tipos de reacciones, usando simbologías y estructura de la reacción; se manifiesta muy bien la **Representación algebraica** donde se aplican cálculos y procedimientos matemáticos para determinar las incógnitas; y la **Representación analítica** en los textos se ve reflejada en el detalle que se le coloca a los procedimientos algebraicos para el abordaje de problemas, centrándose en las referencias escogidas.

Significados personales de la estequiometría

En la Figura 1, se presenta la red semántica de los descriptores de la estequiometría. Para la construcción de este gráfico se les solicitó a los sujetos interpretantes que describieran ordinalmente el tema. Una vez tabulada toda esa información se escogió la expresión de mayor frecuencia "Mol" y se le asignó una ponderación del 100%. Le siguió en frecuencia "Reactivos y productos" que por una simple regla de tres le corresponde una ponderación del 58%, y así sucesivamente como se presenta a continuación:

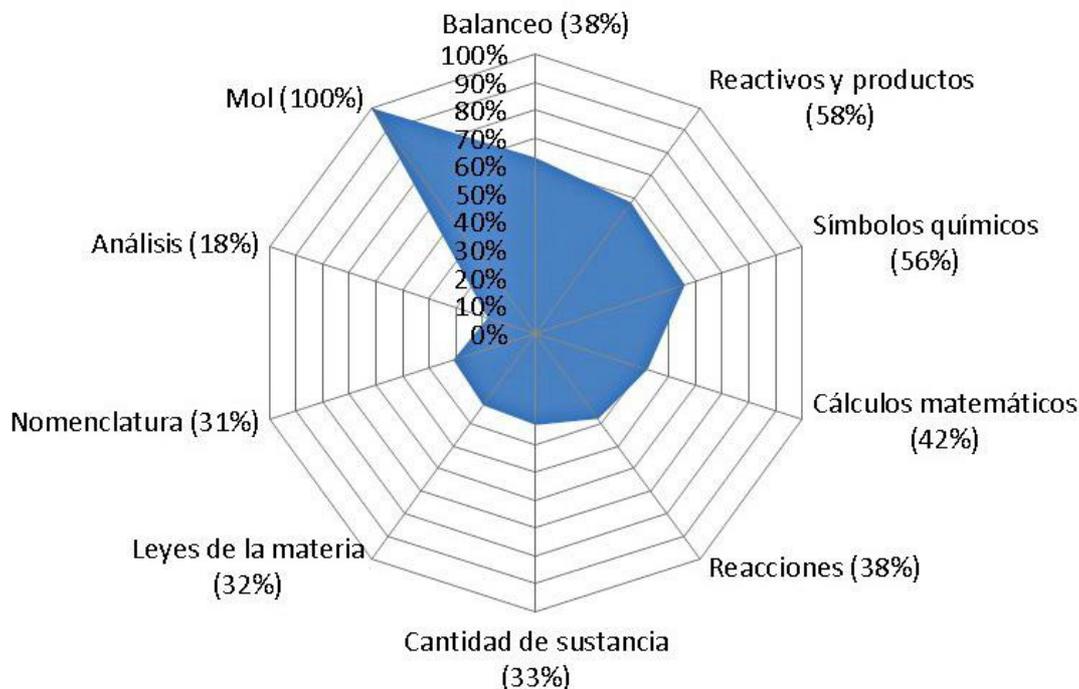


Figura 1: Representación gráfica de los descriptores de estequiometría.

El análisis del gráfico radial indica que los estudiantes:

1. Asocian la noción de estequiometría con la interpretación semiótica y algebraica atribuida al objeto químico-matemático del mol.
2. Evocan procedimientos específicos tales como el cálculo matemático y el análisis.
3. Relacionan la estequiometría, con objetos que no tienen claramente delineados su significado como los de símbolos químicos, nomenclatura y balanceo. Manifestándose la disparidad en su representación porcentual bastante dispersa, Se demuestra ambigüedad al utilizar expresiones como cantidad de sustancia, mol, leyes de la materia, análisis. Estos objetos mencionados denotan aislamiento en las categorías que conforman la estequiometría por lo que son expresión de la dispersión conceptual en el tema.

Además, se pudo observar lo siguiente:

1. La definición de estequiometría, la presentaron operacionalmente como los procedimientos necesarios para determinar y comprobar la ley de la conservación de la masa en las reacciones químicas dadas. Dejando de lado otras leyes aplicables en el tema, tampoco hicieron referencias a tipos de reacciones químicas que se presentan en los problemas de tipo estequiométricos.
2. Promovieron tímidamente la construcción de significados a través de actividades cognitivas fundamentales vinculadas a la semiótica como: la representación (símbolos químicos 56% y nomenclatura 31%), procedimientos (cálculos matemáticos 42% y análisis 18%) y conversión (cantidad de sustancia 33%, reactivos y productos 58%).

Respecto de los significados personales los sujetos muestran que en relación a:

- **Significado global:** son capaces de manifestar la comprensión total del objeto químico-matemático en estudio, expresado en los procedimientos o prácticas de ejercicios de estequiometría, logrando comprender en su mayoría las relaciones existentes entre la simbología química y las operaciones matemáticas inherentes al tema.
- **Significado declarado:** con respecto a la declaración de conceptos y procedimientos estequiométricos, además de su evaluación en función de los significados institucionales establecidos para la temática, los sujetos manifiestan una clara tendencia al análisis incorrecto de los conceptos y por ende de los problemas, debido a la dispersión en la comprensión de las categorías que fundamentan los conceptos, manifestando confusión y ansiedad ante un problema estequiométrico complejo.
- **Significado logrado:** en este caso los sujetos manifiestan una confusión de términos y procedimientos que dificulta el logro del estudiante en la comprensión del constructo teórico y por ende en la resolución de ejercicios. También es cierto, que una minoría de los estudiantes pudo alcanzar con éxito los significados institucionales propuestos, corroborando el cambio dado en sus significados personales.

Conclusión

El análisis ontosemiótico y las redes semánticas, son una herramienta que ofrece un enfoque único para conocer los significados que los estudiantes le atribuyen a los objetos químico-matemáticos, permitiendo determinar la significancia ontológica y semiótica para la estequiometría y averiguar las relaciones establecidas con otras expresiones químicas de base algebraica. La aplicación de la teoría de significados sistémicos en la enseñanza de la química como nuevo enfoque para el abordaje de la estequiometría permitió conocer que el elemento intensivo del tema responde a la interpretación matemática del mismo (una visión bastante restringida de este constructo). La interferencia entre la faceta extensiva y la faceta intensiva favorece la aparición de conflictos semióticos.

El estudio revela la complejidad de la estequiometría como compendio de conocimientos, poniendo en evidencia la importante brecha que existe entre el objeto químico personal manejado por los sujetos interpretantes y el objeto químico institucional introducido en los textos. La complejidad se refleja en la heterogeneidad de significados representados en la red semántica. Esta variedad tiene que ver con los diversos elementos de significado, por lo que se pueden proponer los siguientes conflictos semióticos:

Extensivos: por la variedad de interpretaciones conceptuales y procedimentales de la estequiometría;

Ostensivos: por la heterogeneidad de representaciones simbólicas intrínsecas al tema;

Actuativos: por la multiplicidad de procedimientos o estrategias para resolver un problema estequiométrico;

Intensivos: por la pluralidad de relaciones con otros objetos químico-matemáticos.

Referencias:

1. **Petrucci, R., & Geoffrey, F.** (2011). Química general: principios y aplicaciones modernas. 10ma edición. Pearson educación. Madrid, España.
2. **Godoy, M., & Alberto, K.** (2015). Aplicación de un juego didáctico como estrategia pedagógica para la enseñanza de la estequiometría. *Revista de investigación*, 39(84), 181-204.
3. **Raviolo, A., & Lerzo, G.** (2016). Enseñanza de la estequiometría: uso de analogías y comprensión conceptual. *Educ. quím* vol.27 no.3 Ciudad de México jul. 2016 <https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.04.003>
4. **Del Valle Montoya, W. E.** (2012) Enseñanza de la estequiometría con un enfoque sistémico: estudio de casos. Facultad de Ciencias. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11024>
5. **Candela-Rodríguez, B., & Cataño-Pereira, R.** (2019). Diseño de una progresión de aprendizaje hipotética para la enseñanza de la estequiometría por comprensión conceptual e integrada. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (45), 107-120.
6. **Izquierdo, M.** (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modernizar. In *Anales de la Asociación Química Argentina* (Vol. 92, No. 4-6, pp. 115-136). Asociación Química Argentina.
7. **Negrón, A. C. V., & Gil, P. E. G.** (2010). En busca de alternativas para facilitar la enseñanza aprendizaje de la estequiometría. *En Blanco y Negro*, 1(1), 1-8.
8. **Godino, J., & Batanero, C.** (1994). Significado institucional y personal de los objetos matemáticos. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14 (3): 325-355.
9. **Olesker, L.** (2013). Significado dado a los fenómenos aleatorios en el contexto de la enseñanza media uruguaya. En SEMUR, Sociedad de Educación Matemática Uruguay (Ed.), VII Congreso Iberoamericano de Educación Matemática (pp. 78-85). Montevideo, Uruguay: SEMUR.
10. **Godino, J., & Font, V.** (2007). Algunos desarrollos de la teoría de los significados sistémicos. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 14(3), 325-355.
11. **Palop, M. P., & García, P. Á.** (2017). El libro de texto como objeto de estudio y recurso didáctico para el aprendizaje: fortalezas y debilidades. *Revista electrónica interuniversitaria de formación del profesorado*, 20(1), 201-217.
12. **González, E., Guerrero, A., Yáñez, J., & González, L.** (2015). La resolución de problemas en los libros de texto: un instrumento para su análisis. *Avances de investigación en educación matemática*, (8), 73-94.
13. **Braga Blanco, G., & Biver Domínguez, J.** (2016). El análisis de libros de texto: una estrategia metodológica en la formación de los profesionales de la educación. *Revista complutense de educación*. Vol. 27 Núm. 199-218.
14. **Martínez, J., & Rubio, J. C.** (2018). Teoría y metodología de investigación sobre libros de texto: análisis didáctico de las actividades, las imágenes y los recursos digitales en la enseñanza de las Ciencias Sociales. *Revista Brasileira de Educação*, 23.
15. **Godino, J., Burgos, M., & Wilhelmi, M.** (2020). Papel de las situaciones adidácticas en el aprendizaje matemático. Una mirada crítica desde el enfoque ontosemiótico. Enseñanza de las Ciencias. *Revista de investigación y experiencias didácticas*, 38(1), 147-164.
16. **Godino, J., Batanero, C., Burgos, M., & Gea, M.** (2021). Una perspectiva ontosemiótica de los problemas y métodos de investigación en educación matemática. *Revemop*, 3, e202107-e202107.
17. **Gea Serrano, M., Fernandes, J., López Martín, M., & Arteaga Cezón, J.** (2017). Conflictos semióticos relacionados con la organización de datos bidimensionales en libros de texto de Bachillerato. En: J.M. Contreras, et al. (eds.). Segundo Congreso Internacional Virtual sobre el Enfoque Ontosemiótico del Conocimiento y la Instrucción Matemáticos: Actas. Granada: Universidad de Granada, [<http://hdl.handle.net/10481/45428>]
18. **Brown, T., LeMay Jr, H., Bursten, B., & Burdge, J. R.** (2014). Química: la ciencia central. 12 va edición. Pearson educación. D.F, México.
19. **Petrucci, R., & Geoffrey, F.** (2011). Química general: principios y aplicaciones modernas . 10ma edición. Pearson educación. Madrid, España.
20. **Chang, R; Goldsby, K., & Nagore Cazares, G.** (2017). Química. 12va edición. Editorial McGraw-Hill International. D.F, México.

