

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,* Flor de María Reyes-Cárdenas** y César Robles Haro***

ABSTRACT (A Teaching/Learning Sequence on Substance and Chemical Reaction Concepts, Based on Nature of Science and Technology)

Inside the international research project *Teaching and Learning about Nature of Science and Technology: An experimental and longitudinal research* (EANCyT, acronym in Spanish), a teaching/learning sequence is described, which has been designed to improve the comprehension of the Nature Of Science (NOS) and Technology, trying to help students of the General Chemistry course in Undergraduate Education to learn adequate ideas around the scientific competences of «defining» and «modeling». This sequence involves students in an inquiry process related with the history and the definitions of the concepts «substance» and «chemical reaction», two of greatest importance in any chemistry course. Throughout the sequence, students will gradually improve the definitions of these two concepts from the macroscopic level to the nanoscopic one, trying them to be convinced that “defining is modeling”. The students will face the reading of essays on historical and experimental facets of both concepts. Additionally, it is analyzed here the carrying out of the sequence with a group of students on the first semester of 2012, and the changes that were done after this evaluation.

KEYWORDS Nature Of Science (NOS), teaching/learning sequence, substance, chemical reaction, defining, modeling

INTRODUCCIÓN

Sobre la «Naturaleza de la Ciencia»

El proyecto internacional de investigación *Enseñanza y Aprendizaje sobre la Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología* (EANCyT): *Una Investigación Experimental y Longitudinal* tiene su antecedente en el *Proyecto Iberoamericano de Evaluación de Actitudes Relacionadas con la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad* (PIEARCTS) (Bennàssar Roig *et al.*, 2011), en el que dos de los autores (Garritz y Robles) de este trabajo también participaron (Garritz *et al.*, 2011).

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

- El desarrollo didáctico de algunas preguntas del Cuestio-

nario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS, Manassero y Vázquez, 1998; 2001) en forma de aplicaciones para la enseñanza/aprendizaje de la NdCyT en español (o NoS&T en inglés).

- 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 (evaluación antes y después de su aplicación en un aula) usando el COCTS como instrumento.
- Desarrollo de una aplicación informática para la diseminación de los instrumentos y aplicaciones del proyecto PIEARCTS anterior y profundización de una evaluación continuada de estas cuestiones.

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.

La siguiente definición de la «Naturaleza de la Ciencia» (NdC en adelante, en español, y NoS en inglés) la tomamos de un conjunto de acetatos que utilizó Ángel Vázquez-Alonso en un curso sobre el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad que nos dio en México en el año 2005:

* Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ciudad Universitaria, Av. Universidad 3000, 04510 México, DF. México.

** Universidad Pedagógica Nacional, Plantel Ajusco México, DF. Carretera al Ajusco 24, Col. Héroes de Padierna, Del. Tlalpan, México, DF. México.

*** Colegio de Ciencias y Humanidades, Universidad Nacional Autónoma de México, plantel Azcapotzalco, México, DF. Av. Aquiles Serdán 2060. Col. Ex-Hacienda El Rosario. Del. Azcapotzalco, México, DF.

Fecha de recepción: 26 de octubre de 2012.

Fecha de aceptación: 12 de febrero de 2013.

La NdC es un metaconocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la historia, la filosofía y la sociología por especialistas de estas disciplinas, pero también por algunos científicos insignes.

Ángel Vázquez-Alonso

Sabemos hoy que la alfabetización científica de la población requiere de tres ingredientes principales: aprendizaje de la ciencia (contenidos de conocimientos y procesos), aprendizaje acerca de la ciencia (contenidos sobre qué es la ciencia, Hodson, 2008) y hacer ciencia (con indagación y resolución de problemas como armas principales).¹

Aunque el debate sobre enseñanza de las ciencias y enseñanza acerca de la ciencia no es muy nuevo (Alters, 1997 discute lo difícil que es llegar a consensos en este tema), José Antonio Acevedo (2008) es quien nos plantea la dificultad existente para una definición sobre NdC, resume después 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. Al año siguiente, nos plantea de forma magistral las componentes más importantes a seguir en la enseñanza de la NdC (Acevedo 2009, a, b y c).

Los libros de texto tradicionales solo desarrollan conocimientos científicos y se rigen por la lógica interna de la ciencia, sin preguntarse acerca de qué es esa ciencia, cómo se desarrolla, cómo se obtienen los conocimientos, por qué el juicio de los pares es una buena medida para otorgarles fiabilidad, qué beneficios aportan dichos conocimientos a la sociedad, qué vínculos tiene con la tecnología, la sociedad y la cultura, y otras cuestiones relacionadas con la NdC (Garritz y Talanquer, 2012). Ziman (1978) escribió 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 tanto se enseñan contenidos disciplinares sólidos e históricamente importantes para la disciplina— en lugar de maestros de ciencia (Chami-

zo y Garritz, en prensa).² 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-Alonso, Acevedo-Díaz y Manassero-Mas, 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), en un enfoque integrador de ambos conceptos, hacia la tecno-ciencia, que serían los conocimientos “sobre” la ciencia y la tecnología, que permiten comprender cómo funcionan ambas. Sus contenidos son complejos, por múltiples y polifacéticos, además de ser evolutivos y cambiantes, y consisten entre otros de “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 progreso de la sociedad” (pp. 3-4).

El entendimiento público de la naturaleza de la ciencia ha sido señalado indirectamente como una componente crítica de la democracia, en la cual las personas deben tomar sus propias decisiones sobre aspectos basados en ciencia y tecnología (Bell & Lederman, 2003; Acevedo *et al.*, 2005). Es conveniente recordar también el trabajo de Osborne *et al.* (2003), quienes hicieron un estudio con las opiniones de expertos sobre las ideas acerca de la ciencia que deben incorporarse en la educación. En el segundo artículo de la serie, Bartholomew, Osborne y Ratcliffe (2004) nos indican que la enseñanza sobre la ciencia debe ser hecha explícitamente y especifican los extremos entre los que se mueven los profesores alrededor de esta enseñanza (Garritz, 2005).

Uno de los trabajos más representativos, que aborda los trabajos que se realizaron en un periodo de treinta años acerca de las concepciones de la ciencia es el de Lederman (1992). Este autor concluye que el conocimiento que tienen los profesores y los alumnos sobre la NdC es tan tentativo, o más, que el conocimiento científico mismo. Además, encuentra diferencias fundamentales en las concepciones para los representantes de cada disciplina científica.

Otro trabajo importante sobre la NdC y la imagen que sobre la ciencia tienen los jóvenes es el de Driver *et al.* (1996). En él nos hablan de los diversos argumentos para promover el entendimiento público de la ciencia: económico, utilitario, democrático, cultural, axiológico y moral.

¹ Nos da Hodson (2008, p. 22) las siguientes definiciones sobre estos tres aprendizajes “Aprender ciencia”, “Aprender acerca de la ciencia” y “Hacer ciencia”:

- Learning Science* – acquiring and developing conceptual and theoretical knowledge.
- Learning about science* – developing an understanding of the nature and methods of science; appreciation of its history and development; awareness of the complex interactions among science, technology, society and environment; and sensitivity to the personal, social and ethical implications of particular technologies.
- Doing science* – engaging in and developing expertise in scientific inquiry and problem solving; developing confidence in tackling a wide range of “real world” tasks and problems.

² Nos dicen Chamizo y Garritz: “The majority of science teachers all over the world use textbooks as the main (sometimes the only) source of information—and the contents of the books have to expand in an idealized attempt to cope with the increase in information, with direct references to the history of sciences disappearing—they become, paradoxically and without wanting to... history teachers!”.

Consensos sobre la enseñanza de la «Naturaleza de la Ciencia»

El problema actual de la enseñanza de la NdCyT es la declaración de consensos sobre lo que debe impartirse en los diferentes niveles educativos acerca de este constructo (Irzik y Nola, 2011, quienes critican la búsqueda de consensos; Acevedo *et al.*, 2005; 2007). Empezando por el trabajo del grupo de Abd-El-Khalick y Lederman (Abd-El-Khalick, 1998, 2005; Abd-El-Khalick, Bell y Lederman, 1998; Lederman, 1992; Lederman *et al.* 2002), quienes consideran que los rasgos básicos consensuados para el conocimiento científico son que éste es (o está):

1. provisional (sujeto a cambios);
2. fundamentado empíricamente (basado en y/o derivado de las observaciones del mundo natural);
3. parcialmente subjetivo (cargado de teoría);
4. en parte, producto de la inferencia humana (razonamientos), donde es importante la distinción entre las observaciones e inferencias;
5. en parte también producto de la imaginación y la creatividad (involucra la invención de hipótesis y explicaciones);
6. un conjunto de teorías científicas y leyes, que son entes relacionados y con diferentes funciones, y
7. empapado social y culturalmente.

McComas, Clough y Almazroa (1998) identifican 16 ideas consensuadas sobre NdCyT, que resulta un poco más larga que la anterior, pero con muchos puntos de consenso. La lista ha ido evolucionando hasta la configuración de un conjunto de concepciones sobre la NdC más compacto, sistemático y comprensible (McComas, 2005).

Niaz (2001; 2005; 2009) incorpora otros consensos hasta alcanzar una lista de entre nueve y once de ellos, como los siguientes:

1. El conocimiento científico recae sobre todo, aunque no íntegramente, en observación, pruebas experimentales, argumentos racionales y escepticismo.
2. Las observaciones están “cargadas” de teoría.
3. La ciencia es tentativa y falible.
4. No existe una única manera de hacer ciencia, por lo que no puede seguirse un método científico universal paso a paso.
5. Leyes y teoría toman diferentes papeles en ciencia, por lo cual las teorías no se convierten en leyes, inclusive con pruebas adicionales.
6. El progreso científico está caracterizado por la competencia entre teorías rivales.
7. Diferentes científicos pueden interpretar los mismos datos experimentales en más de una forma.
8. En ocasiones, el desarrollo de teorías científicas está basada en fundamentos inconsistentes.
9. Los científicos requieren hacer registros precisos. La revisión de los pares resulta ser fundamental. Es especialmente importante no aventurarse a emitir juicios de

manera precipitada, por lo que es necesario hacer la revisión de una prueba (replicabilidad).

10. Los científicos son creativos y a menudo interpretan sus resultados usando la imaginación y la especulación.
11. Las ideas de los científicos se ven afectadas por su entorno social e histórico.

Niaz y Maza (2011) acaban de publicar un libro breve donde revisan el tema de la NdC en 75 libros de texto de Química General, tomando en consideración los nueve criterios siguientes que consideran son de consenso, según ellos, entre los investigadores de la educación científica:

1. La naturaleza tentativa de las teorías científicas;
2. Leyes y teorías sirven para diferentes propósitos en ciencia;
3. No existe un método científico universal, paso a paso;
4. Las observaciones están cargadas de teoría;
5. El conocimiento científico descansa sobre todo, aunque no enteramente, en Observación, Experimentación, Argumentos racionales, Creatividad y Escepticismo;
6. El progreso científico se caracteriza por la competencia entre teorías rivales;
7. Los científicos pueden interpretar de maneras diferentes los mismos datos experimentales;
8. El desarrollo de teorías científicas, en ocasiones, está basado en fundamentos inconsistentes;
9. Las ideas científicas se ven afectadas por su entorno social e histórico.

Los autores concluyen de su análisis que “la mayoría de los textos en este estudio ofrecen poca comprensión de estos nueve criterios usados para evaluar la presentación de la NdC” (p. 26). Nos indican, por ejemplo, que sobre el primer criterio no mencionan nada 44% de los textos y sobre el octavo no lo toca un 95%.

Con relación a la enseñanza del tema, Lederman y Lederman (2012) nos recuerdan toda una serie de propósitos para que los profesores enseñen sobre la NdC en sus clases y apoyan la formación de profesores basada en la NdCyT. Indican que desde 1993, en los Estados Unidos se publicaron primero los *Benchmark for Science Literacy* (AAAS, 1993), y tres años después los *National Science Education Standards* (NRC, 1996), en donde hay una base de desarrollo profesional en la NdC y la Indagación Científica (IC, en español, o SI, Science Inquiry, en inglés). Nos dicen (p. 340) “Unfortunately, developing teachers’ understandings of NOS and SI is no easy task”.

Abd-El-Khalick (2012) resume que alrededor del globo, los estudiantes y los profesores de la enseñanza elemental (Khishfe y Abd-El-Khalick 2002), media (Kang, Scharmann y Noh, 2005), de bachillerato (Dogan y Abd-El-Khalick 2008) y universitaria (Ibrahim *et al.*, 2009), tienen en general una visión ingenua sobre la NdC.

Los autores de este trabajo creemos que tiene más influencia en los estudiantes la enseñanza integrada de la

NdCyT (Khishfe y Lederman, 2006). Como tal entendemos el proporcionar al grupo los elementos del conocimiento sobre la ciencia integrados con algún tema científico, como en este caso los conceptos de sustancia y reacción química.

Lederman, Wade y Bell (1998) analizan los instrumentos que se han usado en cuatro décadas para evaluar las concepciones de los estudiantes y de los maestros. Llegan a la conclusión de que los esfuerzos por mejorar las concepciones de los maestros sobre la naturaleza de la ciencia han alcanzado algún éxito cuando se han incluido aspectos históricos del conocimiento científico o atención directa a la NdC. A la misma conclusión llegan Abd-El-Khalick y Lederman (2000) cuando someten a los estudiantes a un curso de historia de la ciencia previamente a la evaluación de la NdC.

Finalmente, García-Carmona, Vázquez-Alonso y Manassero-Mas (2011; 2012) han escrito un par de artículos sobre aspectos de la enseñanza (el primero) y del aprendizaje (el segundo) de la NdCyT.

Consensos sobre la evaluación de la «Naturaleza de la Ciencia»

En la evaluación de la naturaleza de la ciencia, también ha habido una serie de propuestas en el entendido que una sociedad conocedora sobre la ciencia y no solo de sus productos, puede tomar decisiones informadas sobre temas científicos. Hay una gran variedad de instrumentos, por ejemplo los que combinan la respuesta abiertas con entrevistas como el VNOS (Lederman *et al.*, 2002), otros usan el formato de respuesta tipo Likert combinados con respuestas abiertas: SUSSI (Liang *et al.*, 2006), y para el caso de lengua española, se ha desarrollado específicamente el instrumento COCTS, con un formato de respuesta múltiple y preguntas validadas por jueces (Manassero y Vázquez, 1998; 2001). Este instrumento tiene la virtud de que no se “queda” sólo en los aspectos consensados de la ciencia, más bien considera que la actividad científica también es tecnológica de manera que es posible hablar de tecno-ciencias, pues la interacción entre ambas modifica de manera continua los productos de ambas, y por otra parte también contempla las interacciones de las tecno-ciencias con la sociedad, lo que permite tener una mejor comprensión del nivel de información de aquellos que son evaluados. Éste es el instrumento que utilizamos para evaluar la secuencia de la que trata este trabajo.

El contenido integrado: «sustancia» y «reacción química»

En esta secuencia se pretende acercar a los estudiantes a dos conceptos fundamentales de la química: «sustancia» y «reacción química». Con ello se buscará que se propongan definir estos conceptos y que se conduzcan hacia lo que significa hacer una definición y, con ello, modelar el concepto. 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 para que los estudian-

tes capten la naturaleza de la ciencia, es decir, cómo es que fueron construidos estos conceptos a lo largo del tiempo.

Generalidades

Para el desarrollo de la SEA hemos seleccionado los dos más importantes conceptos del curso de Química General Universitaria: «sustancia» y «reacción química». La razón se basa en las múltiples concepciones alternativas que nuestros estudiantes traen al curso sobre este par de conceptos clave para la enseñanza de la química (Andersson, 1990; Johnson, 1996; 2000), así como la problemática de su aprendizaje (Azcona *et al.*, 2004; Furió-Mas y Domínguez-Sales, 2007), cuestiones que han sido consideradas para el diseño. Un trabajo sobre una secuencia del concepto de sustancia acaba de aparecer en la literatura (Furió-Mas, Domínguez-Sales y Guisasaola, 2012). Desde el punto de vista filosófico también se da la discusión sobre cuál de estos dos conceptos debe introducirse primero en la epistemología de la química (Schummer, 2004).

Definir es modelar

Éste es el nombre de la secuencia. Se parte de la hipótesis de que la actividad de definir «química» puede ser motivadora para estudiantes que cursan a nivel universitario la asignatura de química general. Las actividades que se proponen en la secuencia pretenden develar las concepciones que los estudiantes tienen sobre química y sobre los conceptos de sustancia y reacción química.

Se parte de las siguientes definiciones de ambas competencias científicas:

«Modelar»: “Es una representación de una idea, objeto, acontecimiento, proceso o sistema, creado con un objetivo específico (Gilbert, Boulter y Elmer, 2000).

«Modelos»: “**m**, son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (**M**) con un objetivo específico” (Chamizo, 2009; 2010; 2013; Chamizo y García Franco, 2010).

«Definir»: “Fijar con claridad y exactitud la significación de una palabra, enunciando las propiedades que designan unívocamente un objeto, individuo, grupo o idea” (*Diccionario de la Lengua Española*).

Se empieza con una actividad donde los estudiantes intentan definir “química”. Luego en una segunda se les pide una relación de diez sustancias.

Se parte de tres definiciones de sustancia, la última se vierte de lleno en el nivel nanoscópico:

“Sustancia es una forma de materia que tiene una composición definida (constante) y propiedades distintivas” (Chang, 2007).

“La definición molar estándar de una sustancia como un material que tiene un conjunto fijo y reproducible de propiedades específicas a temperatura y presión dadas” (Jensen, 1998).

“Sustancia química es materia de composición constante, mejor caracterizada por las entidades de las que está compuesta (moléculas, unidades fórmula, átomos). Caracterizada por propiedades físicas como densidad, índice de refracción, conductividad eléctrica, punto de fusión, etc.” (Mcnaught y Wilkinson, IUPAC, 1997).

Las siguientes dos actividades son de lectura y discusión de la historia de ambos conceptos: «sustancia» y «reacción química».

A continuación se analiza y discute la definición de «reacción química» tanto desde el nivel macroscópico como el nanoscópico.

Finaliza la secuencia con un paulatino acercamiento a la definición de «química». Se empieza por la de Nyholm: “La química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de los elementos y sus compuestos, así como de los sistemas que forman”.

Ésta se va transformando en: “La química es el estudio integrado de la preparación, propiedades, estructura y reacciones de las sustancias”, o en la de Theodor O. Benfey (1963): “Chemistry is the study of substances and their transformations into other substances”, hasta llegar a otra que también contiene los términos sustancia y reacción: “La Química estudia la composición, estructura y propiedades de las sustancias y las reacciones por las cuales una sustancia se convierte en otra” (Spencer, Bodner y Rickard, 2006, p. 2).

Finalmente se alcanza la conclusión de que las definiciones más completas de «química» tienen involucrados a estos dos conceptos.

Introducción histórica al concepto de sustancia

Ésta es una primera lectura de la SEA, en la que se tocan los aspectos históricos más importantes sobre el concepto «sustancia».

Una de las primeras cosmovisiones fue la del modelo aristotélico-escolástico, introducido por los filósofos griegos hace más de veinticinco siglos y prácticamente hegemónico hasta el siglo XVI (Furió-Mas y Domínguez-Sales, 2007). Este estudio histórico empieza con la discusión de los constituyentes básicos de la materia según los griegos —los cuatro elementos de Empédocles: tierra, agua, aire y fuego, como combinación de cuatro cualidades opuestas: frío y caliente; mojado y seco.

Paracelso (Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim, 1493-1541), en el siglo XVI, generó el término «pureza», Este concepto estaba relacionado con la destilación y la distinción operacional entre el “*caput mortuum*” y los “*espíritus destilados*”. Las últimas eran sustancias puras y las primeras impuras, proveniente de la expresión latina “cabeza de los muertos”, como la denominación de origen alquímico a los residuos coloridos de la destilación (Klein, 2012).

La primera ocasión en que el concepto «sustancia» fue presentado ante una audiencia científica ocurrió en 1718,

715
TABLE DES DIFFERENTS RAPPORTS
observés entre différentes substances.

Below the table, the author explains the meanings of the 16 symbols used in the first row and column:

- Esprit acide.
- Acide du sel marin.
- Acide nitreux.
- Acide vitriolique.
- Sel alkali fixe.
- Sel alkali volatil.
- Terre absorbante.
- Substances metalliques.
- Mercure.
- Regule d'Antimoine.
- Or.
- Argent.
- Cuivre.
- Fer.
- Plomb.
- Etain.
- Zinc.
- Pierre calaminaire.
- Soufre mineral.
- Principe huileux ou esprit principal.
- Esprit de vinaigre.
- Eau.
- Sel.
- Esprit de vin et Esprits ardens.

Ilustración 1. Tabla de afinidades (o reactividades) de las sustancias, según Geoffroy. *Table des differents rapports observés en Chimie entre différentes substances.* En la parte baja el autor señala los significados de los dieciséis símbolos en la primera fila.

En la primera columna: Esprits acides (espíritus ácidos), Acide du sel marine (ácido de sal marina, o clorhídrico), acide nitreux (ácido nítrico), acide vitriolique (ácido sulfúrico), Sel alkali fixe (sal alcalina de fuego; carbonato de potasio y de sodio), Sel alkali volatil (sal alcalina volátil; carbonato de amonio).

En la segunda columna: Terre absorbante (compuestos de alcalinotérreos), Substances Metalliques (Sustancias Metálicas), Mercure (mercurio), Regule d'Antimoine (antimonio), Or (Oro), Argent (plata).

En la tercera columna: Cuivre (cobre), Fer (hierro), Plomb (plomo), Etain (estaño), Zinc, Pierre calaminaire (carbonato de zinc).

Y en la cuarta columna: Soufre mineral (azufre mineral), Principe huileux ou soufre principe (Principio óleo del azufre), Esprit de vinaigre (ácido acético), Eau (agua), Sel (sal), Esprit de vin et Esprits ardens (alcohol etílico y otros compuestos orgánicos volátiles y combustibles).

cuando Ettiene François Geoffroy (1672-1731) presentó su trabajo en la Real Academia de Ciencia en París (ver la ilustración 1). Esta tabla, según De Fourcroy (1796, p. 333), sirvió como faro de la química durante todo el siglo XVIII. La tabla de afinidades (o reactividades), está encabezada por dieciséis ‘sustancias referencia’, con las que sí reaccionan o son afines las sustancias colocadas en la misma columna.

El irlandés Robert Boyle (1627-1691) fue quien daría una definición más adecuada de «elemento químico». Boyle fue un defensor de la naturaleza corpuscular de la materia y definió “elementos” en su libro *Sceptical Chymist* (1661) como “ciertos cuerpos primitivos y simples, perfectamente no mezclados, que no están hechos de ningún otro cuerpo y que son los ingredientes de los cuales todos los cuerpos llamados perfectamente mixtos están inmediatamente compuestos y en los cuales pueden ser finalmente resueltos”.³

Es Lavoisier quien logra la primera lista de elementos a finales del siglo XVIII (a los que llamó ‘sustancias simples’,

(ver la ilustración 2) que conduce décadas más tarde a la tabla periódica de Mendeleiev, después de que Cannizzaro resolviera el enigma de los pesos atómicos.

A principios del siglo XIX se dispuso de una representación microscópica general de las sustancias, en cualquier estado, y de los cambios sustanciales en las reacciones químicas, tarea a la que contribuyó especialmente John Dalton.

Finalmente se menciona que desde 1858, Couper y Kekulé ya hablaban de las estructuras y de las fórmulas de las sustancias, de sus afinidades de tipo (un elemento u otro) y de grado (el número de átomos en la fórmula), de la tetravalencia del carbono y de la capacidad de este elemento de enlazarse en cadenas.

Introducción histórica a la reacción química

Se elaboró como una lectura de la SEA un documento con este título y con el propósito de presentar los elementos más trascendentes de carácter histórico sobre el concepto de «reacción química».

Se dice allí que la primera persona que intentó construir una teoría sobre la Química fue Johann Joachim Beccher (1635–1682): *Acta laboratorii Chymici Monacensis seu Physica Subterranea*, de 1669, que sería posteriormente conocida como *Physica Subterranea*. Pocos años después, Georg Ernst Stahl (1660–1734) publicó *Fundamenta Chymiae dogmaticae et experimentalis*. En esta obra reconoce todo el mérito a su maestro y amigo Beccher. Dividida en dos partes, expone en la primera los conceptos teóricos mientras que la segunda está dedicada a la práctica química.

El flogisto era considerado como una sustancia hipotética, que representaba la inflamabilidad, según la cual toda sustancia susceptible de sufrir combustión contenía flogisto, y el proceso de combustión consistía básicamente en la pérdida de dicha sustancia. Este concepto fue postulado a finales del siglo XVII por estos dos químicos alemanes para explicar el fenómeno de la combustión.

Químicos reconocidos como muy competentes, como Carl Wilhelm Scheele (1742–1786), Joseph Priestley (1733–1804) y Henry Cavendish (1731–1810) defendieron la teoría del flogisto, por lo cual se piensa hoy que tenía una base cualitativa muy importante para ser considerada como válida (Scott, 1952).

Surge entonces la figura de Antoine Laurent Lavoisier, de la que nos hablan José Ramón Bertomeu y sus colaboradores (2006). Lavoisier lleva a cabo la transformación de la química, al negar la teoría del flogisto y postular la presencia del oxígeno, un nuevo elemento, que era el responsable de las combustiones. Se presenta en esta lectura una amplia descripción de su experimento con óxido de mercurio.

³ La definición original en inglés es: "Certain primitive and simple, or perfectly unmingled bodies; which not being made of any other bodies, or of one another, are the ingredients of which all those called perfectly mixt bodies are immediately compounded, and into which they are ultimately resolved."

140.
TABLA DE LAS SUSTANCIAS SIMPLES.

	Nombres nuevos.	Nomb. antiguos á q corresponden.
	Luz.	Luz.
	Calórico.	Calor.
		Principio del calor.
		Fluido igneo.
		Fuego.
		Materia del fuego y del calor.
		Ayre deflogisticado.
		Ayre empyreal.
		Ayre vital.
		Base del ayre vital.
		Gas flogisticado.
		Mofeta.
		Base de la mofeta.
		Gas inflamable.
		Base del gas inflamable.
Substancias simples que pertenecen á los tres reynos, y que pueden mirarse co- mo elemen- tos de los cuerpos . .	Azufre.	Azufre.
	Fósforo.	Fósforo.
	Carbon.	Carbon puro.
	Radical muriático.	Desconocido.
	Radical fluorico.	Desconocido.
	Radical borácico.	Desconocido.
	Antimonio.	Antimonio.
	Plata.	Plata.
	Arsénico.	Arsénico.
	Bismuto.	Bismuto.
	Cobalto.	Cobalto.
	Cobre.	Cobre.
	Estafío.	Estafío.
	Hierro.	Hierro.
	Alabandina.	Alabandina.
	Mercurio.	Mercurio.
	Molibdeno.	Molibdena.
	Níquel.	Níquel.
	Oro.	Oro.
	Platina.	Platina.
	Plomo.	Plomo.
	Vólfra.	Vólfra.
	Zink.	Zink.
Substancias simples ter- reas salifi- cables.	Cal.	Tierra calcárea, cal.
	Magnesia.	Magnesia, base de la sal de Epsom.
	Barita.	Barota, tierra pesada.
	Alumina.	Arena, tierra del alumbre, base del alumero.
	Siliza.	Tierra silicea, tierra vitrificable.

Ilustración 2. Tabla de las sustancias simples de Antoine Laurent Lavoisier, tomada de la página 140 de la traducción mexicana de su libro *Treatado elemental de química*, traducido por Vicente Cervantes en 1797 y publicado por el Real Seminario de Minería. Edición facsimilar de 1990 publicada por la Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, con un estudio preliminar de Patricia Aceves. Puede verse cómo incluye a la luz y el calor dentro de su lista de elementos.

Johann Friedrich Gmelin (1748–1804), uno de los primeros historiadores de la química y testigo directo de los acontecimientos, recordaba que, a principios del siglo XVIII, los químicos eran despreciados, ridiculizados y confundidos con charlatanes o mercachifles. Sin embargo, cuando el siglo ilustrado llegaba a su fin, la química se había transformado en el «ídolo» frente al que todo tipo de personas «se arrodillaban», sin importar que fueran príncipes o clérigos, cultos o iletrados, sujetos de alta o baja alcurnia. Se produjo una progresiva incorporación de la química en muchas universidades. No solo aumentó el número de cursos, profesores y estudiantes interesados en la química, sino que también se crearon fuertes expectativas acerca de las posibles aplicaciones médicas e industriales de esta ciencia. A finales del siglo XVIII, las novedades eran tan importantes que algunos autores empezaron a calificarlos como una auténtica «revolución en la física y en la química» (Bertomeu, García-Belmar y Suay, 2006).

Finaliza este ensayo con la mención de Louis Jacques Thenard (1777-1857), científico francés que ofrecía en sus cursos tres aspectos esenciales de la química: una descripción de todos los aspectos relevantes de una sustancia, a lo que denominaba “*le exposé [de] tous les faits qui sont connu*”; la verificación o “*Constater les faits*”, que comprendía la comprobación experimental de las propiedades físicas y químicas de la sustancia; y para concluir, procedía a la explicación de los fenómenos observados en las demostraciones: la “*théorie des faits*” en la que ofrecía la explicación de qué sucedía y por qué pasaba bajo ciertas condiciones experimentales. La mayoría de las veces sus explicaciones se basaban en la teoría de las afinidades, un tema en el que los alumnos eran introducidos desde las primeras lecciones (García-Belmar, 2007).

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 esta propuesta 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, 1991).

Evaluación de la Secuencia

Los esfuerzos para evaluar el entendimiento estudiantil de la NdC se ha extendido durante más de 50 años. Durante este tiempo se ha desarrollado un importante número de instrumentos que barren la gama de los tipos de evaluación, desde los tradicionales hasta los de fin abierto con entrevista (Allchin, 2012).

Como es de esperarse, el desarrollo, uso e interpretación de las evaluaciones ha ido en paralelo con la comprensión de estudiantes y profesores sobre la NdC.

La defensa de la inclusión de NdC en el currículo de la ciencia de los Estados Unidos se remonta a 1907 (Lederman, 2007). Si se espera que los estudiantes tomen decisiones informadas acerca de asuntos personales y sociales basados en la ciencia, deben estar también al tanto de la naturaleza de ese conocimiento, sus fuentes, limitaciones y características.

Ha habido numerosas críticas a la validez de los variados instrumentos para evaluar la comprensión de la NdC por estudiantes y profesores, hay algo en común en todas las apli-

caciones, que es que siempre se ha encontrado un entendimiento limitado (Lederman, Bartos y Lederman, 2013).

Las primeras evaluaciones formales, que empezaron en los años 60, hacían énfasis en enfoques cuantitativos, como toda la investigación educativa de esos tiempos. Con pocas excepciones, hasta antes de mediados de los 80 continuó la misma tendencia cuantitativa. A partir de ese momento empiezan a desarrollarse otros instrumentos, incluidas preguntas abiertas en la construcción y validación de los ítems, dando lugar recientemente a una visión amplia del conocimiento individual de la NdC.

Los borradores de la *Next Generation Science Standards* (NRC, 2011) en los Estados Unidos incluyen algunas mejoras sobre la evaluación, pero todavía ignorando la diferencia entre “hacer ciencia” con el desarrollo de la comprensión de la NdC (Lederman, Bartos y Lederman, 2013).

El COCTS tiene las siguientes características:

- 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 o desacuerdo 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.

En la tabla 1 se han colocado unos cuadritos en cada uno de los incisos de las preguntas, lo que debe ser respondido por el estudiante en el cuadrito a la izquierda con un número entre 1 y 9 o con una letra, de acuerdo con lo siguiente:

DESACUERDO				INDECISO	ACUERDO				OTROS	
Total	Alto	Medio	Bajo		Bajo	Medio	Alto	Total	No entiendo	No sé
1	2	3	4	5	6	7	8	9	E	S

Puede verse en la tabla 1 que la pregunta 10111 tiene que ver con la definición de ciencia, la 90211 sobre modelos y la 90411 sobre la naturaleza tentativa de las teorías científicas. La primera se incluyó porque tiene que ver con el contenido mismo de la secuencia, la segunda también, ya que su tema es modelar y la tercera con la naturaleza tentativa de las teorías científicas como una cuestión de consenso en la enseñanza de la NdC.

En la tabla 2 están las preguntas de contenido utilizadas, con una porción de opción múltiple y una pregunta abierta

posterior. Dichas preguntas tuvieron que ver con 1) El modelo griego de elemento; 2) Robert Boyle y su concepción de elemento; 3) La primera aparición del concepto de sustancia.

Resultados de la evaluación

Sobre las tres preguntas de contenido realizadas después de aplicada la secuencia sobre los aspectos históricos del concepto de sustancia. Los resultados de los 18 estudiantes fueron bastante deficientes: 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.

Los resultados de la evaluación de esas tres preguntas se muestran a continuación:

- Pregunta 10111 (La Ciencia)
Índice Promedio del pretest: 0.152
Índice Promedio del postest: 0.252
- Pregunta 90211 (Validez tentativa)
Índice Promedio del pretest: 0.016
Índice Promedio del postest: 0.113
- Pregunta 90411 (Modelización)
Índice Promedio del pretest: 0.044
Índice Promedio del postest: -0.086

En las dos primeras preguntas se da una diferencia significativa entre los dos índices, los cuales difieren en aproximadamente 0.1. Decimos que ellos es significativo porque el intervalo total va de -1 a 1, o sea que tiene una longitud de 2. Ello indica que un buen número de los alumnos transformaron su concepción sobre la definición de ciencia y su validez tentativa. Ello no se dio en la tercera pregunta sobre modelización, donde los dos índices de antes y después son prácticamente cero. Quizá no se insistió lo suficiente sobre el hecho de que definir es como modelar.

Índices por frase

Ponemos a continuación 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:

Pregunta 10111. La ciencia PRINCIPALMENTE es

Inciso (b) un cuerpo de conocimientos, tales como principios, leyes y teorías que explican el mundo que nos rodea (materia, energía y vida).

- Pretest: 0.542 Postest: 0.722

Inciso (h) un proceso investigador sistemático y el conocimiento resultante

- Pretest: 0.069 Postest: 0.389

Pregunta 90211. Los modelos científicos

Tabla 1. Las tres preguntas escogidas del COCTS para evaluar la construcción de la NdC en estudiantes de un grupo de 18 repetidores, durante el semestre 2012-2 entre enero y mayo de 2012

10111 Definir qué es la ciencia es difícil porque ésta es algo complejo y engloba muchas cosas. Pero la ciencia PRINCIPALMENTE es:

- ☐ A. el estudio de campos tales como biología, química, geología y física.
- ☐ B. un cuerpo de conocimientos, tales como principios, leyes y teorías que explican el mundo que nos rodea (materia, energía y vida).
- ☐ C. explorar lo desconocido y descubrir cosas nuevas sobre el mundo y el universo y como funcionan.
- ☐ D. realizar experimentos para resolver problemas de interés sobre el mundo que nos rodea.
- ☐ E. inventar o diseñar cosas (por ejemplo, corazones artificiales, ordenadores, vehículos espaciales).
- ☐ F. buscar y usar conocimientos para hacer de este mundo un lugar mejor para vivir (por ejemplo, curar enfermedades, solucionar la contaminación y mejorar la agricultura).
- ☐ G. una organización de personas (llamados científicos) que tienen ideas y técnicas para descubrir nuevos conocimientos.
- ☐ H. un proceso investigador sistemático y el conocimiento resultante.
- ☐ I. no se puede definir la ciencia.

90211 Muchos modelos científicos usados en los laboratorios de investigación (tales como el modelo del calor, el de las neuronas, del DNA o del átomo) son copias de la realidad.

Los modelos científicos SON copias de la realidad:

- ☐ A. porque los científicos dicen que son verdaderos, por tanto deben serlo.
- ☐ B. porque hay muchas pruebas científicas que demuestran que son verdaderos.
- ☐ C. porque son verdaderos para la vida. Su objetivo es mostrarnos la realidad o enseñarnos algo sobre ella.
- ☐ D. Los modelos científicos son muy aproximadamente copias de la realidad, porque están basados en observaciones científicas e investigación.

Los modelos científicos NO son copias de la realidad:

- ☐ E. porque simplemente son útiles para aprender y explicar, dentro de sus limitaciones.
- ☐ F. porque cambian con el tiempo y con el estado del conocimiento, como lo hacen las teorías.
- ☐ G. porque estos modelos deben ser ideas o conjeturas bien informadas, ya que el objeto real no se puede ver.

90411 Aunque las investigaciones científicas se hagan correctamente, el conocimiento que los científicos descubren con esas investigaciones puede cambiar en el futuro.

El conocimiento científico cambia:

- ☐ A. porque los científicos mas 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".
- ☐ B. porque el conocimiento viejo antiguo es reinterpretado a la luz de los nuevos descubrimientos; por tanto, los hechos científicos pueden cambiar.
- ☐ C. El conocimiento científico PARECE cambiar porque puede ser distinta la interpretación o la aplicación de viejos hechos; pero los experimentos realizados correctamente producen hechos invariables.
- ☐ D. El conocimiento científico PARECE cambiar porque el nuevo conocimiento se añade sobre el anterior; el conocimiento antiguo no cambia.

Tabla 2. Preguntas sobre el contenido científico incluidas en la evaluación de la secuencia.

Responde las siguientes preguntas sobre el concepto de «sustancia»

1. Según el modelo aristotélico-escolástico, introducido por los filósofos griegos hace más de veinticinco siglos, prácticamente hegemónico hasta el siglo XVI:

- Todas las aseveraciones siguientes son ciertas.
- El mundo terrestre era impuro, dado que estaba formado por mezclas de cuatro elementos: aire, agua, fuego y tierra.
- El mundo celeste se suponía puro, es decir formado por un único elemento: éter.
- El concepto de elemento no era manejado como los químicos de hoy.

Cuál es, según tu punto de vista, la fundamentación de tu respuesta anterior.

2. Fue Robert Boyle, quien empezó a introducir:

- Todas las aseveraciones siguientes son ciertas
- El concepto de elemento, en su libro *Sceptical Chymist* de 1661.
- Que los sistemas materiales terrestres podían estar formados macroscópicamente, bien por mezclas (de sustancias) o bien por una única sustancia que, a su vez, podía ser «un cuerpo perfectamente sin mezcla» (sustancia simple) o «un cuerpo perfectamente mezclado». (sustancia compuesta).
- La «ley de Boyle», según la cual «a temperatura constante los volúmenes y las presiones de los gases son inversamente proporcionales».

Cuál es, según tu punto de vista, la fundamentación de tu respuesta anterior.

3. La primera ocasión en que el concepto de «sustancia» fue presentado ante una audiencia científica ocurrió en:

- Una reunión de la Asamblea de la democracia ateniense (Ekklesia), en el siglo V antes de Cristo.
- París, en 1718, cuando Etienne François Geoffroy presentó su «Tabla de diferentes afinidades» en la Real Academia de Ciencia.
- El libro *Tratado elemental de química* de Antoine Laurent Lavoisier en 1789.
- 1861 cuando Alexander Mikhailovich Butlerov menciona que cada sustancia ha de tener una sola fórmula en una publicación de la academia rusa de ciencias.

Cuál es, según tu punto de vista, la fundamentación de tu respuesta anterior.

Inciso (f) SON copias de la realidad porque cambian con el tiempo y con el estado del conocimiento, como lo hacen las teorías.

- Pretest: 0.500 Posttest: 0.167

Inciso (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

- Pretest: 0.028 Posttest: 0.111

Pregunta 90411. El conocimiento científico cambia

Inciso (a) porque los científicos más jóvenes desapruban 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».

- Pretest: -0.194 Posttest: 0.028

Inciso (b) porque el conocimiento viejo antiguo es reinterpretado a la luz de los nuevos descubrimientos; por tanto, los hechos científicos pueden cambiar.

- Pretest: 0.361 Posttest: 0.541

Con excepción del inciso f) de la pregunta 90211 sobre modelos científicos, en la mayor parte de los casos se da un incremento de los índices antes y después de la presentación de la secuencia, en ciertas ocasiones con diferencias muy significativas (de 0.32 a 0.18), aunque en otras no tanto (de 0.08). Ello habla de que se transformó la visión de esos aspectos en los estudiantes por el estudio de la SEA

Cambios realizados en la secuencia

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 más aspectos de la teoría del flogisto, como contraste con la teoría de Lavoisier que la desplazó. Adicionalmente, para que los alumnos no pensaran que la química se detuvo con Lavoisier, se incluyeron además de los aportes del francés Thenard, los de 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. Modificar los tiempos empleados en ciertas actividades, cambiar el orden de algunas para fomentar la explicitación de ideas previas, la construcción de un concepto importante o que los alumnos lleguen a respuestas debidamente argumentadas.

Con relación al concepto de «sustancia» y su ensayo histórico, se empezó finalmente con una descripción más amplia de los constituyentes básicos de la materia según los griegos. Se aumentó con citas textuales los antecedentes de las teorías de la estructura de las sustancias, de Kekulé y Couper en 1858.

Conclusiones

La investigación didáctica sobre naturaleza de la ciencia se ha centrado en los últimos años en la mejora del aprendizaje de los estudiantes a través del crecimiento de la enseñanza, al desarrollar un currículo apropiado y clarificar la eficacia de los diferentes métodos de enseñanza en el aula. El diseño y desarrollo de un currículo apropiado para enseñar NdCyT ha avanzado gracias a la línea de investigación denominada de «consensos», la cual ha sido descrita con amplitud en este trabajo.

En el mismo se han considerado las dos condiciones

clave sobre la efectividad de la metodología para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de la NdCyT: el carácter explícito de la enseñanza (en este caso el enfoque centrado en los dos conceptos clave en el aprendizaje de la química) y la realización de actividades meta-cognitivas de reflexión sobre el tema (propio de una secuencia didáctica interactiva).

Los contextos apropiados para enseñar NdCyT empleados en este estudio son: actividades prácticas de investigación, enseñanza específica sobre métodos o filosofía de CyT (como definir y modelar), historia de la CyT, cuestiones tecnocientíficas de interés social o impregnación de contenidos tradicionales de CyT con contenidos de NdCyT (Acevedo, 2009c). La aportación principal del mismo es ofrecer una fundamentación metodológica basada en un diseño pre-pos test y unos instrumentos estandarizados para la enseñanza y la evaluación de la mejora en la comprensión de NdCyT.

Como conclusión final, puede decirse que la 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 de un cuestionario sobre aspectos de la historia de ambos y del cuestionario de opiniones de ciencia-tecnología-sociedad. 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 poco frecuentes resultados negativos del COCTS.

Reconocimientos

El presupuesto de este proyecto de Investigación (EDU2010-16553) ha sido financiado por una ayuda del Plan Nacional de I+D del Ministerio de Ciencia e Innovación, España.

Bibliografía

- AAAS, American Association for the Advancement of Science. *Benchmarks for science literacy*. New York: Oxford University Press, 1993.
- Abd-El-Khalick, F. *The influence of history of science courses on students' conceptions of the nature of science*. Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, Oregon, USA, 1998.
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., y Lederman, N. G. The nature of science and instructional practice: making the unnatural natural, *Science Education*, **82**(4), 417-437, 1998.
- Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. The influence of history of science courses on students' views of nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, **37**(10), 1057-1095, 2000.
- Abd-El-Khalick, F. Developing deeper understandings of nature of science: The impact of a philosophy of science course on pre-service science teachers' views and instructional planning, *International Journal of Science Education*, **27**(1), 15-42, 2005.
- Abd-El-Khalick, F. Nature of Science in Science Education: Toward a Coherent Framework for Synergistic Research and Development. En: B. J. Fraser *et al.* (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (cap. 69 pp. 1041-1060). Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2012.
- Acevedo, J. A., Vázquez, A., Martín, M., Oliva, J. M., Acevedo, P., Paixão, M. F. y Manassero, M. A. Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **2**(2), 121-140, 2005.
- Acevedo-Díaz, J. A., Vázquez-Alonso, A., Manassero-Mas, M. A. y Acevedo-Romero, P., Consensos sobre Naturaleza de la ciencia: Aspectos epistemológicos, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **4**(2), 202-225, 2007.
- Acevedo, J. A. 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, 2008.
- Acevedo, J. A. Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): El marco teórico, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **6**(1), 21-46, 2009a.
- Acevedo, J. A. Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): Una perspectiva, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **6**(2), 164-189, 2009b.
- Acevedo, J. A. Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **6**(3), 355-386, 2009c.
- Allchin, D., The Minnesota Case Study Collection: New Historical Inquiry Case Studies for Nature of Science Education, *Science & Education*, **21**, 1263-1281, 2012.
- Alters, B. J. Whose Nature of Science?, *Journal of Research in Science Teaching*, **34**(1), 39-55, 1997.
- Andersson, B. Pupils' conceptions of matter and its transformation, *Studies in Science Education*, **18**, 53-85, 1990.
- Azcona, R., Furió, C., Intxausti, S. y Álvarez, A. ¿Es posible aprender los cambios químicos sin comprender qué es una sustancia? Importancia de los prerrequisitos, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, **40**, 7-17, 2004.
- Bartholomew, H., Osborne, J. & Ratcliffe, M. Teaching Students "Ideas-About-Science": Five Dimensions of Effective Practice, *Science Education*, **88**(5), 655-682, 2004.
- Bell, R. L. & Lederman, N. G. Understanding the Nature of Science and Decision Making on Science and Technology Based Issues, *Science Education*, **87**(3), 352-377, 2003.
- Benfey, O. T. Concepts of Time in Chemistry, *Journal of Chemical Education*, **40**(11), 574-577, 1963.
- Bennassar Roig, A., Vázquez Alonso, Á., Manassero Mas, M. A., García Carmona, A. (coords.). *Ciencia, tecnología y sociedad en Iberoamérica: una evaluación de la comprensión de la naturaleza de ciencia y tecnología*. Madrid: Centro de Altos Estudios Universitarios de la Organización

- de Estados Iberoamericanos, 2011. ISBN: 978-84-7666-228-1. La obra completa puede descargarse de <http://www.oei.es/salactsi/DOCUMENTO5vf.pdf>
- Bertomeu, J. R., García Belmar, A. y Suay, I., *La revolución Química*, en la URL <http://www.uv.es/bertomeu/revquim/> Último acceso el 27 de diciembre de 2012. Ver también su libro: Bertomeu Sánchez, J. R., & García Belmar, A. *La revolución química: entre la historia y la memoria*. Valencia, España: Universitat de València/Guadalupe Impresores, 2006.
- Chamizo, J. A. y Garritz, A. Historical teaching of atomic and molecular structure. En *The Springer Handbook of Historical and Philosophical Research in Science Teaching* (HPS&ST Handbook), editado por Michael Matthews, Universidad de South Wales, Australia, en prensa, 2013.
- Chamizo, J. A. Filosofía de la química: 1. Sobre el método y los modelos, *Educación Química*, **20**(1), 6–11, 2009.
- Chamizo, J. A. Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias, *Eureka, Revista de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, **7**(1), 26–41, 2010. En línea en la URL <http://reuredc.uca.es/index.php/tavira>
- Chamizo, J. A. A New Definition of Models and Modeling in Chemistry's Teaching, *Science & Education* **22**(7), 1613–1632, 2013.
- Chamizo, J. A. y García Franco, A. *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- Chang, R. *Chemistry* (9th ed.). New York: McGraw-Hill, 2007.
- De Fourcroy, A. F., *Elements of chemistry and natural history: to which is prefixed The philosophy of chemistry*, Edinburgh, UK: J. Murray and S. Highley; J. Cuthell; and G. Mudie and Son, 1796.
- Dogan, N., y Abd-El-Khalick, F. Turkish grade 10 students' and science teachers' conceptions of nature of science: A national study, *Journal of Research in Science Teaching*, **45**(10), 1083–1112, 2008.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. *Young people's images of science*. Buckingham, UK: Open University Press, 1996.
- Furió-Mas, C. y Domínguez-Sales, M. C. Problemas históricos y dificultades de los estudiantes en la conceptualización de sustancia y compuesto químico, *Enseñanza de las Ciencias*, **25**(2), 241–258, 2007.
- Furió-Mas, C. Domínguez-Sales, M. C. y Guisasola, G. Diseño e implementación de una secuencia de enseñanza para introducir los conceptos de sustancia y compuesto químico, *Enseñanza de las Ciencias*, **30**(1), 113–128, 2012.
- García-Belmar, A. Louis Jacques Thenard's Chemistry Courses at the Collège de France, 1804-1830, *Proceedings of the 6th International Conference on History of Chemistry*. Leuven, Belgic, August, 2007, pp. 137-147.
- García-Carmona, A., Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado, *Enseñanza de las Ciencias*, **29**(3), 403–412, 2011.
- García-Carmona, A., Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. Comprensión de los estudiantes sobre Naturaleza de la Ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas, *Enseñanza de las Ciencias*, **30**(1), 23–34, 2012.
- Garritz, A. Debate sobre cómo cambiar los textos de química para el siglo XXI, *Educación Química*, **16**(3), 363-369, 2005.
- Garritz, A., Rueda, C., Robles, C. y Vázquez-Alonso, Á. Actitudes sobre la naturaleza de ciencia y tecnología en profesores y estudiantes mexicanos del bachillerato y la universidad públicos, *Educación Química*, **22**(2), 141-154, 2011.
- Garritz, A. y Talanquer, V. Las áreas emergentes de la educación química: Naturaleza de la Química y Progresiones de Aprendizaje (Editorial), *Educación Química*, **23**(3), 328-330, 2012.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Elmer, R. Positioning Models in Science Education and in Design and Technology Education. En: Gilbert, J. K. y Boulter, C. J. (eds.). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer, 2000, pp. 3-17.
- Hodson, D. *Towards Scientific Literacy. A Teachers' Guide to the History, Philosophy and Sociology of Science*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers, 2008.
- Ibrahim, B., Buffler, A., y Lubben, F. Profiles of freshman physics students' views on the nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, **46**(3), 248–264, 2009.
- Irzik, G. y Nola, R. A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education, *Science & Education*, **20**(7-8), 591–607, 2011.
- Jensen, W. B. Logic, History, and the Teaching of Chemistry: I, II and III, *Journal of Chemical Education*, I. Does Chemistry Have a Logical Structure?, **75**(6), 679-687, 1998; II. Can We Unmuddle the Chemistry Textbook?, **75**(7), 817-828, 1998; III. One Chemical Revolution or Three?, **75**(8), 961-969, 1998.
- Johnson, P. What is a substance?, *Education in Chemistry*, **33**(2), 41-42 and 45, 1996.
- Johnson, P. Children's understanding of substances, part 1: recognizing chemical change, *International Journal of Science Education*, **22**(7), 719- 737, 2000.
- Johnstone, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem, *Journal of Computer Assisted Learning*, **7**, 75–83, 1991.
- Kang, S., Scharmann, L. C., & Noh, T. Examining students' views on the nature of science: Results from Korean 6th, 8th, and 10th graders, *Science Education*, **89**(2), 314–334, 2005.
- Khishfe, R. & Lederman, N. G. Teaching Nature of Science within a Controversial Topic: Integrated versus Nonintegrated, *Journal of Research in Science Teaching*, **43**(4), 395–418, 2006.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. The influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on

- sixth graders' views of nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, **39**(7), 551-578, 2002.
- Klein, U. Objects of inquiry in classical chemistry: material substances, *Foundations of Chemistry*, **14**(1), 7-23, 2012.
- Lederman, N. G. Students' and teachers' conceptions of the science: a review of the research, *Journal of Research in Science Teaching*, **29**(4), 331-359, 1992.
- Lederman, N., G. Wade, P. y Bell, R. L. Assessing the nature of science: what is the nature of our assessments?, *Science & Education*, **7**(6), 595-615, 1998.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F. S., Bell, R. L., y Schwartz, R. Views of nature of science questionnaire (VNOS): Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science, *Journal of Research in Science Teaching*, **39**(6), 497-521, 2002.
- Lederman, N. Nature of science: Past, present, and future. In: Abell, S. y Lederman, N. (eds.). *Handbook of research on science education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007, pp. 831-879.
- Lederman, N. G. y Lederman, J. S. Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development. En: B. J. Fraser et al. (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (cap. 24, pp. 335-359). Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2012.
- Lederman, N. G., Bartos, S. y Lederman, J. The development, use, and interpretation of nature of science assessments, in the Symposium "A Critical Review of History & Philosophy of Science Scholarship in Science Education", NARST-2013 Conference Proceedings, Río Grande, Puerto Rico, April 6-9.
- Liang, L., Chen, S., Chen, X., Nafiz, O., Adams, A., Macklin, A., Ebenezer, J. Student Understanding of Science and Scientific Inquiry (SUSSI): Revision and Further Validation of an Assessment Instrument. Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST) San Francisco, CA, April 3-6, 2006.
- Manassero, M. A. y Vázquez, Á. *Opinions sobre ciència, tecnologia i societat*. Palma de Mallorca: Conselleria d'Educació, Cultura i Esports, 1998.
- Manassero-Mas, M. A. y Vázquez-Alonso, Á. Instrumentos y métodos para la evaluación de las actitudes relacionadas con la ciencia, la tecnología y la sociedad, *Enseñanza de las Ciencias*, **20**(1), 15-27, 2001.
- McComas, W. F. Teaching the Nature of Science: What Illustrations and Examples Exist in Popular Books on the Subject? Paper presented at the Eighth International History, Philosophy & Science Teaching (IHPST) Conference, Leeds, UK, July 15-18, 2005.
- McComas, W. F., Clough, M. P. y Almazroa, H. The role and character of the nature of science in science education, *Science & Education*, **7**(6), 511-532, 1998.
- McNaught, A.D., & Wilkinson, A. *IUPAC Compendium of Chemical Terminology, (The gold book)* (Royal Society of Chemistry 2nd ed.). Cambridge, UK: Blackwell Science, 1997. Retrieved June 10, 2013, from <http://goldbook.iupac.org/index.html>
- Niaz, M. Understanding nature of science as progressive transitions in heuristic principles, *Science Education*, **85** (6), 684-690, 2001.
- Niaz, M. ¿Por qué los textos de química general no cambian y siguen una 'retórica de conclusiones'?, *Educación Química*, **16**(3), 410-415, 2005.
- Niaz, M. Progressive transitions in chemistry teachers' understanding of nature of science based on historical controversies, *Science & Education*, **18**(1), 43-65, 2009.
- Niaz, M. y Maza, A. *Nature of Science in General Chemistry Textbooks*. Dordrecht, The Netherlands: Springer, Springer Briefs in Education, 2011.
- NRC, National Research Council. *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press, 1996.
- NRC, National Research Council. *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC, USA: National Academy Press, 2011. Los "Next Generation Science Standards" pueden obtenerse de la Internet desde abril de 2013 en la URL <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. y Duschl, R. What "Ideas-about-science" Should be Taught in School Science, *Journal of Research in Science Teaching*, **40**(7), 692-720, 2003.
- Scott, J. H. Qualitative adequacy of phlogiston, *Journal of Chemical Education*, **29**(7), 360-363, 1952.
- Schummer, J. Editorial: substances versus reactions, *HYLE International Journal for Philosophy of Chemistry*, **10**(1), 3-4, 2004.
- Spencer, J.; Bodner, G.; y Rickard, L. *Chemistry: Structure and Dynamics*, Third edition. United States of America: John Wiley & Sons, Inc, 2006.
- Vázquez-Alonso, A.; Acevedo-Díaz, J. A., y Manassero-Mas, M. A. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza, *Revista Iberoamericana de Educación*, 2004, consultada en <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF> [última consulta: dic. 2012].
- Vázquez, A. & Manassero, M.A. Response and scoring models for the 'Views on Science-Technology-Society' Instrument, *International Journal of Science Education*, **21**(3), 231-247, 1999.
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. 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, 2012.
- Ziman, J. *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, 1978.