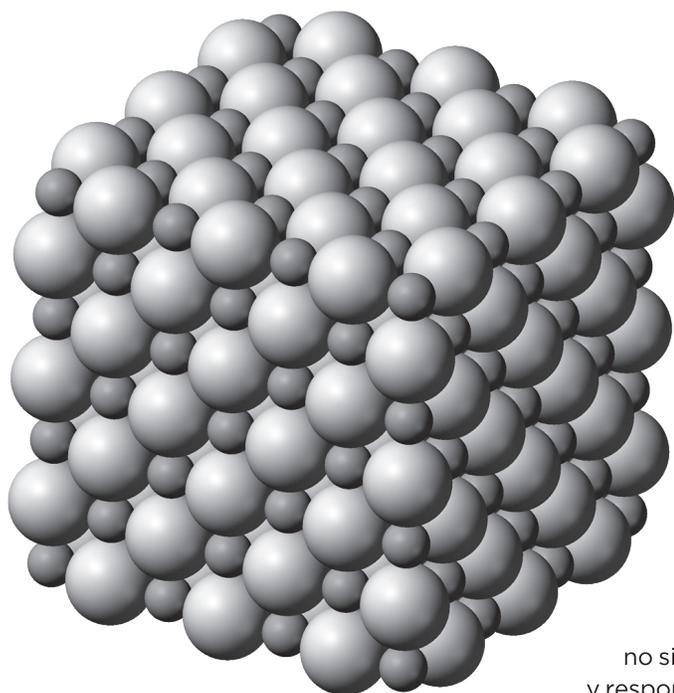


Resolución de Sistemas de Ecuaciones Lineales y Secuencias de Instrucción Basadas en un Contexto de Soluciones Químicas



José Luis González Bucio¹, Cesar Cristóbal Escalante¹,
José Manuel Carrión¹, Graciano Calva Calva²
Josefina Pérez Vargas³

Resumen

Uno de los objetivos de la enseñanza de la Química, es analizar las reacciones de elementos y compuestos; pero cuando se ponen en contacto dos sustancias, no siempre hay una reacción, por lo que es pertinente plantearse y responder preguntas como las siguientes: ¿cuándo reaccionan dos sustancias?, ¿qué resultados se obtienen al reaccionar dos sustancias?, ¿cómo determinar los resultados de una reacción?, ¿cómo saber cuándo es posible que reaccionen dos sustancias?

Los estudiantes deben aprender a dar respuesta a éstas y otras preguntas semejantes. Una forma de contestar interrogantes de este tipo, implica analizar las características de los elementos que constituyen las sustancias que se ponen en contacto, utilizar los conceptos de ion, átomo y molécula, aplicar leyes y propiedades derivadas de la química. Por ejemplo, la ley de la conservación de la materia, la ley de las proporciones múltiples, el modelo atómico, entre otras. Analizar los reactivos (sustancias que se ponen a reaccionar) y los productos (los resultados de la reacción), lleva a considerar lo que se denomina el “balanceo de reacciones químicas” (Brown, 2004). Este análisis descansa en la ley de conservación de la materia y en la de

Acerca de los autores...

¹ División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo.

² Biotecnología y Bioingeniería, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. San Pedro Zacatenco, México D. F. CP 07360

³ División de Ingeniería Bioquímica, Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Ecatepec de Morelos, Edo de México.

las proporciones múltiples y definidas. Una de sus consecuencias se puede expresar así: “la cantidad de materia que reacciona debe ser igual a la cantidad de materia que resulta” (Garritz y Chamizo, 1994); por tanto, el número de átomos de los elementos que reaccionan debe ser igual al número de átomos que aparecen en las sustancias resultantes. Balancear una reacción química es un proceso que puede realizarse de varias formas. El método del tanteo, Redox y el uso de los Sistemas de Ecuaciones Lineales (SEL) son los más utilizados. Para ello se debe tener en cuenta que algunas mezclas de reactivos químicos nos pueden dar más de dos productos y esto dificulta utilizar el método de tanteo, por lo que es necesario usar los SEL para representar relaciones entre las cantidades de elementos en los reactivos y en los productos.



Introducción

Uno de los objetivos de todo sistema educativo es que los estudiantes desarrollen conocimientos y habilidades en el aula, que más tarde puedan aplicar en un contexto laboral, esto es, que ellos transfieran lo aprendido en el aula a situaciones que se les presenten en la vida real.

Sin embargo, propiciar que los alumnos desarrollen e integren conocimientos en disciplinas como la física, química, biología y matemáticas (como en otras áreas), no es fácil. Los maestros deben diseñar y aplicar estrategias de enseñanza adecuadas, de manera que en cada actividad los estudiantes aprendan e incorporen otras características esenciales de los conceptos y de sus relaciones, además de ejercitar habilidades para utilizarlos.

Este trabajo expone el proceso de diseño y planeación que se siguió para elaborar una secuencia de instrucción, cuyo objetivo es desarrollar la habilidad de los estudiantes para usar los SEL en el balanceo de ecuaciones químicas.

Dicha secuencia de instrucción pretende integrar los conocimientos químicos y los matemáticos sobre los SEL, a fin de que el educando analice y verifique las condiciones para que una reacción química pueda ser balanceada, o permita decidir la posibilidad de que la reacción se lleve a cabo o no.

En el presente estudio se aplicaron conceptos que han sido desarrollados dentro de las perspectivas Modelo-Modelación sobre aprendizaje de las matemáticas (Lesh & Doer, 2003). También se tomaron aspectos sobre la Trayectoria Hipotética de Aprendizaje (THA) de Simon (2004), y el Proceso de

Análisis Didáctico, Gómez (2012) para el diseño instruccional. A continuación se describen estas aportaciones.

Metodología

Criterios para el diseño de la secuencia

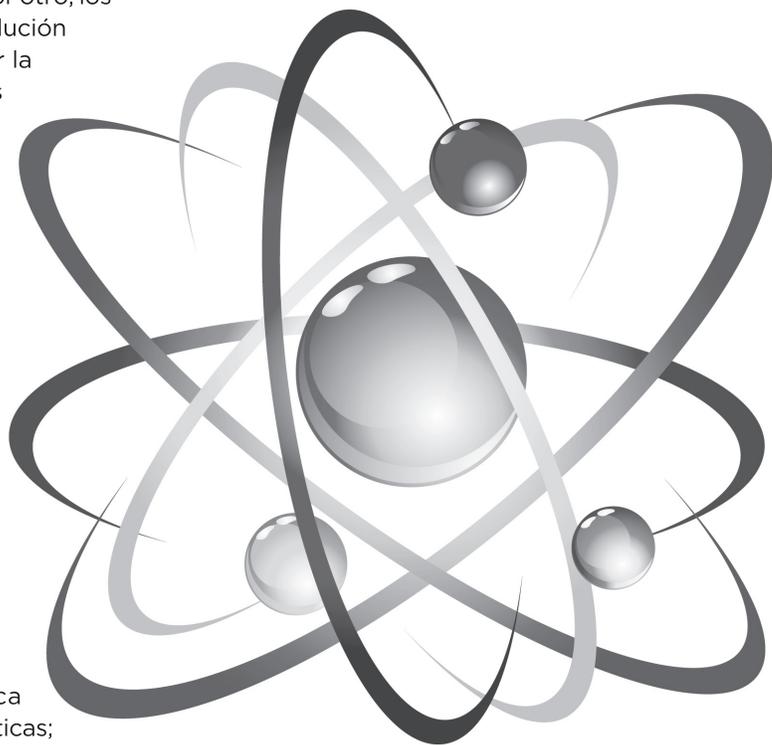
Los criterios para el diseño de la secuencia se derivaron de un análisis didáctico (Gómez, 2012) partiendo de los objetivos asociados a esta unidad, considerando los conceptos y procesos químicos y matemáticos asociados a ellos.

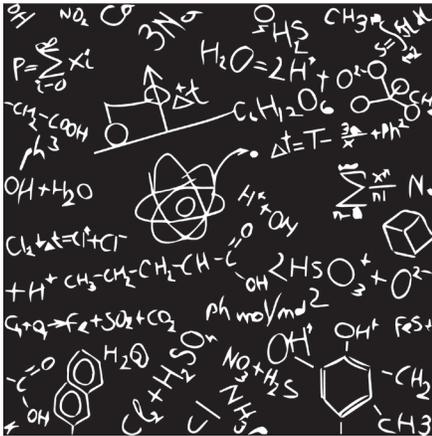
El análisis del contenido (Gómez, 2012) nos llevó a considerar los conceptos y leyes de la química que están asociados con el balanceo de reacciones químicas, por un lado y, por otro, los conocimientos y conceptos asociados con la resolución de los SEL. Así, los educandos deben interpretar la reacción química, es decir, aplicar los conceptos básicos de átomo, molécula, ion, tabla periódica y propiedades de las reacciones químicas.

Inicialmente deben conocer cómo balancear una reacción química con el método de tanteo y al observar el grado de complejidad de dicha reacción, proceder a balancear la reacción química, utilizando los SEL. Las actividades deberán partir de reacciones químicas que utilicen los SEL, con pocas incógnitas y ecuaciones (2x2, 2x3, 3x2, 3x3, etcétera) e ir incrementando su complejidad, para que el alumno pueda distinguir cuándo existe una reacción química con los SEL $n \times m$, de n ecuaciones con m incógnitas, e ir desde las reacciones químicas más sencillas hasta las más complejas. Deberán entonces analizar correctamente si la reacción química formará más de un producto y con esas características; al diseñar los SEL, podrán determinar si existe solución, si tienen infinitud de soluciones o no existe solución alguna.

A partir del Análisis Cognitivo (Gómez, 2012) se considera que la secuencia de actividades debe propiciar que el estudiante recuerde y aplique las definiciones de átomo, molécula e ion. Por ello se planteó que en las primeras actividades, el estudiante identifique los átomos y moléculas de una reacción química. Posteriormente, que efectúe el conteo de átomos en los reactivos y la cantidad de átomos en los productos, con el fin de mantener balanceada la reacción química, como lo establece la Ley de la conservación de la materia. En ese momento se pedirá a los estudiantes que investiguen y recuerden los métodos para resolver un SEL. A continuación, las actividades deben propiciar que los estudiantes utilicen los SEL para balancear las reacciones químicas. También en estas últimas actividades, las reacciones químicas deben llevar un SEL que tenga solución única, otro que tenga infinitud de soluciones y uno más que no tenga solución.

Para el Análisis de Instrucción, se derivó un conjunto de criterios que guiarán al análisis, diseño y selección de actividades:





- a) Las actividades iniciales deberán mostrar al estudiante los principios clave utilizados para balancear la reacción química y establecer los SEL asociados con ese proceso. De igual forma, deberán conocer primeramente cómo balancear una reacción química con el método de tanteo y al conocer el grado de complejidad de dicha reacción, habrán de establecer los SEL para su solución.
- b) Una vez que ya han estudiado los SEL, estarán en condiciones de resolver los SEL $n \times m$ con el uso de cualquier método de solución.
- c) Las actividades deberán partir de reacciones químicas que utilicen SEL con pocas incógnitas y ecuaciones (2x2, 2x3, 3x2, 3x3, etcétera) e ir las incrementando en su grado de dificultad.

El Análisis de Actuación (Gómez, 2012) implica analizar los trabajos realizados por los estudiantes. Se evalúan los resultados obtenidos respecto a los conocimientos desarrollados en las diferentes actividades y tareas, observando el nivel de desempeño y su evolución, y se identifican las dificultades que tuvieron durante el aprendizaje de los conceptos involucrados.

Actividades de la Secuencia Didáctica

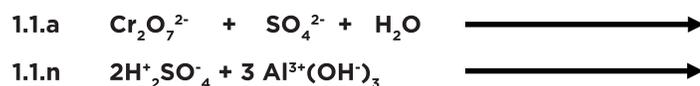
La secuencia constó de cinco actividades. Cada una se desarrolló durante dos horas en el aula. Se aplicó a un grupo de 20 alumnos del tercer semestre de la carrera de Ingeniería Ambiental de la División de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Quintana Roo, que tomaron la asignatura de Química Analítica, en el ciclo de otoño del 2013.

Descripción de la Secuencia Didáctica

La secuencia contiene el siguiente conjunto de problemas:

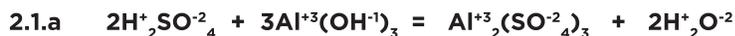
Actividad 1. De manera individual los alumnos comenzaron a identificar las moléculas, átomos e iones en una reacción química para tener el conocimiento de qué y cuáles son los números del coeficiente, subíndice y superíndice, encontrados en la reacción y que intervienen en el balanceo de la ecuación química.

También en esta actividad, el propósito fue identificar el nivel de comprensión de los conceptos básicos de química que están relacionados con el balanceo de reacciones, e identificar también su nivel de comprensión y manejo de los conceptos y métodos para resolver Sistemas de Ecuaciones Lineales (SEL). Por ejemplo:

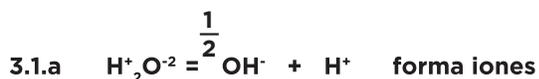


Actividad 2. El objetivo fue determinar el nivel de conocimientos de los estudiantes sobre la reacción química, utilizando conceptos de la actividad anterior. Aquí analizaron la reacción de las moléculas de los reactivos y la formación de moléculas, iones y/o átomos en los productos. Cuando reaccionan sustancias, es necesario contar y comparar el número de átomos de los reactivos y de los formados en los productos. Por ello, es necesario

verificar que se cumpla la Ley de la Conservación de la Materia, pues la cantidad de materia de los reactivos debe ser la misma que se forma en los productos. Por ejemplo:



Actividad 3. Su propósito fue determinar el nivel de conocimientos de los estudiantes sobre la composición definida de un compuesto. En esta actividad se describe la Ley de Composición Definida, y describe cuándo un compuesto contiene siempre los mismos elementos en la misma proporción de masas. Cuando dos elementos se combinan para generar un determinado compuesto, lo hacen siempre en la misma relación de masas. Se debe conocer las propiedades de la reacción, cuándo se formarán compuestos con moléculas diatómicas y cuándo con moléculas no biatómicas. Por ejemplo:



Actividad 4. La intención de esta actividad fue conocer la Ley de las Proporciones Múltiples, el nivel de conocimiento de los estudiantes sobre los conceptos de reacción de moléculas y la capacidad para identificar la reacción química de acuerdo con las propiedades particulares de cada expresión química. Por ejemplo:



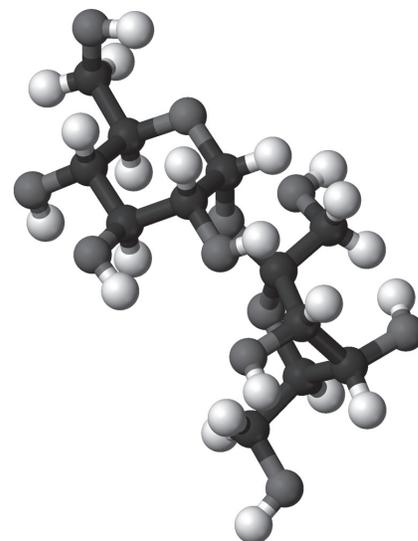
Actividad 5. El propósito de esta actividad fue la aplicación del nivel de conocimientos adquiridos por los estudiantes respecto a los conceptos anteriores y la capacidad para resolver cualquier expresión química propuesta. El conjunto de problemas que se presenta en esta actividad, les permite realizar la reacción química y el balanceo adecuado, usando el planteamiento de un sistema de ecuaciones lineales (SEL). Por ejemplo:



$$\frac{x + y}{a} = \frac{z + w}{b}$$

Resultados

Las actividades de instrucción se presentaron en cinco sesiones, involucrando varias preguntas sobre el tema del balanceo estequiométrico en las reacciones químicas y la utilización de los SEL para su solución. Con base en los datos generados en la metodología, presentamos los siguientes resultados:



En el ejercicio 1.1.a de la primera actividad, solamente tres alumnos de 20 (3/20) contestaron correctamente, e identificaron las moléculas presentes que se señalaron en esta sesión. Los 17 alumnos que tuvieron dificultades para ello, se debió a que confundieron los iones complejos con las moléculas.

Quienes identificaron las moléculas tenían bien cimentado el conocimiento de los conceptos, sabían que las cargas de cada elemento constitutivo de cada expresión debía estar cargado y que cada uno de los átomos se encontraba con cargas neutralizadas, para poder definirlo como molécula. En el caso 1.1.b y 1.1.c, 10 de 20 alumnos contestaron correctamente; aquí fue más fácil identificar las estructuras químicas, ya que en estos ejercicios las especies químicas fueron moléculas, y observaron que no existían cargas totales positivas o negativas como sucedió en el ejercicio 1.1.a.

Cuando se discutió la actividad 1, los 13 alumnos que contestaron incorrectamente se percataron que debían balancear las cargas de las especies señaladas en el inciso 1.1.m. Cuando intercambiaron opiniones, se dieron cuenta que los índices de cada especie son muy importantes para saber si se trataba de una molécula, un átomo o ion.

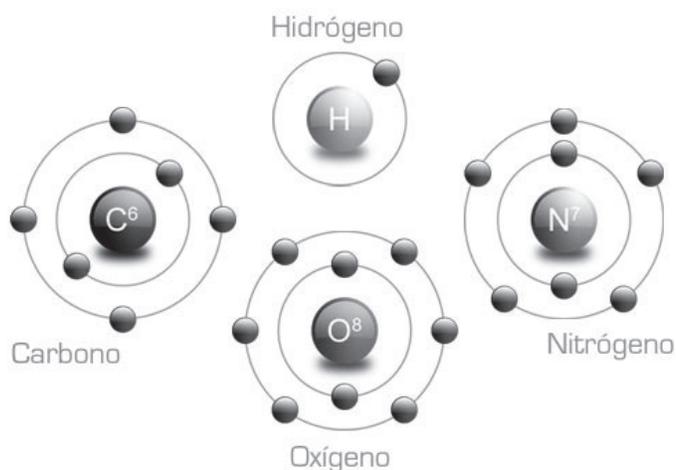
Conforme fueron realizando los ejercicios de la actividad 1, desarrollaron sus conocimientos y entendieron los conceptos básicos de la química, tales como: qué es un ion, un átomo y una molécula, guiándose con la tabla periódica.

En la actividad 2, para el inciso 2.1.a, nueve de 20 alumnos identificaron las expresiones propuestas; percibieron que existía un desequilibrio o no balanceo estequiométrico de los reactivos iniciales con respecto a los productos finales. Cuando percibieron dicho desequilibrio, procedieron al conteo de los átomos componentes de cada molécula existente, tanto en los reactivos como en los productos, y encontraron que no eran las mismas cantidades de átomos, debido a lo cual supusieron que ponderalmente no se cumplía con la Ley de la Conservación de la Materia. Entonces analizaron si las especies reaccionantes eran moléculas o iones.

Asimismo, nueve de 20 alumnos observaron que las expresiones presentaban superíndices y subíndices, comentando que éstos definían si las expresiones eran moléculas, iones o átomos, quedando más claros los conceptos de estas expresiones.

Para el inciso 2.1.e, 11 de 20 alumnos pudieron efectuar la reacción correspondiente, e inclusive verificaron la cantidad de moléculas existentes en los reactivos y los productos; también corroboraron la cantidad de átomos e iones presentes en la reacción química y lograron efectuar la reacción correspondiente con el respectivo balanceo de los componentes de los reactivos y de los productos; además, verificaron las cantidades de masa de cada componente de la reacción y con ello la comprobaron lo señalado por la Ley de la Conservación de las Masas.

En la actividad 3, respecto a los ejercicios del inciso 3.1.a, 12 de 20 alumnos contestaron correctamente, argumentando que algunas moléculas se pudieron ionizar, y que además de ello, algunas moléculas se pudieron disociar, como ocurrió con la formación

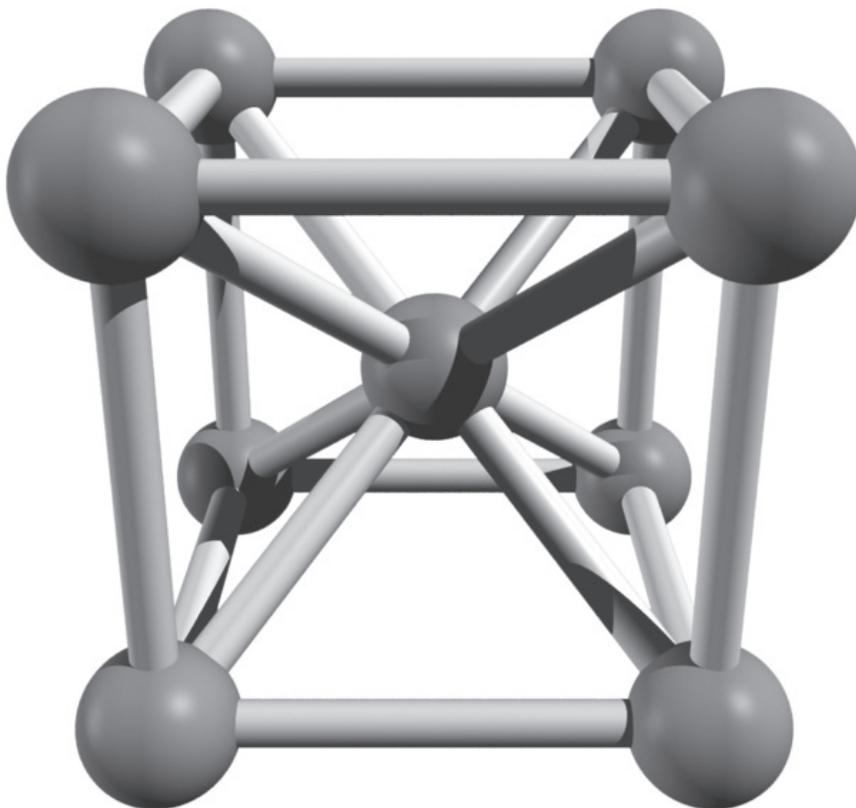


de moléculas diatómicas referida en el problema 1. A pesar de no ser una actividad difícil, igual número de alumnos no tenía claro que las moléculas pueden formar productos ionizables o productos disociables.

Con la actividad 4, en el inciso 4.1.a, 13 de 20 alumnos verificaron la Ley de las Proporciones Múltiples, al actuar los reactivos y obtener productos, confirmando la presencia de compuestos químicos en el reactivo y su reacción para formar los productos correspondientes.

Para los problemas del inciso 4.1.e, ocho de 20 alumnos contestaron correctamente, aunque el grado de complejidad fue mayor; para la mayoría de los alumnos fue complicado, en razón de que debían conocer el tipo de especies químicas que se combinan y que pudieran formar. Para resolver el balanceo de las reacciones químicas, efectuaron un SEL y obtuvieron los valores de las variables mediante los siguientes métodos: eliminación, sustitución, e igualación, apoyándose con el programa Excel, y también aplicaron el método de matrices de Gauss Jordán. (Ver anexo Gauss Jordán).

Para la actividad 5, en los problemas se utilizaron dos o más reactivos para formar productos más complejos, lo cual requirió poseer los conocimientos conceptuales y la comprensión de las cuatro sesiones anteriores. Para balancear una reacción química, primero requirieron utilizar un SEL y, posteriormente, un segundo SEL les ayudó a conocer las cantidades de sustancias que pueden mezclarse. En el inciso 5.1.a, 13 de 20 los alumnos pudieron resolver esa actividad, y para siete de 20 fue difícil el razonamiento realizado. Aquí primeramente balancearon la reacción química de manera correcta y obtuvieron los valores A, B, C, D, E, utilizando varios métodos que implicaron los SEL, y observaron que era un sistema 6x6. También, se diseñó un segundo SEL que implicó el análisis estequiométrico de la reacción química, en el cual propusieron que $(x + y) = a$, y que $(z + w) = b$. Con este criterio, establecieron un sistema de ecuaciones lineales y fundamentaron que tenía muchas soluciones, donde las variables x, y, z, w, son las masas que pudieran ser mezclables estequiométricamente para mantener su equilibrio químico.



Conclusiones

En general, la mitad del grupo de Química Analítica (10/20) pudo experimentar resultados satisfactorios con las actividades de la Secuencia Didáctica. Se observó que los alumnos retomaron los conceptos químicos y matemáticos, y cuando ya tenían todo el conocimiento, se dieron cuenta que lo podían aplicar a diferentes situaciones, por lo que comenzaron a experimentar con otros problemas hasta obtener la solución a la que se pretendía llegar, como los balanceos de reacciones químicas y las mezclas de compuestos químicos.

Se observó que progresivamente fueron adquiriendo conocimientos a partir de cada actividad desarrollada, mejorando su aprendizaje. En esta última actividad, fue posible comprobar que los alumnos primeramente observaron, analizaron, razonaron, preguntaron, debatieron y entendieron, para finalmente llegar a una conclusión, luego de discutir sus resultados.

Bibliografía

A. Garritz, J.A. Chamizo. (1994). *Química*. Addison-Wesley Iberoamericana E.U.A p. 770.

Brown, T.L.; Lemay, H.E.; Bursten, B.E.; Burdge, J.R. (2004). *Química, la Ciencia Central*. 9ª Ed., Pearson, México.

Gómez, Pedro (2002). "Análisis didáctico y diseño curricular en matemáticas". *Revista EMA*, 7(3), pp. 251-292.

Lesh, R. & Doerr, H. M. (2003). *Beyond constructivism. Models and modeling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Lesh, R. Yoon, C. (2004). "Evolving Communities of Mind -In Which Development Involves Several Interacting and Simultaneously Developing Strands". *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 205-226.

Simon, M. A. (2004) "Explicating the Role of Mathematical Tasks in Conceptual Learning: An Elaboration of the Hypothetical Learning Trajectory". *Mathematical Thinking and Learning*, 6(2), 91-104.

