

UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA/ APRENDIZAJE PARA LOS CONCEPTOS DE SUSTANCIA Y REACCIÓN QUÍMICA CON BASE EN LA NATURALEZA DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Andoni Garritz, Plinio Sosa, Gisela Hernández-Millán, Norma Mónica López-Villa, Elizabeth Nieto-Calleja
Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México; Ciudad Universitaria, Avenida Universidad 3000, Delegación Coyoacán; 04510 México, Distrito Federal, México

Flor de María Reyes-Cárdenas
Departamento de Educación en Ciencias, Universidad Pedagógica Nacional, Plantel Ajusco México, D:F: Carretera al Ajusco No. 24. Colonia Héroes de Padierna, Delegación Tlalpan; 14200, México, Distrito Federal, México.

César Robles-Haro
Departamento de Ciencias Experimentales, Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Azcapotzalco. Avenida Aquiles Serdán No. 2060. Colonia Ex -Hacienda El Rosario, Delegación Azcapotzalco; 02020, México, Distrito Federal, México.

RESUMEN: Dentro del proyecto “*Enseñanza y Aprendizaje sobre la Naturaleza de la Ciencia y Tecnología*” (NdCyT) se describe una secuencia de enseñanza/aprendizaje (SEA) para el primer curso de Química Universitaria, en torno a las competencias científicas «definir» y «modelar». La secuencia involucra a los estudiantes en la historia y las definiciones de los conceptos «sustancia» y «reacción química» que son los más importantes en los cursos de química. Durante la secuencia los estudiantes tienen que formular definiciones cada vez mejores de estos conceptos en los niveles macroscópico y nanoscópico, para que construyan la idea que “definir es modelar”. Se enfrentan a lecturas acerca de los aspectos históricos y experimentales de ambos conceptos. Adicionalmente, se analiza su puesta en práctica el primer semestre del año 2012 y los cambios que surgieron de esa primera evaluación.

PALABRAS CLAVE: Naturaleza de la Ciencia, secuencia didáctica, sustancia, reacción química, definir, modelar

OBJETIVOS

Este estudio forma parte del proyecto internacional de investigación *Enseñanza y Aprendizaje sobre La Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología* (EANCYT): *Una Investigación Experimental y Longitudinal*.

EANCYT se planteó en el inicio de 2011 los siguientes objetivos:

- El desarrollo didáctico de algunas cuestiones del Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS, Manassero & Vázquez, 1998) en forma de aplicaciones para la enseñanza/aprendizaje de la NdCyT.

-
- Elaboración, desarrollo y aplicación de unidades didácticas novedosas para la enseñanza/ aprendizaje de NdCyT.
 - Evaluación de la eficacia para el aprendizaje de NdCyT de las unidades elaboradas mediante un diseño de investigación pre-post con el COCTS como instrumento de evaluación.

Se trata de un proyecto con participantes de siete países: Argentina, Brasil, Colombia, España, México, Panamá y Portugal. Durante el año 2011 se diseñó un conjunto de secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA) que se han probado durante 2012, una de las cuales es motivo de este trabajo.

Esta secuencia contribuyó a los objetivos señalados al demostrar las mejoras de las concepciones estudiantiles en torno a los dos conceptos «sustancia» y «reacción química» por medio del cuestionario de opiniones de ciencia y tecnología.

MARCO TEÓRICO

La Naturaleza de la Ciencia (NdC) incluye a la filosofía, sociología, psicología, historia y epistemología de la ciencia (McComas, 2002). Lederman (1992) definió la NdC como los valores y las suposiciones inherentes al desarrollo de la ciencia y el conocimiento científico.

Es Acevedo (2008) quien nos plantea la dificultad existente para trabajar con una definición sobre NdC, resume las investigaciones realizadas sobre el concepto, describe a continuación la situación actual de las principales líneas de la investigación educativa sobre la NdC y sugiere sus perspectivas para el futuro.

Ziman (1978) dijo que “el problema de la enseñanza tradicional de las ciencias no es lo que enseña sobre la ciencia, sino lo que no enseña”. Debido a lo que se le escapa a la enseñanza tradicional, lo que se enseña es una ciencia del pasado y los profesores se convierten en maestros de historia, en lugar de maestros de ciencia. Y no se enseña la tecno-ciencia contemporánea, la que se hace hoy en día en los laboratorios de diversas instituciones (universidades, hospitales, fundaciones, ejército, etc.) y en las empresas privadas (industrias, corporaciones farmacéuticas, etc.) (Vázquez, Acevedo y Manassero, 2004).

Por eso vamos a referirnos en este escrito a la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología (NdCyT), como citan Vázquez-Alonso y Manassero-Mas (2012, parte 1, pp. 3-4), en un enfoque integrador de ambos conceptos, que serían los conocimientos “sobre” la ciencia y la tecnología, que permiten comprender cómo funcionan ambas; “qué es CyT, su funcionamiento interno y externo, los métodos que emplean para construir, desarrollar, validar y difundir el conocimiento que producen, los valores implicados en las actividades científicas y tecnológicas, las características de la comunidad científica e ingenieril, los vínculos entre ciencia y tecnología, las relaciones de la sociedad con el sistema tecno-científico y, viceversa, las aportaciones de éste a la cultura y el progreso de la sociedad”.

METODOLOGÍA

Se elaboró en 2011 una secuencia con el nombre “Definir es modelar”. En esta secuencia se pretende acercar a los estudiantes de la Química General Universitaria a dos conceptos fundamentales de la química: «sustancia» y «reacción química». Con ello se busca que se conduzcan hacia lo que significa «definir» y, con ello, «modelar» el concepto. A lo largo de la secuencia se buscan diversas definiciones de química hasta llegar a la conclusión que la que maneje ambos conceptos es una definición mejor. Se pone énfasis en la narrativa histórica y experimental para que los estudiantes capten la naturaleza de la ciencia, es decir, cómo es que fueron construidos estos conceptos a lo largo del tiempo y cómo es factible hacerlo hoy, a través de la experimentación.

Se parte de la hipótesis de que la actividad de definir «química», «sustancia» y «reacción química» puede ser motivadora para estudiantes que cursan a nivel universitario la asignatura de química general.

La razón de tomar estos conceptos se basa en las múltiples concepciones alternativas que nuestros estudiantes traen al curso sobre ellos (Andersson, 1990; Johnson, 1996; 2000), así como la problemática de su aprendizaje (Azcona, Furió Intxausti y Álvarez 2004; Furió-Mas y Domínguez-Sales, 2007), cuestiones que han sido consideradas para el diseño. Desde el punto de vista filosófico también se da la discusión sobre cuál de estos conceptos debe introducirse primero en la epistemología de la química (Schummer, 2004).

Las siguientes dos actividades son de lectura y discusión de la historia de ambos conceptos.

A continuación se analiza y discute la definición de «reacción química» tanto desde el nivel macroscópico como el nanoscópico y se presentan varios experimentos sobre este tema, con el nombre “El Corazón de la Química: Estudio de las Reacciones Químicas”.

Esta parte de la secuencia tiene como propósito brindar al profesor información y sugerencias de actividades secuenciadas que faciliten conducir a sus alumnos a la elaboración de sus propios modelos de reacción química, así como acercarlos a la concepción científica del concepto.

Con ello se pretende:

- Que los alumnos reconozcan que al ocurrir una reacción se forman sustancias (productos) que tienen propiedades diferentes a las de las iniciales (reactivos).
- Que comprendan que la formación de nuevas sustancias implica una reestructuración entre las partículas que conforman las originales y
- Que conozcan y diferencien los tres niveles de representación que se utilizan cuando se explican las reacciones químicas: macroscópico, nanoscópico y simbólico, (Johnstone 1993).

Entre febrero y marzo de 2012 se aplicó esta secuencia a un grupo con 18 estudiantes. Dicha evaluación se ha realizado con algunas de las preguntas del Cuestionario COCTS (Manassero y Vázquez, 1998), lo que se describe en la siguiente sección.

La parte experimental de «reacción química» se aplicó con cuestionarios, actividades experimentales y problemas que se resolvieron individualmente o por equipos, propiciando la reflexión y contrastación de ideas en torno al tema. Se solicitó a los alumnos que reunieran todos sus documentos en un portafolios que posteriormente entregaron al profesor. También se aplicó una evaluación diagnóstica. Además, se contó con un observador de las sesiones que tomó nota de lo que ocurrió en cada clase.

RESULTADOS

Se hicieron tres preguntas sobre el contenido histórico del concepto de sustancia después de aplicada la secuencia. Los resultados de los 18 estudiantes fueron bastante descorazonadores: 1 no respondió; 4 con cero aciertos; 9 con un acierto y 4 con dos aciertos.

Se evaluó la parte experimental de «reacción química» respecto al logro de los objetivos de aprendizaje y a su aplicación misma. Para ello se revisaron los diarios de clase y los portafolios de los estudiantes.

Se tomaron las tres preguntas del cuestionario informadas en la Tabla 1, tanto antes de impartir la secuencia, como después de hacerlo. Las primeras dos tienen mucho que ver con el contenido de la secuencia y la tercera es uno de los campos en los que existe consenso para introducirlo en la enseñanza de la NdC.

Tabla 1.
Preguntas del cuestionario COCTS incluidas en la evaluación de la secuencia

| Número | Tema | Índice pre-test | Índice post-test |
|--------|---|-----------------|------------------|
| 10111 | Definición de ciencia | 0.152 | 0.252 |
| 90211 | Modelación en ciencia | 0.044 | -0.086 |
| 90411 | Naturaleza tentativa de teorías científicas | 0.016 | 0.113 |

La persona encuestada responde al problema planteado en cada cuestión según un modelo de respuesta múltiple: valora sobre una escala de nueve puntos su grado de acuerdo (9) o desacuerdo (0 con cada una de las frases que contiene la cuestión (Vázquez y Manassero, 1999).

Estas valoraciones directas se transforman después en un índice actitudinal, normalizado en el intervalo $[-1, +1]$, mediante la métrica, que opera teniendo en cuenta la categoría de cada frase (Adecuada, Plausible e Ingenua), asignada previamente por un panel de jueces expertos. Estos índices son los indicadores cuantitativos de las creencias y actitudes de los encuestados, con el patrón categorial asignado por los jueces a las frases del COCTS. Cuanto más positivo y cercano al valor máximo (+1) es un índice, la actitud se considera más adecuada e informada, y cuanto más negativo y cercano a la unidad negativa (-1) es el índice, representa una actitud más ingenua o desinformada.

Ponemos en la Tabla 2 la evaluación de algunos de los incisos de cada pregunta, donde los índices se vuelven más representativos del avance (en las preguntas 10111 y 90411) o el retroceso (pregunta 90221 inciso f) de los estudiantes:

Tabla 2.
Índices pre y post-test de dos incisos de cada una de las tres preguntas, donde se observan resultados contrastantes.

| Número | Inciso | Pre-test | Post-test |
|--------|---|----------|-----------|
| 10111 | b) La ciencia PRINCIPALMENTE es: un cuerpo de conocimientos, tales como principios, leyes y teorías que explican el mundo que nos rodea (materia, energía y vida) | 0.542 | 0.722 |
| 10111 | h) un proceso investigador sistemático y el conocimiento resultante | 0.069 | 0.389 |
| 90211 | f) Los modelos científicos: SON copias de la realidad porque cambian con el tiempo y con el estado del conocimiento, como lo hacen las teorías | 0.500 | 0.167 |
| 90211 | g) NO SON copias de la realidad porque estos modelos deben ser ideas o conjeturas bien informadas, ya que el objeto real no se puede ver | 0.028 | 0.111 |
| 90411 | El conocimiento científico cambia: porque los científicos más jóvenes desaprueban las teorías o descubrimientos de los científicos anteriores. Hacen esto usando nuevas técnicas o instrumentos mejorados para encontrar factores nuevos pasados por alto antes, o para detectar errores en la investigación original "correcta". | -0.194 | 0.028 |
| 90411 | b) porque el conocimiento viejo antiguo es reinterpretado a la luz de los nuevos descubrimientos; por tanto, los hechos científicos pueden cambiar | 0.361 | 0.541 |

MODIFICACIONES REALIZADAS

Los resultados de la evaluación de la secuencia nos han conducido a transformarla, sobre todo en el aspecto de modelización y en hacer énfasis en el carácter tentativo del conocimiento científico, que son

los puntos más débiles en la propuesta original, de acuerdo con los índices actitudinales. Igualmente, en los aspectos históricos de la secuencia en lo que se refiere a «reacción química» se colocaron aspectos de la teoría del flogisto, con Stahl y su maestro, Beccher, como contraste con la teoría de Lavoisier que la desplazó. Se incluyó también el hecho de que tres grandes químicos del siglo XVIII, como Scheele (1742-1786), Priestley (1733-1804) y Cavendish (1731-1810) defendieron la teoría del flogisto. Adicionalmente, para que los alumnos no pensarán que la química se detuvo con Lavoisier, se incluyeron los aportes del francés Thenard y los alemanes von Liebig y Stoeckhardt.

Después de un primer análisis se acordó hacer algunos cambios a la parte experimental de «reacción química», como por ejemplo modificar algunos de los cuestionarios para mejorar las instrucciones y eliminar los reactivos no esenciales. Igualmente, se modificaron los tiempos empleados en ciertas actividades, se cambió el orden de algunas para fomentar la explicitación de ideas previas, la construcción de un concepto importante o que los alumnos llegaran a respuestas debidamente argumentadas.

Con relación al concepto de «sustancia» y su ensayo histórico, se empieza finalmente con la discusión de los constituyentes básicos de la materia según los griegos -los cuatro elementos de Empédocles: tierra, agua, aire y fuego. Se pasa a la concepción de elemento de Boyle. Luego se menciona la tabla de afinidades de Geoffroy, que fue la primera ocasión en que se empleó el término “sustancia”. Todo ello para hablar finalmente de los antecedentes de las teorías de la estructura de las sustancias, de Kekulé y Couper en 1858.

CONCLUSIONES

Como conclusión final, podemos decir que esta secuencia contribuyó a los objetivos señalados para el proyecto EANCyT, al demostrarse las mejoras de las concepciones estudiantiles en torno a los dos conceptos «sustancia» y «reacción química» por medio del cuestionario de opiniones de ciencia y tecnología. Sin duda las competencias científicas «definir» y «modelar» se han podido realzar mediante la aplicación de la SEA. No obstante, habrá que estudiar la forma de mejorar los limitados resultados negativos del mismo cuestionario.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, J. A. (2008). El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(2), 134-169.
- Andersson, B. (1990). Pupils' conceptions of matter and its transformation, *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S. y Álvarez, A. (2004). ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, No. 40, 7-17.
- Furió-Mas, C. y Domínguez-Sales, M. C. (2007). Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico, *Enseñanza de las Ciencias*, 25(2), 241-258.
- Johnson, P. (1996). What is a substance? *Education in Chemistry*, 33(2), 41-42 and 45.
- Johnson, P. (2000). Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change. *International Journal of Science Education*, 22(7), 719- 737.
- Johnstone, A. J. (1993). The Development of Chemistry Teaching. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-706.

-
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the science: a review of the research, *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Manassero, M. A. y Vázquez, Á. (1998). *Opinions sobre ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació, Cultura i Esports.
- McComas, W. F. (2002). *The nature of science in science education rationales and strategies*. London: Kluwer Academic Publishers.
- Schummer, J. (2004). Editorial: substances versus reactions, *HYLE International Journal for Philosophy of Chemistry*, 10(1), 3-4.
- Vázquez, A. y Manassero, M.A. (1999): Response and scoring models for the 'Views on Science-Technology-Society' instrument. *International Journal of Science Education*, 21(3), pp. 231-247.
- Vázquez-Alonso, A.; Acevedo-Díaz, J. A., y Manassero-Mas, M. A. (2004): Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza, *Revista Iberoamericana de Educación*, en <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF> [última consulta: dic. 2012].
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2012). La selección de contenidos para enseñar naturaleza de la ciencia y tecnología. Parte 1: Una revisión de las aportaciones de la investigación didáctica, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 2-31. Parte 2: Una revisión de los currículos de ciencia y la competencia PISA. 9(1), 32-53.
- Ziman, J. (1978). *Reliable knowledge. An exploration of the grounds for belief in science*. Cambridge: Cambridge University Press. Traducción de E. Pérez Sedeño (1981): *La credibilidad de la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.